

Über das menschliche Sehen

Volker-James Münchhof

Das „Abbild“ der Umgebung, die uns Menschen umgibt, wird durch die Linse im Auge auf die Rückwand des Auges, die Netzhaut, projiziert. Nach den Gesetzen der Optik würde diese Abbildung auf dem Kopf stehen. Das Gehirn des Menschen und die jahrelange Erfahrung sorgen allerdings dafür, daß wir Menschen dieses Abbild aufrecht stehend sehen. Die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut auf der Rückseite des Auges besteht aus insgesamt $120 \cdot 10^6$ Zellen, die aufgeteilt sind in $114 \cdot 10^6$ Stäbchen und $6 \cdot 10^6$ Zapfen. Die Zapfen dienen bei ausreichend hoher Lichtstärke der Helligkeits- und der Farbwahrnehmung. Bei geringerer Lichtstärke übernehmen die Stäbchen die Wahrnehmung. Die Stäbchen allerdings können keine Farbe „sehen“. Die Zapfen hingegen spielen bei Dunkelheit keine Rolle mehr. Somit geht die Farbwahrnehmung bei Dunkelheit verloren, so daß bei Dunkelheit nur ein schwarz-weiß Bild erkannt wird. Nachts sind deshalb alle Katzen grau.

Wird ein Lichteindruck oder ein Bild ganz plötzlich unterbrochen, so bleibt die Wirkung auf der Netzhaut noch für eine weitere $1/16$ Sekunde als Nachbild bestehen. Daraus folgt, daß sehr schnell aufeinander folgende Bilder nicht mehr getrennt wahrgenommen werden können und daß sehr schnell aufeinander folgende Bilder, mindestens 16 Bilder pro Sekunde, sich zu einer geschlossenen Bilderreihe verschmelzen. Allerdings wird am Rande der Netzhaut noch ein Flimmern wahrgenommen werden, das erst ab einer Frequenz von ca. 35 Bildern pro Sekunde verschwindet.

Diese „Schwäche“ des menschlichen Sehens macht man sich im Kino oder beim Fernsehen zu nutze. Die 8-, 9.5- und 16-mm Projektoren (besonders die für Amateure) konnten als geringste Bildzahl 16 Bilder pro Sekunde einstellen, 24 Bilder pro Sekunde war normal. Häufig gab es noch 25 Bilder pro Sekunde für Fernsehen. Die 35-mm Projektoren für Kinos liefen grundsätzlich mit 24 Bildern pro Sekunde. Ausnahme waren die Abtaster für das Fernsehen. Diese liefen mit 25 Bildern pro Sekunde. Wie konnte aber dann die Flimmerfrequenz überwunden werden, wenn diese bei ca. 35 Bildern pro Sekunde lag? Nun ganz einfach: Man zeigte jedes Bild 2mal oder bei langsamer Projektion sogar 3mal bevor zum nächsten Bild per Gabelgreifer oder Malteserkreuz weitergeschaltet wurde. Die etwas teureren Projektoren hatten für diesen Zweck eine verstellbare Flügelblende, die von 2flügelig auf 3flügelig verstellt werden konnte. Dieser „Trick“ spart natürlich eine Menge Filmmaterial.

Beim Fernsehen, das wegen der Synchronisierung mit der Frequenz des Stromnetzes (in Europa) mit 25 Bildern, bzw. 50 Halbbildern, pro Sekunde überträgt, ist noch ein zusätzliches Problem zu berücksichtigen. Wenn in der Bildröhre der Kathodenstrahl über die Bildpunkte streicht und diese dadurch zum Leuchten anregt, vergeht etwas Zeit bis der Kathodenstrahl wieder an

dieser Stelle vorbeikommt. Zwischenzeitlich verblasst also das Leuchten. Ein zu langes Nachleuchten allerdings würde ein bewegtes Bild „verschmieren“. Also sind ein kurzes Nachleuchten und eine „Auffrischung“ der Bildpunkte die Lösung des Problems. Das Fernsehbild wird von oben nach unten zeilenweise aufgebaut. Es sind dies zuerst die Zeilen 1, 3, 5, 7, ... usw., also das obere Halbbild oder das Halbbild A, und dann, wenn die Bildpunkte der Zeilen 1, 3, 5, 7, ... langsam zu verblassen beginnen, werden die Zeilen 2, 4, 6, 8, ... usw., also das untere Halbbild oder das Halbbild B übertragen und zwischen die verblassenden Bildzeilen geschrieben. Es findet eine „Auffrischung“ des Bildes statt. Insgesamt 8 aufeinanderfolgende Halbbilder ergeben eine „PAL-8V-Sequenz“.

Als das Fernsehen noch schwarz-weiß war wurde nur das Helligkeitssignal (Y), das Luminanzsignal (Y), übertragen. Entsprechend der Helligkeit „donnerte“ nun der Kathodenstrahl auf den Bildpunkt und brachte diesen entsprechend hell zum Leuchten. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf des Luminanzsignals von schwarz (0%) bis weiß (100%). Mit diesen Prozentwerten wird die Leistung des Kathodenstrahls in der Bildröhre gesteuert, bzw. moduliert, der somit die getroffenen Bildpunkte entsprechend hell aufleuchten

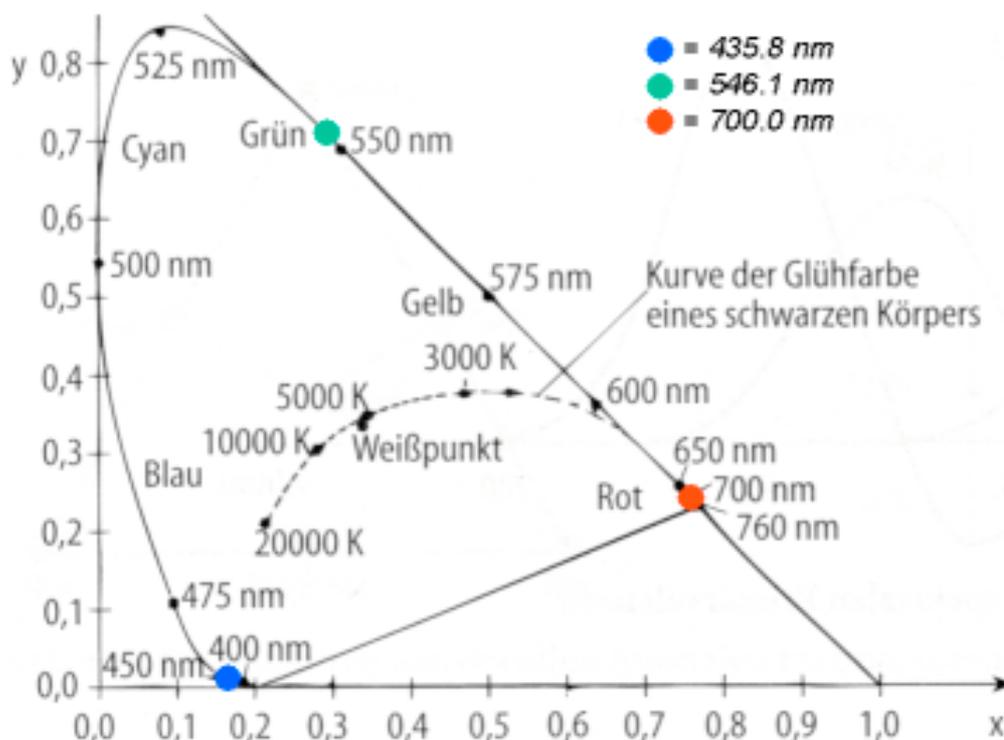


läßt.

Untersuchungen haben ergeben, daß es möglich ist, die meisten Farben durch die Mischung von nur wenigen einfarbigen Lichtern zu erstellen. Bei der additiven Farbmischung werden meistens nur drei Farben verwendet um alle anderen Farben daraus zu erstellen. Diese drei Grundfarben für die additive Farbmischung nennt man Primärvalenzen. Es sind die Farben: rot (Wellenlänge = 700 nm), grün (Wellenlänge = 546,1 nm) und blau (Wellenlänge = 435,8 nm). Die Primärvalenzen sind so festgelegt, daß sich daraus keine der anderen Farben ermischen läßt. Eine Mischung von jeweils zwei Primärvalenzen mit 100%iger Intensität ergeben folgende Kombinationen: rot und grün ergibt gelb, grün und blau ergibt cyan und blau und rot ergibt magenta. Zwei Farben, die bei einer additiven Farbmischung weiß ergeben, nennt man Komplementärfarben. Zu rot, grün und blau gehören die Komplementärfarben cyan, magenta und gelb. Mit den Komplementärfarben und der subtraktiven Farbmischung kann man aus weißem Licht (oder weißem Papier) bestimmte Farben herausfiltern. Deshalb wird die subtraktive Farbmischung beim Drucken angewendet.

Von der internationalen Beleuchtungskommission „Commission Internationale d’Eclairage“ wurde eine Normfarbtafel mit x-z-Koordinaten (rot-grün) als Bezug für die Farbmessung erstellt. Es gilt dabei die Beziehung: rot + grün + blau

= 1. Der Weißpunkt, manchmal auch als „Unfarbpunkt“ bezeichnet, hat die Koordinaten $x = y = z = 0,333$. Jede Gerade, die vom „Unfarbpunkt“ ausgeht, kennzeichnet eine Farbart mit gleichem Farbton aber verschiedener Farbsättigung. Mischfarben bedecken mehrere Kurven- oder Flächenstücke. Die nachstehende Abbildung zeigt eine Farbtafel. In diese Farbtafel sind bereits die Grundfarben rot, grün und blau mit ihren Wellenlängen eingetragen.



Für das Fernsehen/Video interessiert uns hauptsächlich die additive Farbmischung. Wie schon erwähnt wird der Farbpunkt/Bildpunkt aus den drei Farben rot, grün und blau (RGB) mit jeweils 8-bit Farbtiefe (= 256 Stufen je Farbe) gebildet. Das ergibt 16,8 Millionen Farbkombinationen (genau sind es $2^{24} = 16777216$ Farbkombinationen), von denen der Mensch allerdings nur ca. 8000 Farbkombinationen unterscheiden kann.



RGB-Bildpunkt

Der RGB-Bildpunkt wird über das Farbsignal (C), das Chrominanzsignal (C), angesteuert, das ihm die Information über die Farbkombination mitteilt. Das Luminanzsignal teilt dem Bildpunkt mit, wie hell die Farben leuchten sollen. Ein „schwarz-weiß“ Fernsehgerät wertet nur das Luminanzsignal aus. Mit dem Chrominanzsignal kann es nichts anfangen. So wird die Kompatibilität gewahrt.