

Prof. Dr. Jürgen Nolting

How does it work? – Teil 11

Was ist eigentlich Farbe?

Teil 1: Farbmeterik

Die Welt ohne Farben wäre trist und grau. Farben bringen wichtige Zusatzinformationen, Farben können warnen, Farben drücken Stimmungen aus. Eine „farbige“ Schilderung eines Erlebnisses wird auch dem Unbeteiligten lebhaft vor Augen treten. Für viele technische Anwendungen ist es notwendig, dass eine Farbe genau definierbar und messbar ist. Schließlich soll das nachbestellte rot getönte Brillenglas genau so aussehen wie das vorherige. [1,2]

Farbe zu definieren ist alles andere als einfach. Physikalisch gesehen gibt es keine Farben, denn ein Farbeindruck entsteht erst durch die Wahrnehmung. Zwei Lichtquellen mit gänzlich verschiedenem Spektrum können dennoch die gleiche Farbempfindung auslösen. Zwei Druckvorlagen können bei Tageslicht gleich aussehen, bei Kunstlicht aber erheblich voneinander abweichen.

DIN 5033 definiert: „Farbe ist diejenige Gesichtsempfindung eines dem Auge strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen angrenzenden Bezirk allein unterscheidet.“

Dennoch ist es in der Technik notwendig, die Beurteilung einer Farbe nicht nur dem Empfinden eines Betrachters zu überlassen, sondern Messgrößen und -verfahren zu definieren, die eine Aussage über die Einhaltung einer vorgegebenen Farbe gestatten. Denn das Rot einer Verkehrsampel oder eines Zeigers auf einem Armaturenbrett darf nicht dem Farbempfinden des Herstellers überlassen bleiben sondern muss verbindlich festgelegt werden.

1 Grundbegriffe

In unserer Umgangssprache wird der Begriff „Farbe“ nicht klar definiert: Farbempfindung, Pigment, Anstrich, Lasur, Deckfarbe, Farbstoffe, Malerfarbe werden oft einfach mit „Farbe“ bezeichnet. Im Rahmen der Farbmeterik und Farbmessung wird versucht, die Farbempfindung messtechnisch zu charakterisieren. Was an Farbe zu Bewusstsein kommt, steht am Ende einer Reihe physikalischer und biologischer Prozesse. Objektiv physi-

kalisches charakterisierbar sind die Eigenschaften des Lichtes, das von einer Quelle ausgesandt oder von einem Körper re-emittiert wird und ins Auge gelangt. Hier kann mit einem Spektrometer die Verteilung der Strahlungsenergie über das Spektrum absolut aufgenommen werden. Leider ist diese Charakterisierung nicht unmittelbar geeignet, um direkt auf das Farbempfinden zu schließen. Die Zusammensetzung des Spektrums stellt den objektiven Farbeindruck dar, der in der Netzhaut des Auges wirksam wird und den Anfang der Wahrnehmungskette bildet. Der Farbeindruck entsteht erst im Gehirn. Dabei ist mit Farbeindruck (kurz: Farbe, genauer: Farbvalenz) nur die Grundempfindung gemeint, die unabhängig von der Beeinflussung des Auges (etwa durch Umgebungsfarben) ist und sich bezüglich additiver Farbmischung stets gleich verhält. Die Farbvalenz ist allerdings in der Wahrnehmungskette erst ein Zwischenprodukt. Am Ende der Kette steht die Farbempfindung, die nicht der Farbvalenz entspricht. So ist es z.B. möglich, dass zwei gleiche Farbeize, die zur gleichen Farbvalenz führen, dennoch unterschiedlich empfunden werden, wenn z.B. zwei gleichfarbige Flächen in einen anderen Umgebungskontext eingebettet sind.

Die Farbeizfunktion $\varphi(\lambda)$ ergibt sich sowohl aus dem Spektrum der Beleuchtung $S(\lambda)$ und dem spektralen Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ einer durchstrahlten Probe oder dem spektralen Leuchtdichtefaktor $\beta(\lambda)$ einer ideal matten, beleuchteten Fläche, wie Abbildung 1 zeigt.

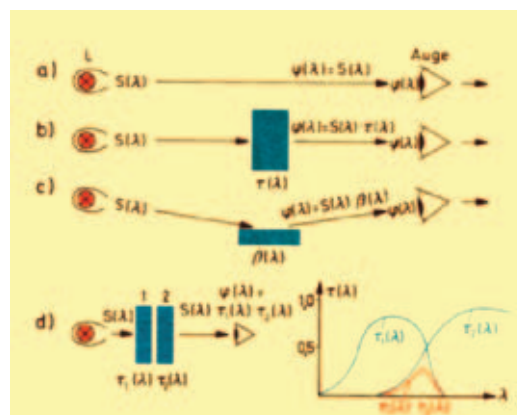


Abb. 1: Entstehung der Farbeizfunktion.

- Beobachtung einer Lichtquelle
- Lichtdurchgang durch Filter
- diffuse Reflexion an einer Oberfläche
- Lichtdurchgang durch zwei Filter [3]

Anschaulich lässt sich eine Farbvalenz durch die Begriffe Farbart, Farbsättigung und Helligkeit charakterisieren. Die Farbart von Erdbeersaft z.B. ist Rot. Vermischt man den roten Saft mit Milch, so kommt es zu einer Entsättigung der Farbe, die Farbempfindung entspricht Rosa. Rosa entspricht der gleichen Farbart bei reduzierter Farbsättigung. Im Extremfall führt die Entsättigung hier zu Weiß. Mischt man hingegen mit einer schwarzen oder grauen Flüssigkeit, so erscheinen die bei der Mischung auftretenden Zwischenzustände allesamt dunkler. Sie entsprechen aber ebenfalls der gleichen Farbart Rot mit fallender Sättigung. Der Unterschied zu vorher liegt hier in der verringerten Helligkeit. Die sog. unbunte Reihe von Schwarz über Grau bis Weiß wird in der Farbenlehre zu den Farben gezählt. Abbildung 2 verdeutlicht die Begriffe der Sättigung und Helligkeit an einem Beispiel.

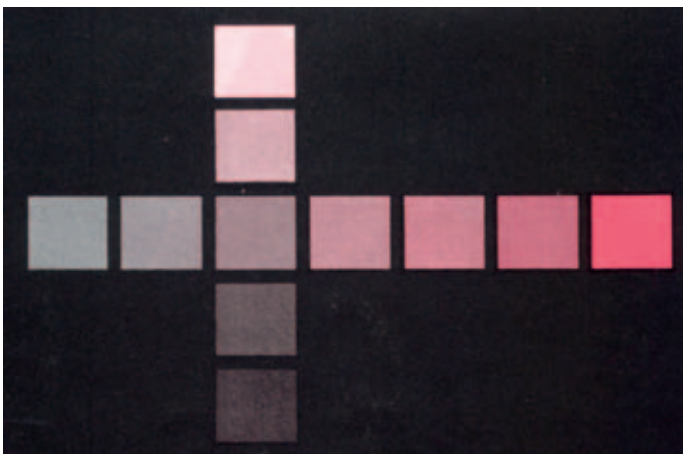


Abb. 2: Abwandlung einer Farbe in Sättigung (horizontal) und Helligkeit (vertikal) [4]

In der Farbfernsehtechnik werden die dargestellten Farben tatsächlich durch die Informationen Farbart, Sättigung und Helligkeit codiert. In der Messtechnik hat sich aber eine andere Charakterisierung durchgesetzt, die im folgenden vorgestellt wird.

■ 2 Additive Farbmischung

Die Netzhaut des Menschen enthält drei Typen farbeempfindlicher Sehzellen, die auf unterschiedliche Bereiche des Spektrums reagieren. Zapfen der Art T sensieren bevorzugt Licht im blauen Spektralbereich, D-Zapfen haben ihre maximale Empfindlichkeit im grünen Bereich und der Empfindlichkeitsbereich der P-Zapfen ist gegenüber den D-Zapfen noch etwas mehr in den roten Bereich verschoben. Die spektralen Empfindlichkeiten der drei Zapfenarten sind in der Abbildung 3 dargestellt. Die Signale der drei Zapfenarten sind in der Wahrnehmung nicht trennbar, die Formen der drei Kurven wurden hauptsächlich durch Untersuchungen an Farbfehlsichtigen gewonnen, bei denen eine oder mehrere Zapfenarten fehlen.

Nun hat, wie wir alle aus der Anschauung wissen, der Mensch nicht nur drei unterschiedliche Farbempfindungen rot, grün und blau. Auch wenn man nur gesättigte Farben gleicher Helligkeit betrachtet, gibt es noch eine Vielzahl weiterer Farbempfindungen, die zustande kommen, wenn die Reize aller drei Zapfenarten zusammengenommen bewertet werden, wie es das Gehirn macht. So ist es zu erklären, dass bei der Über-

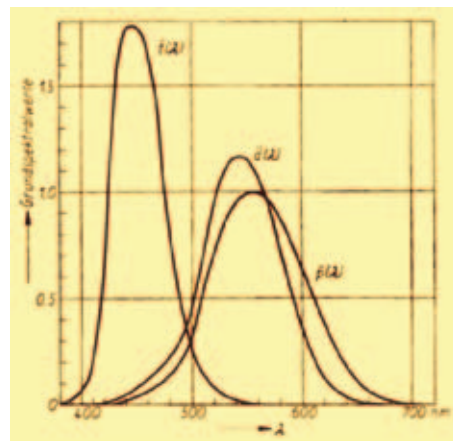


Abb. 3: Die spektralen Empfindlichkeitskurven der drei Zapfenarten T, D und P [5]

einanderprojektion roter, grüner und blauer Lichter in den Überlappungsbereichen ganz andere Farbempfindungen entstehen, die durch das Zusammenwirken der Reize verschiedener Zapfenarten verursacht werden. Wenn man sich die drei Empfindlichkeitsspektren in Abbildung 3 ansieht, erkennt man, dass sogar monochromatisches Licht bei fast allen Wellenlängen mindestens zwei Zapfenarten, oft sogar alle drei anregt. Abbildung 4 zeigt die bei der Übereinanderprojektion entstehenden Mischfarben. Man bezeichnet diese Art der Farbmischung als additiv, da sie durch die Summation der Reize mehrerer farbiger Lichter entsteht.



Abb. 4: Additive Farbmischung [6]

Eine gute Zusammenfassung liefert das erste farbmetrische Grundgesetz: *Das helladaptierte Auge bewertet die einfallende Strahlung nach drei voneinander unabhängigen spektralen Wirkungsfunktionen linear und stetig, wobei sich die Einzelwirkungen zu einer untrennbaren Gesamtheit addieren.* [4]

Eine Farbvalenz wird durch das Verhältnis der Reize der drei Zapfenarten festgelegt. Die Form des Spektrums des Farbreizes ist hier nicht direkt maßgeblich. Es ist durchaus möglich, dass die identische Farbvalenz entstehen kann, wenn eine völlig unterschiedliches Spektrum einwirkt, solange das Verhältnis

und die absolute Größe der Reize der Zapfenarten gleich bleibt. Gleichaussehende Farben die durch Strahlung unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung erzeugt werden, werden als metamer bezeichnet. Da zueinander metamere Farben die gleichen Reize auf die drei Zapfenarten ausüben, können sie bei der additiven Farbmischung gegeneinander ausgetauscht werden. Metamere Farben verhalten sich also bezüglich der additiven Farbmischung völlig gleich. Aber: Zwei Objekte, die bei Beleuchtung mit Tageslicht metamer sind, können bei Lampenlicht ganz unterschiedlich wirken, da das geänderte Spektrum der Beleuchtung bedingt durch das unterschiedliche Remissionsspektrum der beiden Objekte zu unterschiedlichen Reizverhältnissen der drei Zapfenarten führen kann.

■ 3 Der Farbenraum

Um Farbmetrik zu verstehen, benötigt man ein wenig Vektorgeometrie. Zur Erinnerung eine kurze Zusammenfassung: Die drei Koordinaten x , y und z eines Punktes im Raum können in der Mathematik zu einem Vektor zusammengefasst werden. Diesen Vektor kann man als Pfeil vom Koordinatenursprung zum Punkt im Raum auffassen. In der Vektorgeometrie kann jeder Vektor als Summe dreier Vektoren geschrieben werden, die in Richtung der Koordinatenachsen liegen. Jeder einzelne der drei Koordinatenvektoren ist seinerseits das Produkt aus dem Koordinatenwert und einem Vektor der Länge 1 in Richtung der jeweiligen Koordinatenachse. Man nennt diese drei Einheitsvektoren auch die Basisvektoren des Raumes. Durch Festlegung dreier Basisvektoren, die nicht in einer Ebene liegen dürfen, und die Angabe dreier Koordinatenwerte lässt sich also jeder beliebige Vektor definieren. Weiterhin muss man wissen, dass die Addition zweier beliebiger Vektoren einfach durch Addition der jeweiligen x -, y - und z -Koordinatenwerte der beiden Vektoren erfolgen kann. Die Summe der beiden x -Koordinaten ergibt die x -Koordinate des Summenvektors, für die y - und z -Koordinaten geht es genauso.

Jetzt wieder zu den Farben: Auch eine Farbvalenz kann durch drei Werte charakterisiert werden: Die Reize der drei unterschiedlichen Zapfenarten. Und genauso, wie sich Vektoren durch Addition ihrer drei Komponenten addieren lassen, addieren sich die Farbreize bei der additiven Farbmischung. Das legt nahe, Farbvalenzen als Vektor zu definieren.

$$\vec{F} = R \cdot \vec{R} + B \cdot \vec{B} + G \cdot \vec{G}$$

Abbildung 5 zeigt, wie eine beliebige Farbvalenz aus den Koordinaten R , B und G entsteht, wenn man als Basisvektoren die Farbvalenzen \vec{R} , \vec{B} und \vec{G} und festgelegt hat.

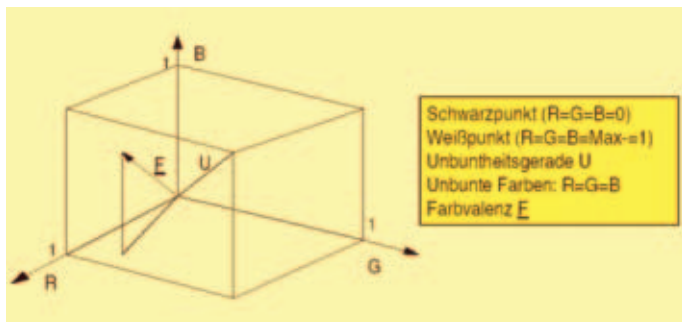


Abb. 5: Darstellung von Farbvalenzen im Vektordiagramm [7]

Wird der Farbwert der drei zugrunde liegenden Farbarten um den gleichen Faktor geändert, dann ändert sich die Farbart nicht, lediglich die Helligkeit wird variiert. Dabei ändert sich die Länge der Farbvalenz, nicht die Richtung. Werden die Farbwerte allerdings ungleichmäßig verändert, dann ändert sich die Farbart. Im Diagramm ergibt sich dann eine Drehung des Farbvektors. Im Vektordiagramm ergeben sich also

- die Farbwerte aus den Achsenabschnitten,
- die Farbart aus der Richtung des Vektors zu den drei Bezugachsen
- die Helligkeit (Leuchtdichte) aus der Länge des Vektors,
- die Farbvalenz aus dem Punkt im Vektorraum, auf den der Vektor zeigt.

Die zu Grunde liegenden Basisvektoren werden als Primärvalenzen bezeichnet.

In einem Farbenraum wie der Abbildung 5 lassen sich alle möglichen Farbvalenzen eindeutig eintragen.

■ 4 Das Farbdreieck

Leider stößt die zeichnerische oder drucktechnische Darstellung eines dreidimensionalen Farbenraums schnell an Grenzen. Daher haben sich vereinfachte Darstellungen durchgesetzt, in denen auf die absolute Helligkeit verzichtet wird und nur die Verhältnisse zwischen den einzelnen Farbwerten eingehen. Die zugrunde liegende Schwerpunkt-Konstruktion geht schon auf Newton zurück und ist in der Abbildung 6 verdeutlicht: Man stelle sich ein z.B. gleichseitiges Dreieck vor, das in seinen drei Ecken mit Gewichten belastet wird, die den drei Farbwerten R , G und B entsprechen. Der Schwerpunkt des so belasteten Dreiecks ist die Stelle, an der man das Dreieck unterstützen kann, ohne dass es zu einer Seite kippt. Die Lage des Schwerpunktes hängt nicht von der absoluten Größe der drei Farbwerte ab: Eine Verdopplung jedes der drei Farbwerte verändert die Lage des Schwerpunktes nicht. Die Lage des Schwerpunktes ist also unabhängig von der Helligkeit. Ändert sich aber das Verhältnis der Farbwerte zueinander, dann verschiebt sich die Lage des Schwerpunktes. Dieser Schwerpunkt wird als Farbort (Plural: Farbörter, nicht Farborte) bezeichnet, das gesamte Dreieck als Farbdreieck. Die Farbarten und -sättigungen einer Farbvalenz definieren den Farbort, die Helligkeit wird im Farbdreieck nicht erfasst. Vorteil: Man kommt mit einer zweidimensionalen Darstellung aus. Die Mischungsverhältnisse der drei Primärvalenzen können im Farbdreieck auf den drei Seiten abgetragen werden, wie in der Abbildung 6 gezeigt. Diese Farbwertanteile r , g und b werden in relativer Form definiert, es sind also nur Werte zwischen 0 und 1 möglich. Sie ergeben sich aus den drei Farbwerten R , G und B nach den folgenden Beziehungen:

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad \text{und} \quad b = \frac{B}{R+G+B}.$$

Die Summe der drei Farbwertanteile ist immer 1, so dass die Angabe zweier Anteile ausreicht, um einen Punkt im Farbdreieck festzulegen. Der fehlende Anteil kann dann berechnet werden.

Das Farbdreieck ist nur ein Ausschnitt aus dem gesamten Farbraum. Schließlich hat man ja auf die Unterscheidung verschiedener Helligkeiten gleicher Farbarten verzichtet. Prinzipiell kann man den gesamten Farbraum erhalten, wenn man

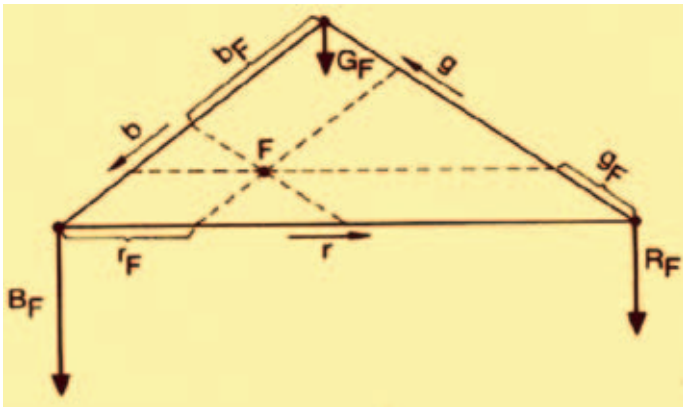


Abbildung 6: Schwerpunktkonstruktion zur Bestimmung eines Farbortes im Farbdreieck [5]

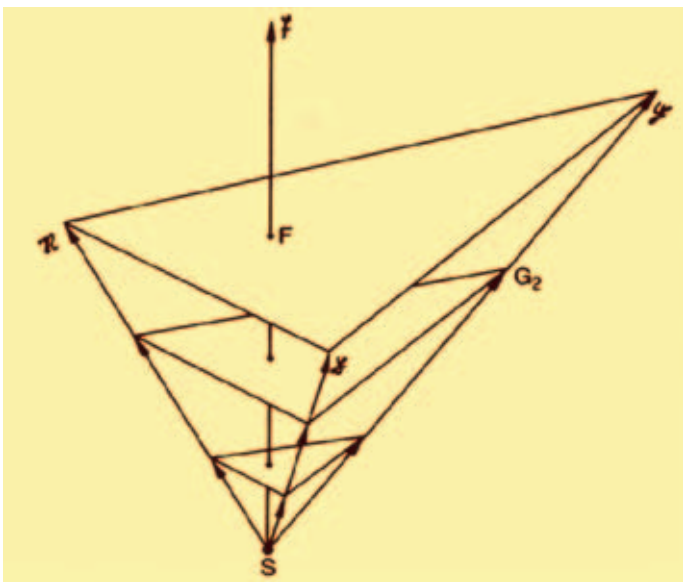


Abb. 7: Der Farbraum besteht aus den Farbdreiecken für alle möglichen Helligkeiten [5]

die Farbdreiecke für alle möglichen Helligkeiten zusammennimmt, wie in der Abbildung 7 gezeigt. Verwendet man als Maß für die drei Farbwerte die Leuchtdichte, so sind die gezeichneten Dreiecke die Ebenen gleicher Leuchtdichte. Der gesamte Farbraum hat die Form einer dreiseitigen Pyramide, deren Kanten die drei Primärvalenzen bilden. Nach Schrödinger kann man diesen Raum anschaulich auch als Farbtüte bezeichnen.

Beschränken wir uns im folgenden auf die ebene Darstellung, also auf das Farbdreieck. Jetzt muss noch geklärt werden, welche drei Primärvalenzen (Einheitsvektoren) man verwenden sollte. Hier gibt es verschiedene Ansätze, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden.

5 Das Spektralwert-System

Bisher ist noch nichts ausgesagt worden über die drei Primärvalenzen \vec{R} , \vec{G} und \vec{B} . Sie können im Prinzip beliebig gewählt werden, solange sich jede einzelne nicht als Kombination der beiden anderen darstellen lässt. Mathematisch ausgedrückt: Die drei Vektoren dürfen nicht in einer Ebene liegen. Auch ist es für die zeichnerische Darstellung unerheblich, in

welche Richtung und unter welchem Winkel die drei Primärvalenzen gezeichnet werden.

Es liegt zunächst nahe, monochromatische Primärvalenzen zu wählen, d.h. Primärvalenzen, die im Spektrum nur aus einer einzigen Linie bestehen. Ein sinnvolle Wahl ist z.B. gegeben durch Wellenlängen, die im roten, grünen und blauen Spektralbereichs liegen, z.B. 700 nm für rot, 546 nm für grün und 436 nm für blau. Jede Farbvalenz lässt sich dann als Linearkombination aus diesen Primärvalenzen bilden, die Vorfaktoren der Primärvalenzen sind die Farbwerte.

$$\vec{F} = \vec{r} \cdot \vec{R}(700) + \vec{b} \cdot \vec{B}(436) + \vec{g} \cdot \vec{G}(546)$$

Der Querstrich über den Farbwerten symbolisiert, dass sich die Rechnung auf Primärvalenzen gleicher Strahlungsleistung beziehen. Die Farbwertanteile (normierte Farbwerte), die sich für eine Farbvalenz bei Zerlegung nach den drei (spektral reinen) Primärvalenzen ergeben, werden als Spektralwerte bezeichnet.

Zeichnet man alle spektral reinen, monochromatischen Farben in einem Farbdreieck auf, so ergibt sich ein nach außen gekrümmter, konvexer Kurvenzug, der Spektrallinienzug. Alle aus den Primärvalenzen ermischnbaren Farben bilden das innere eines Dreiecks, das von den Farbörtern der Primärvalenzen aufgespannt wird. Daraus folgt aber unmittelbar, dass es unmöglich ist, alle Farbörter des Spektralfarbenzuges zu erreichen, wenn man als Primärvalenzen monochromatische Lichter annimmt. Anders ausgedrückt: Es sind nicht alle Farbempfindungen des Spektrallinienzuges dadurch erzeugbar, dass man drei Spektralfarben additiv mischt. Das ändert sich auch nicht, wenn man andere Primärvalenzen wählt, deren Farbörter im Inneren des Farbdreiecks liegen.

Rechnerisch kann man bei der Wahl der monochromatischen, spektral reinen Primärvalenzen dennoch zu jeder Farbvalenz gelangen, wenn man negative Farbwertanteile zulässt. Dies ist dann allerdings nur noch rechnerisch möglich, eine Realisierung per additiver Farbmischung gibt es nicht. Nun ist das Ziel der Farbmetrik ja nicht, eine Handlungsanweisung für additive Farbmischung zu geben, sondern ein Verfahren zu finden, nach dem jede Farbvalenz eindeutig durch ein System von Farbwertanteilen definiert ist, um die Basis zu einer messtechnischen Charakterisierung zu schaffen. In diesem Sinne sind negative Farbwertanteile also nicht schädlich, allenfalls unanschaulich.

Auf diese Weise lassen sich die Farbvalenzen des Spektrallinienzuges angeben. Abbildung 8 zeigt den Verlauf der drei Spektralwerte aufgetragen über der Wellenlänge auf dem Spektrallinienzug.

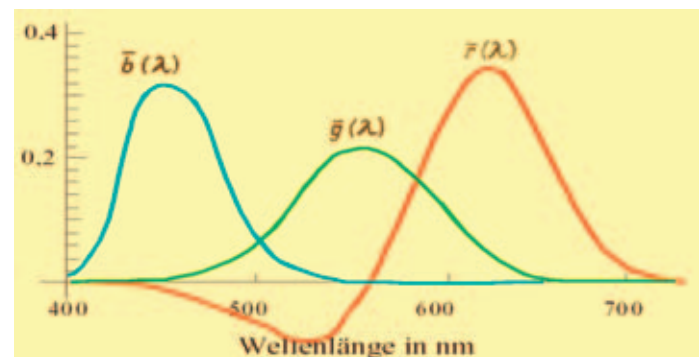


Abb. 8: Spektralwertkurven der drei Primärvalenzen $\vec{R}(700)$, $\vec{G}(546)$ und $\vec{B}(436)$ [7]

Das System, Farbvalenzen durch die Spektralwerte bezogen auf die Primärvalenzen $\vec{R}(700)$, $\vec{G}(546)$ und $\vec{B}(436)$ anzugeben, wurde von der CIE 1931 als „farbmetrischer 2°-Normalbeobachter 1931“ festgelegt. Die angegebenen Spektralwertkurven gelten genau genommen nur dann, wenn die wahrgenommene Farbe einem 2° durchmessenden Bereich im Zentrum des Gesichtsfeldes entspricht.

6 Das Normvalenz-System

Wie zuvor diskutiert, gibt es keine drei Primärvalenzen, die in additiver Mischung alle nur möglichen wahrnehmbaren Farbvalenzen ergeben. Negative Farbwertanteile sind somit für einige Bereiche des Farbdreiecks unvermeidlich. Will man diese Unanschaulichkeit umgehen, so kann man als Primärvalenzen Farbvalenzen außerhalb des Farbdreiecks willkürlich festlegen. Diese Primärvalenzen existieren dann aber nur rechnerisch, sie entsprechen keiner wahrnehmbaren Farbvalenz. Man bezeichnet sie als virtuell. Wählt man die drei Primärvalenzen so, dass sämtliche Farbörter des Farbdreiecks innerhalb des durch die Farbörter der Primärvalenzen aufgespannten Dreiecks liegen, so kann es keine negativen Farbwertanteile mehr geben. Die Unanschaulichkeit hat sich aber nur verschoben – jetzt hat man mindestens eine virtuelle Primärvalenz.

Die CIE hat ein Normvalenzsystem definiert, in dem nur positive Normspektralwerte vorkommen. Man erhält sie aus den Spektralwerten des 2°-Normalbeobachters durch folgende Transformation:

$$\bar{x}(\lambda) = +2.7689 \cdot \bar{r}(\lambda) + 1.7518 \cdot \bar{g}(\lambda) + 1.1302 \cdot \bar{b}(\lambda)$$

$$\bar{y}(\lambda) = +1.0000 \cdot \bar{r}(\lambda) + 4.5907 \cdot \bar{g}(\lambda) + 0.0601 \cdot \bar{b}(\lambda)$$

$$\bar{z}(\lambda) = +0.0565 \cdot \bar{g}(\lambda) + 5.5943 \cdot \bar{b}(\lambda)$$

In diesem System sind alle drei Normvalenzen \vec{X} , \vec{Y} und \vec{Z} virtuell. Abbildung 9 zeigt die Spektralwertkurven des CIE-Normvalenzsystems, das in DIN 5033 festgelegt ist.

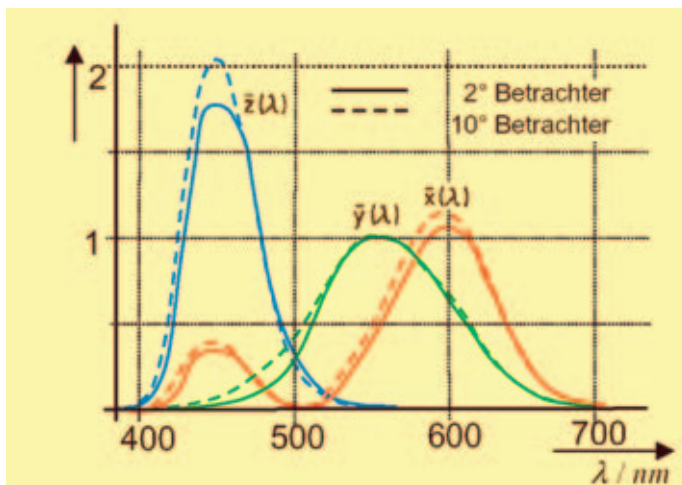


Abb. 9: Normspektralwert-Funktionen [7]

In der Abbildung 9 sind gestrichelt drei weiteren Normspektralwert-Funktionen eingezeichnet, die sich ergeben, wenn bei der Bestimmung der Spektralwerte farbige Flächen verwendet werden, die ein Gesichtsfeld von 10° statt von 2° ausfüllen. Die Unterschiede erklären sich dadurch, dass das Verhältnis der

Anzahlen der drei Zapfenarten abhängig ist vom Ort auf der Netzhaut: Die Anzahlen der drei Zapfenarten in einem Umkreis von 10° um die fovea centralis stehen in einem anderen Verhältnis zueinander als in einem Umkreis von 2°.

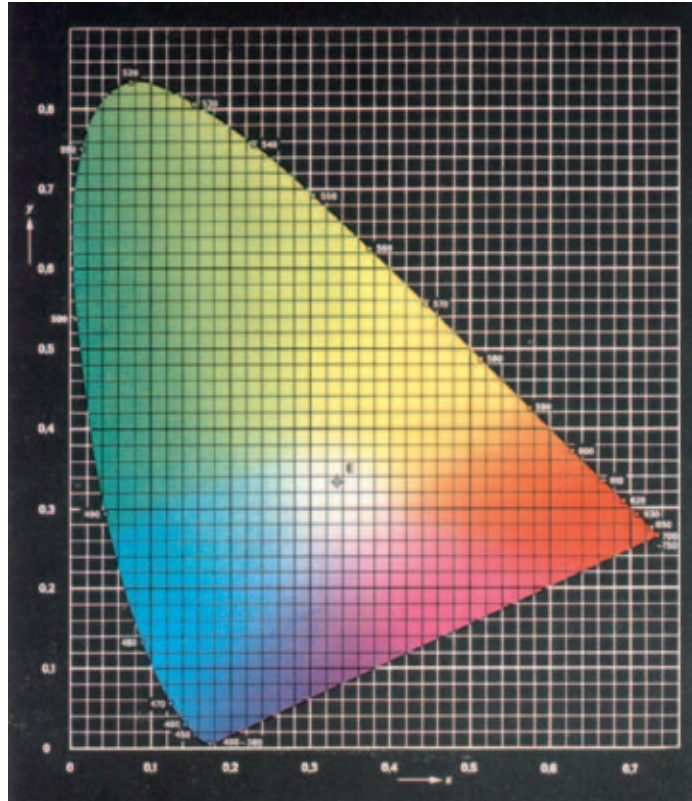


Abb. 10: Normfarbtafel CIE [4]

Auf der Basis der 2°-Normvalenzen ist die Normfarbtafel CIE (DIN 5033) konstruiert, die in Abbildung 10 wiedergegeben ist. Die Normfarbtafel ist rechtwinklig, die Farbörter der Spektrallichter bilden eine vollkommen eingeschriebene Kurve, den Spektrallinienzug. Auf der Verbindungsgeraden zwischen dem kurz- und dem langwelligen Ende des Spektrallinienzuges liegen Farbvalenzen, die nicht im elektromagnetischen Spektrum auftauchen: Die Mischfarben aus Rot und Blau, die Purpur-Farben (magenta). Diese Gerade wird daher als Purpurgerade bezeichnet. Der Farbort des sog. energiegleichen Spektrums (die spektrale Verteilung des Farbreizes hat für alle Wellenlängen einen gleichen, konstanten Wert) liegt bei $X=Y=Z=0.333$, er entspricht der Farbvalenz Weiß. Darüberhinaus ist das System so konstruiert, dass der Normfarbwert Y proportional zur Leuchtdichte ist, denn die Spektralwertkurve $\bar{y}(\lambda)$ ist proportional zur Kurve der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges $V(\lambda)$. Das führt aber dazu, dass die Farbtafel CIE 1931 keine Ebene gleicher Leuchtdichte darstellt, sondern, wie in Abbildung 11 gezeigt, von parallelen Geraden gleicher Leuchtdichte, sog. Isolynehen, geschnitten wird. Diese verlaufen parallel zur XZ -Achse. Die XZ -Achse liegt in der Ebene der Leuchtdichte 0, der Alynchen-Ebene. Damit entspricht den virtuellen Primärvalenzen X und Z kein Leuchtdichtewert.

Um zu bestimmen, welche Farbwertanteile („Farbkoordinaten“) eine beleuchtete matte Fläche hat, muss man zunächst das Beleuchtungsspektrum $S(\lambda)$ mit der spektralen Verteilung der Remission $\beta(\lambda)$ multiplizieren und erhält die spektrale Zu-

sammensetzung $\varphi(\lambda)$ des Lichtes, das ins Auge gelangt, die Farbreizfunktion. Multipliziert man diese Kurve nun mit $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ oder $z(\lambda)$ und addiert die Werte über alle Wellenlängen jeweils auf, so ergeben sich die drei Farbkoordinaten X, Y und Z. Diese sind noch zu normieren, d.h. durch die Summe X+Y+Z zu dividieren. Das Ergebnis sind dann die drei Normfarbwertanteile x, y und z. Dabei sind x und y die Koordinaten des Farbortes im

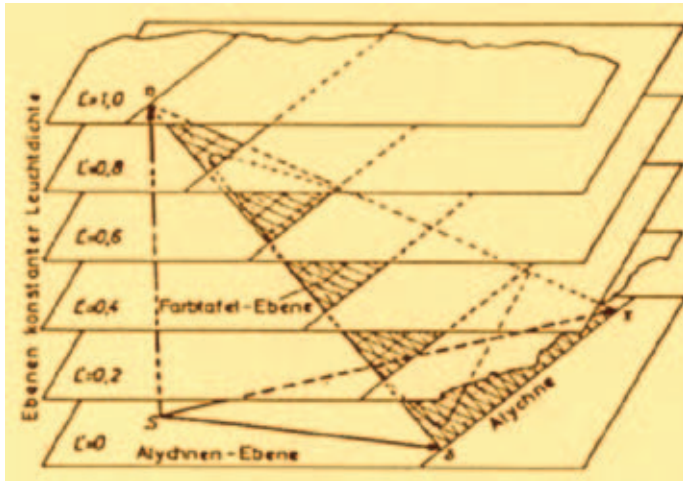


Abb. 11: Normfarbtabelle im Farbraum [5]

Farbdreieck. Der Farbwertanteil z muss nicht angegeben werden, da er sich ja aus x und y auf einfache Weise berechnen lässt, denn es gilt $x+y+z=1$.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Jürgen Nolting,
FH Aalen – Studiengang Augenoptik,
Gartenstraße 135, 73430 Aalen

Literatur

- [1] J. Nolting: „Farbmetriken, Farbräume und Farbmessung“, Skript Nr. 3 zum Lehrgang 30041/41.796 „Optische Messtechnik“, Technische Akademie Esslingen, Esslingen (2004)
- [2] U. Kaleta: „Farbmessung an organischen Gläsern zur Unterstützung des Färbeprozesses“, Diplomarbeit, Studiengang Augenoptik, FH Aalen (2003)
- [3] G. Schröder: „Technische Optik“, Vogel Verlag, Würzburg (1990)
- [4] M. Richter: „Einführung in die Farbmetrik“, Walter de Gruyter, Berlin (1981)
- [5] F. Bestenreiner: „Vom Punkt zum Bild“, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe (1988)
- [6] H. Rudolf: „Die Grundregeln der Farbenlehre - Additive Farbmischung“, <http://www.metacolor.de/additiv.htm> (2005)
- [7] K.-H. Franke: „Computergraphik – Licht, Hellempfinden und Farbe“, http://kb-bmsts.rz.tu-ilmeneau.de/Franke/Scripte/Grafik/Grafik_Farbe_2003_2004_Druck.pdf (2004)

Lust auf mehr Wissen? „Tagungen – Seminare – Messen“

am Schluss unseres DOZ - Kleinanzeigers!

Cooler für Kids & vieles mehr – im großen Handelswaren-Katalog von pricon



Kostenlos anfordern
 0800-7430084

freecall

