

CIE-Normvalenzsystem

Stand 15.10.2007

aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie

Das **CIE-Normvalenzsystem** oder **CIE-Normfarbsystem** (bekannt durch die *CIE-Normfarbtafel*) ist der Versuch der Internationalen Beleuchtungskommission (*CIE - Commission internationale de l'éclairage*), Farben beruhend auf dem menschlichen Farbsehvermögen darzustellen. Hierbei wird die direkte Auswirkung auf den Farbbeurteilungsmechanismus (Farbvalenz) des Menschen zugrundegelegt.

Der CIE-Normalbeobachter von 1931 und 1964

Bei dem ursprünglichen, 1931 entwickelten CIE-Normvalenzsystem (Name: CIE 1931) verwendete man Messwerte, die von einem *Normalbeobachter* oder *Normalbetrachter* von einem Sichtfeld von 2° mittig zur Hauptblickrichtung gesehen werden. Das entspricht in etwa dem Sichtfeld auf eine 1-Euro-Münze, die man mit ausgestrecktem Arm vor sich hält. Man entschied sich damals für dieses recht kleine Sichtfeld, da die Anzahl der Zapfen (farbempfindliche Photorezeptoren im Auge) in diesem Bereich am größten ist. Dieses eingeschränkte 2°-Sichtfeld ist für die „gewöhnliche“ Wahrnehmung des Menschen zu klein ausgelegt. Im Jahr 1964 wurde ein 10°-Normalbeobachter neu vermessen. Dieses CIE-Normvalenzsystem (Name: CIE 1964), mit dem Sichtfeld von 10° (etwa ein A4-Blatt in normalem Sehabstand), entspricht dem „Weitwinkel“-Sichtfeld des Menschen. Die Änderungen ergeben sich aus der zum Rand der Netzhaut hin sinkende Zapfenanzahl.

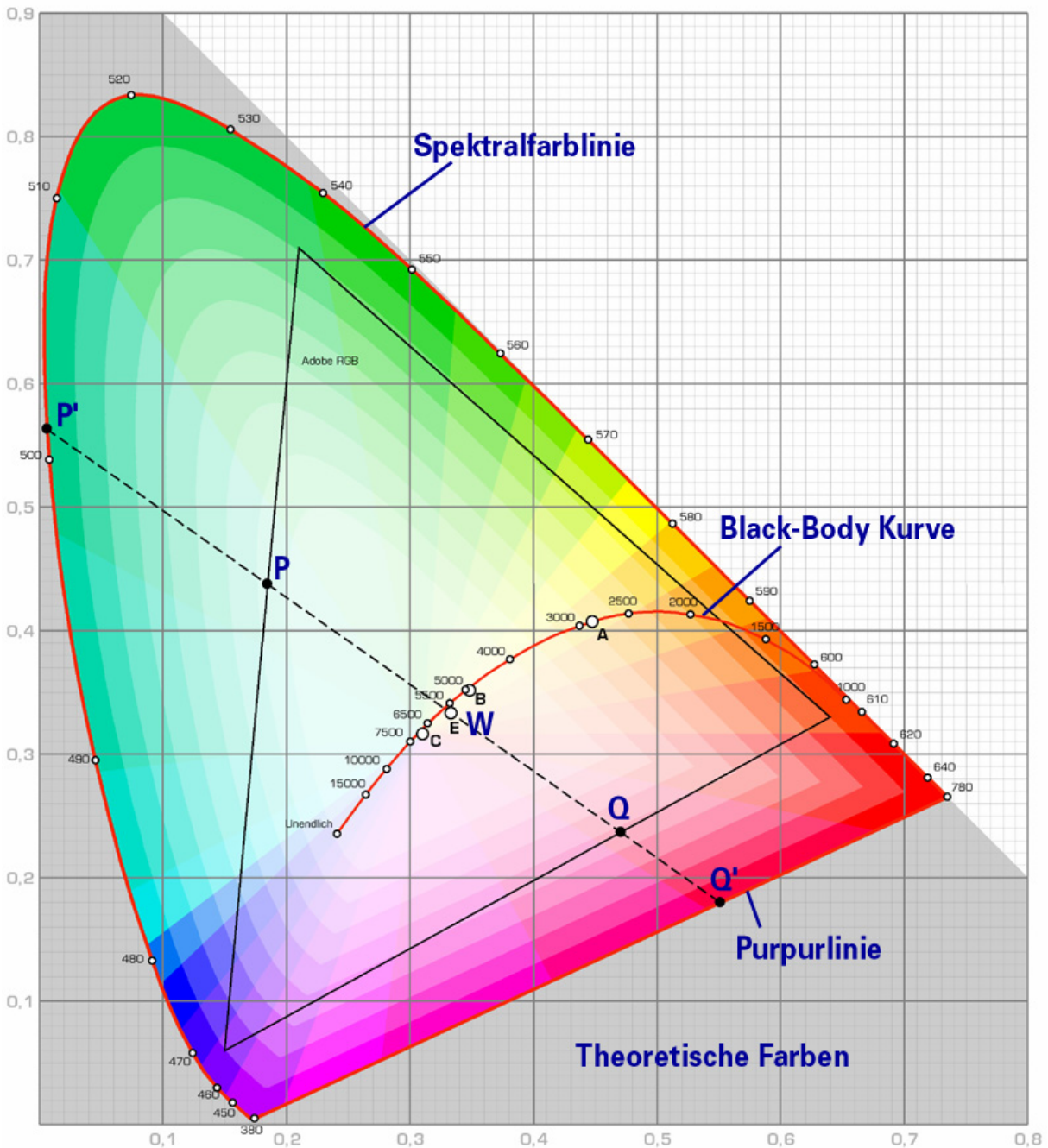
Bis heute ist die *CIE-Normfarbtafel* von 1931 das praktisch meistverwendete wahrnehmungsbezogene Farbbeschreibungssystem – man spricht deshalb auch heute noch vom 2°-Sichtfeld-System, wenn nichts genaueres angegeben wird. Die Form der Farbvalenz-Fläche in der Normfarbtafel unterscheidet sich geringfügig zwischen beiden Systemen.

Die Normfarbtafel

Der hufeisenförmige Bereich möglicher Farben ist bei der *CIE-Normfarbtafel* auf einem Koordinatensystem aufgetragen, auf dem x- und y-Anteil (der CIE-genormten theoretischen Grundfarben X, Y und Z) einer beliebigen Farbe *P* direkt abgelesen werden können. Durch die Grundbedingung $x + y + z = 1$ lässt sich der z-Anteil jeweils rechnerisch ($z = 1 - x - y$) ermitteln. Alle möglichen Farben werden durch die *Spektralfarblinie* (spektral reine Farben) sowie die Purpurlinie eingefasst.

Zentraler Bezugspunkt der Tafel ist der in jeder Farbmesssituation wesentliche Weißpunkt *W*. Je nach Beleuchtungssituation kann sich dieser praktisch überall innerhalb des Hufeisens befinden, technisch von Bedeutung ist jedoch nur die *Black-Body Kurve*, in deren Verlauf die Farben als Farb-Temperatur in Kelvin angegeben wird. Ausgehend von diesem Weißpunkt können alle als farbtongleich empfundenen Farben auf einer Linie durch den Punkt *P* abgelesen werden. Über den verwendeten Farbraum hinaus (hier ist der Adobe-RGB Farbraum dargestellt) kann die für die spezielle Situation entsprechende Spektralfarbe auf der Spektralfarblinie (*P'*) abgelesen werden. Auf der genau gegenüberliegenden Seite von *W* können die Komplementärfarben auf der verlängerten Linie W-Q abgelesen werden. Der Punkt Q' stellt dabei die äußerste (reinste) Komplementärfarbe dar, der in diesem Fall durch den Schnitt mit der Purpurlinie definiert wird.

Exakt definiert wird das CIE-Farbsystem lediglich durch die ursprünglich experimentell ermittelten relativen Empfindlichkeiten der drei Farbrezeptoren des menschlichen Farbsehapparates (der sog. Normalbeobachter) für jede sichtbare Spektralfarbe. Die Empfindlichkeitskurven sind von Person zu Person gewissen Schwankungen unterworfen, als Mittelwerte jedoch als sog. Normalbeobachter (CIE Standard Observer) festgelegt.



Die CIE-Normfarbtafel. Die in der Grafik verwendete Färbung der Wertebereiche ist nur zur groben Orientierung innerhalb des Farbraumes gedacht. Die auf Ausgabegeräten darstellbaren Farben beschränken sich auf eine dreieckige Fläche im Inneren der Grafik; die Abbildung ist farblich also auf das Monitor-Gamut herunter skaliert. Die sattestmöglichen (kräftigsten) Farbtöne befinden sich an den Kanten des jeweiligen Dreiecks.

Von Spektrallinien, Metameren und Normalbeobachtern

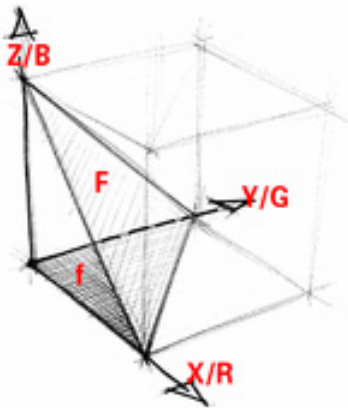
Wie schon Hermann von Helmholtz und Thomas Young feststellten

- lässt sich (fast) jeder Farbeindruck durch Vermischung dreier Primärfarbstrahlen (additive Farbmischung) erzielen und
- erscheinen bestimmte Farben mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung genau gleich (Metamere).

Die von Helmholtz und Young entwickelte *Dreifarbentheorie* besagt, dass im menschlichen Auge drei verschiedene Farbrezeptoren vorhanden sind, die ihr Erregungsmaximum bei einer jeweils genau definierten Spektralfarbe haben, sodass jeder wahrnehmbare Farbeindruck mit den dem Maximum entsprechenden Spektralfarben dargestellt werden kann.

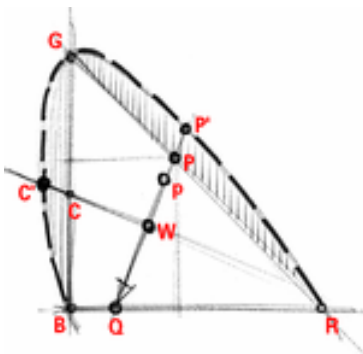
Allgemeiner formulierte später Hermann Günther Graßmann in seinem ersten Graßmannschen Gesetz, dass jede Farbe durch drei *beliebige* Größen – also z. B. durch Helligkeit, Farbton und Farbsättigung – vollständig dargestellt werden könne.

Daraus folgt andersherum, dass das Auge Farben nur anhand eingeschränkter Parameter unterscheiden kann – Farben mit völlig unterschiedlichen Spektrallinien (Metamere) erzeugen den gleichen Farbeindruck. Bei anderen Lebewesen als Menschen ist das Prinzip das gleiche, aber es gibt andere Farbrezeptoren mit anderen Empfindlichkeiten, teilweise auch mehr oder weniger als beim Menschen. Daher können zwei für den Menschen gleiche Farben (Metamere) für Lebewesen einer anderen Art ungleich sein und umgekehrt. Wollte man etwa einen Farbfernseher für Hunde bauen, so müsste dieser deutlich anders konstruiert sein als einer für Menschen.



Auf der Fläche F mit $X + Y + Z = 1$ stellt jeder Punkt ein Verhältnis der Grundfarben X, Y und Z zueinander dar. Die projizierte Fläche f verzichtet auf die Z -Komponente, die sich aus X und Y ergibt.

Intensitätsunabhängig können alle möglichen Farbeindrücke auf einer Fläche F im Raum dargestellt werden, auf der für jeden Punkt gilt $R + G + B = 1$. Projiziert man diese auf die Fläche $B = 0$ (f), so ergibt sich eine einfache Möglichkeit, die Verhältnisse der drei Farbwerte grafisch darzustellen: Die X - (also R) und Y - (also G) Komponenten können hier direkt abgelesen werden, die Z - (also B) Komponente ergibt sich aus $B = 1 - R - G$.



Auf der projizierten Fläche f ist der X - und Y -Anteil einer Farbe direkt ablesbar. Die Spektralfarben (schraffiert) liegen dabei im Bereich außerhalb positiver Farbanteile X und Y .

In der entstandenen Grafik lassen sich nun von einem mittleren Weißpunkt W aus Farben mit gleichem Farbton aber unterschiedlicher Sättigung der Farbe p auf einer geraden Linie ablesen. Nach außen begrenzt ist diese durch die Linie (Schnittpunkt P) der reinen Farben, die nur durch zwei der drei Primärfarben gemischt werden (Sekundärfarben). Verfolgt man die Linie in genau entgegengesetzter Richtung von W aus, so erhält man die Linie der jeweiligen Komplementärfarben – nach außen begrenzt durch die *reine* Komplementärfarbe Q .

Versucht man nun allerdings, alle vorhandenen Spektralfarben auf die so entstandene Grafik einzutragen (gestrichelte Linie $B-G-R$ – geschnitten mit unserer Linie in P'), so wird man – unabhängig vom gewählten Spektralfarbtrio – feststellen, dass sich die (reinen) Spektralfarben jeweils *außerhalb* der möglichen Komponenten-Verhältnisse befinden!

Mathematisch betrachtet, ergeben sich *negative* Werte für praktisch alle Spektralfarben (außer natürlich bei den Primärfarben selbst). Um also mit den drei Primärfarben ein spektrales Cyan (C') zu erzeugen, wäre das, mathematisch ausgedrückt, wie folgt:

$$\text{Blau} + \text{Grün} \equiv \text{spektrales Cyan} + \text{etwas Rot}$$

Umgeformt, wäre also die Formel für ein spektrales Cyan:

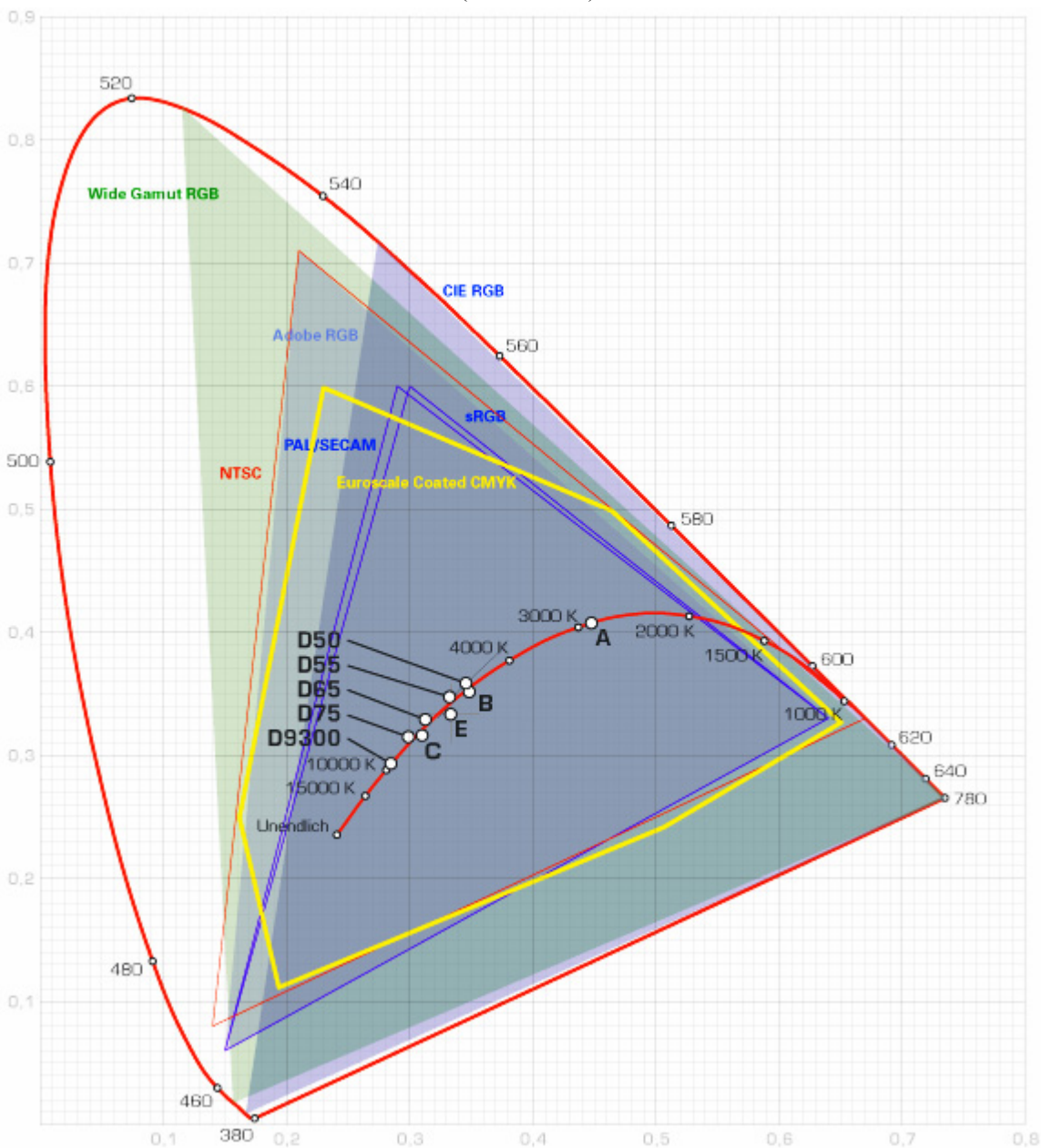
$$\text{Blau} + \text{Grün} - \text{etwas Rot} \equiv \text{spektrales Cyan}$$

Mit dieser Umformung wird es also möglich, alle Farben in einem (theoretischen) Farbraum unterzubringen. Wie im Bild ersichtlich, verschiebt sich also ein bestimmter RGB-Farbraum einfach ins Innere der Grafik. Es gibt Geräte, die Farbmessung ermöglichen und die Resultate werden in $L^*a^*b^*$, $L^*C^*h^*$ oder XYZ ausgegeben. L^* bewegt sich im Zahlenbereich 0 (schwarz) bis 100 (100%-ig reflektierende Oberfläche). Die Koordinaten a^* und b^* besitzen keinen begrenzten Zahlenraum. $a^* > 0$ ist rot, $a^* < 0$ ist grün, $b^* > 0$ ist gelb, $b^* < 0$ ist blau.

Die Standardbeleuchtung

Ursprünglich wurde das CIE-Normvalenzsystem vor allem in Hinsicht auf Beleuchtungsfragen entwickelt. Das System erlaubt prinzipiell jede denkbare Kombination an X-, Y- und Z-Werten, der Einfachheit und Vergleichbarkeit halber wurden jedoch bestimmte Normlichtfarben definiert – die sich alle mehr oder weniger auf der Black-Body-Kurve befinden, und einer bestimmten Farbtemperatur entsprechen.

CIE-Normbeleuchtung	x-Wert	y-Wert	Bemerkung
CIE-Normbeleuchtung A	0,4476	0,4074	Lichtspektrum einer Glühlampe ähnlich
CIE-Normbeleuchtung C	0,3101	0,3162	Weißpunkt der NTSC-TV-Norm
CIE-Normbeleuchtung E	1/3	1/3	Weißpunkt des CIE-RGB-Farbraumes; X, Y und Z zu exakt gleichen Anteilen
D5000 bzw. D50	0,3457	0,3585	Weißpunkt für Wide-Gamut-RGB und Color-Match-RGB
D5500 bzw. D55	0,3324	0,3474	Lichtspektrum ähnlich dem von durchschnittlichem Tageslicht (5500 Kelvin)
D6500 bzw. D65	0,31271	0,32901	Weißpunkt für sRGB, Adobe-RGB und die PAL/SECAM-TV-Norm (6504 Kelvin)



Die **Black-Body-Kurve**, **Standardbeleuchtungen** und einige **RGB/CMYK-Farbräume** in der CIE-Normfarbtafel.