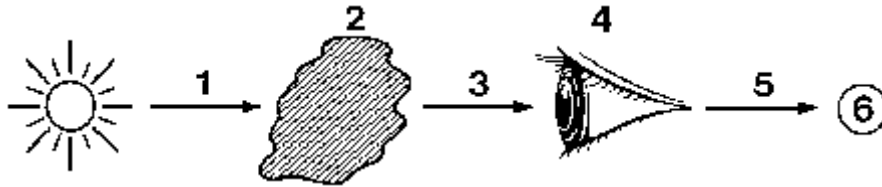


Was ist Farbe eigentlich?

Die Wirkungskette zwischen Licht und Farbempfindung



Beleuchtungslicht (1) fällt auf einen Gegenstand. Ein Teil des Lichtes wird absorbiert, verschluckt, nämlich in Wärme umgewandelt (2). Der nicht absorbierte Teil, das Restlicht, wird als Farbreiz (3) ins Auge eines Betrachters reflektiert (4). Nach den organischen Anpassungsvorgängen der Adaptation, der Umstimmung und des Simultankontrastes wird für jeden Bildpunkt auf der Netzhaut ein elektrischer Code gebildet und über die Nervenbahnen (5) ins Gehirn geschickt. Aus diesen farblosen Daten baut sich das vielfarbige dreidimensionale Gesichtsfeld als Bewusstsein auf (6).

Vom Licht zur Farbempfindung als Bewusstsein

Das Licht

Licht ist Energiestrahlung. Energiestrahlen sind elektromagnetische Schwingungen, die sich durch ihre Wellenlängen unterscheiden. Die Wellenlänge (Frequenz) ist der Abstand zwischen zwei Wellenbergern. Es gibt eine kontinuierliche Skala von Energiestrahlen, die vom Bruchteil eines Nanometers bis hin zu Kilometern reicht: Gammastrahlen, Alphastrahlen, Röntgenstrahlen, Licht, Wärmestrahlen, Fernsehen, Funk, elektrischer Strom. All diese Energiestrahlen unterscheiden sich nur durch ihre Wellenlängen voneinander.

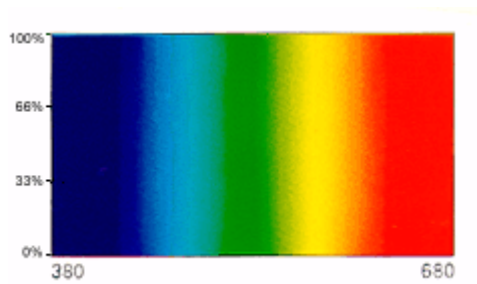
Jene Energiestrahlen im Bereich zwischen etwa 400 und 700 nm nennen wir Licht, weil wir glauben, sie sehen zu können. Tatsächlich werden sie aber zunächst nur von unserem Sehorgan registriert und in organische elektrische Impulse umgewandelt.

Lichtstrahlen sind farblose Energiestrahlen. Im Licht sind keinerlei Farben vorhanden.

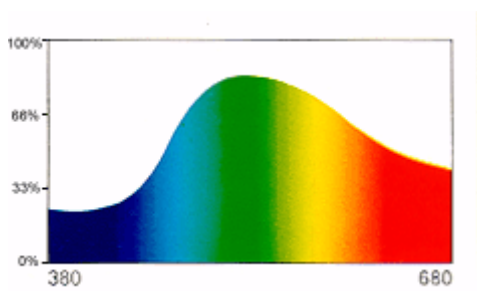
Das Material

Materie besteht bekanntlich aus Atomen. Dadurch, dass sich Atome zu verschiedensten Molekülen zusammenschließen, entstehen die unterschiedlichen Materialien. Je nach ihrer molekularen Struktur besitzt die Materie die Fähigkeit, vom auffallenden Beleuchtungslicht einen Teil zu absorbieren, also zu verschlucken. Der nicht absorbierte Teil wird reflektiert. Man kann ihn auch das Restlicht nennen. Wenn dieses Restlicht ins Auge eines Betrachters fällt, nennt man es Farbreiz.

Auch der Farbreiz ist farblose Energiestrahlung.



Das auf ein grünes Blatt aufgestrahlte Sonnenlicht.



Der reflektierte Teil des Lichtes, der als Farbreiz ins Auge des Betrachters fällt. Der Farbreiz ist das Restlicht.

Der Farbreiz

Die Wellenlängen des sichtbaren Spektrums können im Farbreiz in den unterschiedlichsten Intensitäten vertreten sein. Man nennt das die spektrale Verteilung.

Von der spektralen Zusammensetzung des Farbreizes hängt es ab, welche Farbe wir sehen.

Registrierung im Auge

Der von außen kommende Farbreiz wird durch das optische System des Auges auf die Netzhaut projiziert. In die Netzhaut eingebettet sind winzig kleine Sehzellen, die man Zapfen und Stäbchen nennt.

Die Sehzellen wandeln die elektrische Energie des Farbreizes in organeigene Energieimpulse um und bilden einen elektrischen Code.

Korrekturmechanismen des Sehorgans

Der in den Sehzellen gebildete Code, der schließlich zur Farbempfindung führt, entspricht nicht linear den spektralen Intensitäten des Farbreizes. Denn das Sehorgan verfügt über verschiedene Korrekturmechanismen, um sich optimal an die gegebenen Beleuchtungs- und Betrachtungsbedingungen anzupassen.

Bei sehr großer Helligkeit schließt sich die Iris des Auges und vermindert so die Gesamtintensität des Farbreizes. Das nennt man Adaptation. Die Anpassung an die spektrale Zusammensetzung des Beleuchtungslichtes heißt Umstimmung. Wenn sich das Aussehen einer Farbe durch das Vorhandensein von Umfeldfarben verändert, wird das Simultankontrast

genannt. Erst nachdem diese Anpassungsvorgänge stattgefunden haben, wird der elektrische organeigene Code gebildet, der schließlich zur Farbempfindung führt.

Die Nervenbahnen

Dieser elektrische Code wird über die Nervenbahnen ins Gehirn geleitet. Die Sehzellen in der Netzhaut sind auf komplizierte Weise und durch Zwischenschaltung von Ganglienzellen mit dem Gehirn verbunden.

Auch dieser Code ist genaugenommen noch völlig farblos.

Farbempfindung als Bewusstsein

Sobald dieser Code im Gehirn angekommen ist, macht das Sehorgan daraus eine Farbempfindung. Für jeden Bildpunkt auf der Netzhaut wird ein solcher Code gebildet, der zu einer entsprechenden Farbempfindung führt. Das Sehorgan ist ein unglaublich kompliziertes und bewundernswertes Instrument. Denn von jedem Punkt der Netzhaut fließt ein kontinuierlicher Strom von Daten zum Gehirn, wo das vielfarbige Bild aufgebaut wird.

Bis heute weiß niemand, wie das tatsächlich geschieht, dass aus diesen Daten im Gehirn das Bild des dreidimensionalen vielfarbigen Gesichtsfeldes aufgebaut wird.

Wann und warum Farben ihr Aussehen verändern

Die Adaption

Das Sehorgan hat sich im Laufe seiner biologischen Entwicklung an die Gegebenheiten der Lichtverhältnisse angepasst. Die extremen Unterschiede der möglichen Beleuchtungsintensitäten überbrückt es durch Adaptation. Diese Unterschiede können enorm groß sein. Maximale Lichtintensität ist z. B. mittags bei strahlendem Sonnenschein auf einem 4000 m hohen Berg gegeben. Oder in einem Fernsehstudio. Minimale dann, wenn in einem großen Kellergewölbe nur eine einzige Kerze brennt. Diese gewaltigen Unterschiede können nur dadurch überbrückt werden, dass die Anpassung logarithmisch erfolgt. In beiden Fällen ist nach einer Anpassungszeit eine gute Orientierung möglich. Die doppelte Lichtmenge wird dann als eine Helligkeitsstufe mehr wahrgenommen. Wie sich die Blende bei einem Fotoapparat bei starken Lichtintensitäten verkleinert und bei schwachen öffnet, schließt und öffnet sich auch die Iris des Auges. Reicht in extremen Fällen diese mechanische Regulierung der Iris nicht aus, tritt eine physiologische Veränderung der Sensibilisierung ein.

Adaptation ist die Anpassung des Sehorgans an die Intensität des Beleuchtungslichtes.

Die Umstimmung

Beleuchtungslicht kann die verschiedensten spektralen Zusammensetzungen haben, die man Strahlungsverteilungen nennt. Wenn die Sonne abends als glutrote Scheibe am Horizont steht,

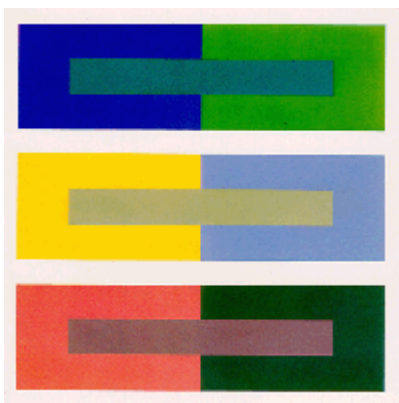
überwiegen die langwelligen Strahlen. Bei bedecktem Himmel mittags im Sommer haben wir es überwiegend mit kurzwelligeren Strahlen zu tun. Wenn Licht verschiedene Strahlungsverteilungen hat, spricht man von verschiedenen Lichtarten. Das heißt, dass die Intensitäten der im Licht vorhandenen Wellenlängen sehr unterschiedlich sein können. Bei Tageslicht finden wir je nach Wetterlage und Sonnenstand die verschiedensten Lichtarten. Ebenfalls bei Kunstlicht. Das Licht einer Glühbirne sendet warmes Licht aus, also Licht mit überwiegend langwelligen Strahlungen. Eine Neonlampe kann dagegen kaltes Licht verbreiten, bei dem die kurzwelligeren Strahlungen überwiegen. Zwischen den extremen Lichtarten gibt es alle denkbaren Zwischenstufen. Die Umstimmung des Sehorgans hat offenbar das Ziel der optimalen Erkennung von Farbunterschieden. Sie erfolgt dadurch, dass sich durch Adaptation die verschiedenen Sehzelltypen in der Netzhaut individuell an die Strahlungsintensitäten jenes Spektralbereiches anpassen, für die sie empfindlich sind.

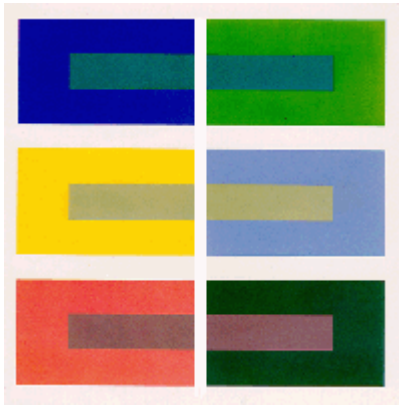
Die Umstimmung ist die Anpassung des Sehorgans an die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, an die "Lichtart".

Der Simultankontrast

Farben verändern ihr Aussehen auch durch den Einfluss jener Farben, die sie umgeben. Diese nennt man Umfeldfarben. Wie eine Farbe wirklich aussieht, kann der Kunstmaler nicht erkennen, wenn er sie betrachtet, wie sie aus der Tube kommt oder wie er sie auf seiner Palette sieht. Das Aussehen einer Farbe ergibt sich erst, wenn sie an die gewollte Stelle ins Bild gesetzt ist, durch den Einfluss der Umfeldfarben. Im Empfindungsmechanismus des Sehorgans gibt es eine Art Kontraststeigerung, die dem Zweck dient, Farbunterschiede empfindungsmäßig zu vergrößern, deutlicher zu machen. Das führt z. B. zu der Konsequenz, dass der Maler zwei verschiedene Farben verwenden muss, wenn sie im Bild in unterschiedlichem Umfeld gleich aussehen sollen. Andererseits kann es auch sein, dass er gleiche Farben verwenden muss, damit sie in verschiedenen Umgebungsfarben verschieden aussehen.

Simultankontrast ist die Fähigkeit des Sehorgans, das Aussehen von Farbnuancen durch den Einfluss der Umfeldfarben zu verändern.





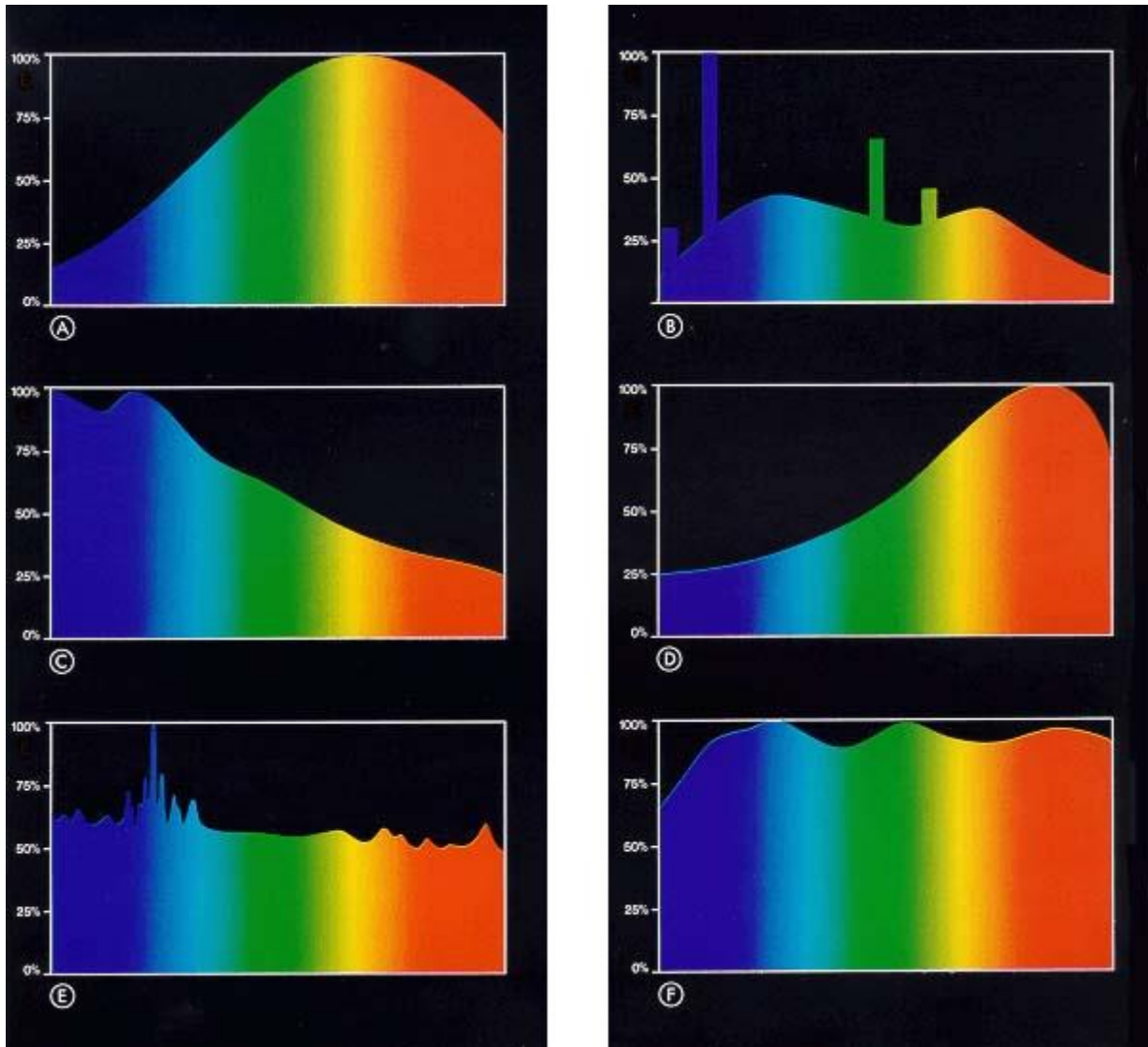
Wenn das Aussehen einer Farbe durch die Umfeldfarben beeinflusst wird, nennt man das "Simultankontrast". Jeder der drei waagerechten Innenstreifen ist in sich gleichfarbig. Durch die Umfeldfarben wird aber ihr Farbeindruck verändert. Das kann man leicht sichtbar machen, indem man über die senkrechten Mittellinien einen schmalen Papierstreifen hält. Es genügt schon, einen Bleistift oder eine Schere vor den Monitor so hinzuhalten, dass die senkrechten Mittellinien verdeckt sind.

Der Einfluss des Beleuchtungslichtes

Bei der Wirkungskette zwischen Licht und Farbempfindung haben wir gesehen, dass Material die individuelle Fähigkeit besitzt, vom auffallenden Beleuchtungslicht einen Teil zu reflektieren. Logischerweise kann diese Fähigkeit aber nur dann voll zur Geltung kommen, wenn jene Strahlen, die das Material reflektieren kann, im Beleuchtungslicht auch vorhanden sind. Betrachtet man eine violettblaue Farbe bei warmem, also vorwiegend langwelligem Licht, dann sieht sie schwarz oder verschwärzlicht aus. Denn dieses Material hat die Fähigkeit, kurzwelliges Licht zu reflektieren. Im vorhandenen Beleuchtungslicht ist aber die kurzwellige Strahlung nur minimal vertreten. Deshalb kann diese violettblaue Farbe bei der zur Verfügung stehenden Beleuchtung nicht violettblau aussehen, denn nicht vorhandene kurzwellige Strahlungen können ja auch nicht reflektiert werden. Aus diesem Grunde wurde Abmusterungslicht, also solches Licht, das zum Prüfen von Farben und zum Farbvergleich zwischen einem Muster und seiner Nachstellung zu verwenden ist, genormt. Wichtig sind die normierten Lichtarten D 50 und D65! Die Lichtart D 50 (5000 Kelvin) entspricht dem direkten Sonnenlicht. Die Lichtart D 65 (6500 Kelvin) entspricht dem mittleren Tageslicht in Mitteleuropa.

Kaum eine Person traut der Farbe, die sie sieht, wenn sie in einer Boutique ein Kleidungsstück kaufen will, das durch Halogenstrahler beleuchtet ist. Man geht mit dem Kleidungsstück ans Fenster oder auf die Straße, um zu sehen, wie die Farbe wirklich ist.

Die spektrale Zusammensetzung der Lichtart hat Einfluss auf das Aussehen der Farben.



Wir sehen die spektralen Verteilungen von sechs verschiedenen Lichtarten. Darunter versteht man die unterschiedlichen Intensitäten der Wellenlängen, die im Spektrum des jeweiligen Lichtes vorhanden sind. In der Abb. A finden wir das Spektrum einer Glühbirne, in B einer Tageslicht-Leuchtstoffröhre. In C ist das Spektrum des natürlichen Tageslichtes zu sehen, wie es im Sommer mittags sein kann, in D, wenn bei schönem Wetter abends die Sonne untergeht. E zeigt das Spektrum einer Xenon-Lampe und F dasjenige einer Abmusterungslampe mit der Lichtart D 50, also mit einer Farbtemperatur von 5000 Kelvin

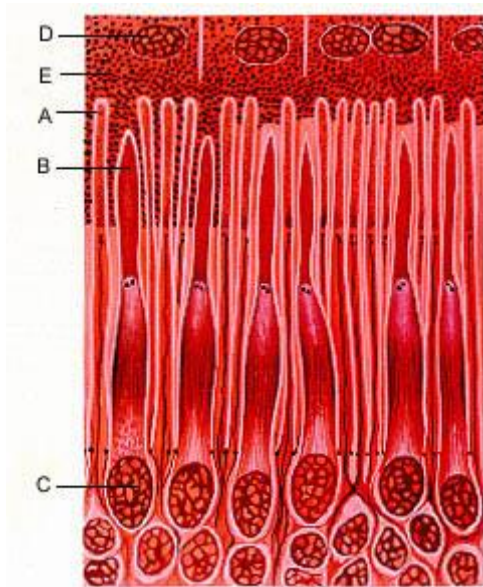
Das Funktionsprinzip des Sehorgans

Die Sehzellen

In der Netzhaut des Auges gibt es winzig kleine Sehzellen (15.000 auf einem qmm), die man Zapfen und Stäbchen nennt. Es existiert eine Hypothese, nach der die Stäbchen nur für Helligkeitssehen zuständig seien. Küppers vermutet dagegen, dass es auch die Aufgabe der Stäbchen sein könnte, die Anpassungs- und Korrekturmechanismen des Sehorgans auszusteuern. Von den Zapfen gibt es drei verschiedene Typen, die für verschiedene

Spektralbereiche empfindlich sind. Ein Zapfentyp reagiert auf den kurzwelligen Bereich des Spektrums, einer auf den mittelwelligen und einer auf den langwelligen. Diese Sehzellen in der Netzhaut des Auges sind Quantensammler. Jeder Zapfentyp fängt Quanten derjenigen Wellenlängen ein, für die er sensibilisiert ist. Quanten sind kleinste Energiestückchen, also elektrische Daten.

Die Lichtstrahlen sind die Überbringer von Daten, welche sich auf die Beschaffenheit und das Aussehen der "Außenwelt" beziehen.



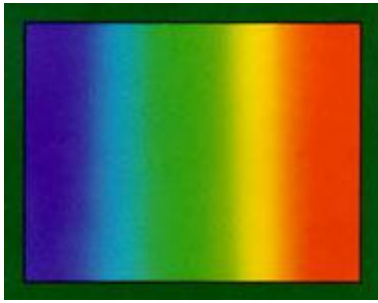
Querschnitt durch eine Netzhaut: Die Stäbchen (A), die Zapfen (B), Zellkerne von Zapfenzelle (C). Das Licht durchquert zunächst das Pigmentepithel (E), in welches Zellkerne (D) eingebettet sind.

Der Code

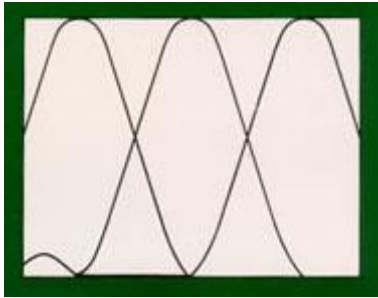
Für jeden Bildpunkt auf der Netzhaut wird durch die dort vorhandenen drei Zapfentypen ein dreiteiliger, elektrischer, organeigener Code gebildet. Dieser Code entsteht erst nach den Anpassungs- und Korrekturprozessen des Sehorgans. Er besteht aus einem Wert des für kurzwellige Strahlung empfindlichen Zapfentyps, einem Wert des für mittelwellige Strahlung empfindlichen und einem des für langwellige Strahlung empfindlichen.

Was die Aufgaben der Zapfen betrifft, gibt es ebenfalls verschiedene Hypothesen. Von der Farbmétrie wird heute die Gegenfarbentheorie bevorzugt, die dem System CIE-Lab zugrunde liegt. Nach den Forschungsergebnissen von Küppers erklärt diese Theorie aber in keiner Weise das Funktionsprinzip des Sehorgans und die daraus resultierenden Gesetzmäßigkeiten der Farbmischungen. Sie kann deswegen für die Farbenlehre, also für das Verstehen der Zusammenhänge zwischen den physikalischen, den physiologischen und den psychologischen Gegebenheiten des Sehens, keinen akzeptablen und keinen didaktischen Beitrag leisten.

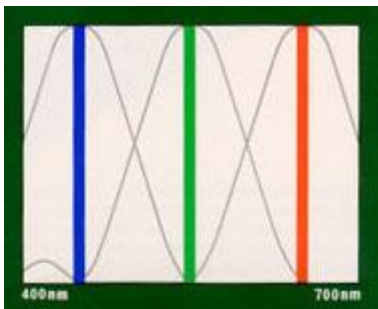
Zwischen Farbreiz und Farbempfindung gibt es wegen der Adaptations- und Korrekturprozesse des Sehorgans keine feste Korrelation. Die feste Korrelation kommt erst zwischen dem Code und der Farbempfindung zustande.



Energiegleiches Spektrum des direkten Sonnenlichtes



Schematische Darstellung der Empfindlichkeitsbereiche der 3 Zapfentypen



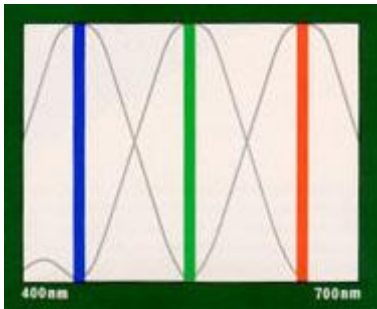
Die den Zapfentypen zugeordnete Farbwahrnehmung

Die drei Urfarben

Der dreiteilige Datensatz des Codes für jeden Bildpunkt der Netzhaut wird über die Nervenbahnen ins Gehirn gesendet. Genaugenommen ist dieser Code natürlich noch keine Farbe, sondern ein elektrisches Signal. Aber von diesem Code hängt es ab, zu welcher Farbempfindung es im Gehirn des Betrachters kommt, welche Farbnuance er wahrnimmt.

Aus didaktischen Gründen wird das in Küppers' Farbenlehre deshalb so erklärt: Jedem Zapfentyp ist eine Empfindungskraft zugeordnet, die Urfarbe (Urf) genannt wird. Dem Zapfentyp, der auf kurzwellige Strahlungen reagiert, ist die Urfarbe Violettblau (Urf V) zugeordnet, denn wenn nur dieser Zapfentyp allein angesprochen ist, führt das zur Farbempfindung Violettblau. Wenn nur mittelwellige Strahlung vorhanden ist, reagiert das Sehorgan mit der Farbempfindung Grün. Deshalb sprechen wir hier von der Urfarbe Grün (Urf G). Und schließlich führt langwellige Strahlung, die allein den betreffenden Zapfentyp erregt, zur Farbempfindung Orangerot und damit zur Urfarbe Orangerot (Urf O).

Als Urfarben bezeichnen wir die drei den Zapfentypen zugeordneten Empfindungskräfte des Sehorgans. Wir nennen sie Urf V, Urf G und Urf O.



Die den drei Zapfentypen zugeordnete Farbwahrnehmung

Die acht Grundfarben

Dass es drei für verschiedene Spektralbereiche empfindlichen Zapfentypen in der Netzhaut des menschlichen Auges gibt (siehe Urfarben), gilt heute weltweit als wissenschaftlich gesichertes Erkenntnis. Küppers zieht aus dieser Tatsache aber andere, neue Schlussfolgerungen: Wenn im Sehorgan diese drei Empfindungskräfte wirken, ergibt sich daraus logischerweise, dass acht extreme Farbempfindungen möglich sind. Diese acht maximalen Farbempfindungen bezeichnet er als Grundfarben (Grf). Sie ergeben sich auf folgende Weise:

Fundamental Colors	Basic Colors	
Keine Urf	= Grf S	■
Urf V	= Grf V	■
Urf G	= Grf G	■
Urf O	= Grf O	■
Urf V + Urf G	= Grf C	■
Urf V + Urf O	= Grf M	■
Urf G + Urf O	= Grf Y	■
Urf V + Urf G + Urf O	= Grf W	

In Küppers' Farbenlehre haben die acht Grundfarben folgende Farbnamen: Schwarz (S); Violettblau (V); Grün (G); Orangerot (O); Cyanblau (C); Magentarot (M); Gelb (Y von yellow, weil das "G" für Grün ja bereits besetzt ist) und Weiß (W).

Die acht extremen Empfindungsmöglichkeiten des Sehorgans werden als Grundfarben bezeichnet, und zwar als Grf S; Grf V; Grf G; Grf O; Grf C; Grf M; Grf Y; Grf W.

Das Problem der Farbnamen

Ein normalsichtiger Beobachter kann zwischen 100.000 und 1 Million Farbnuancen unterscheiden. Je nach Bildungsgrad verfügt ein Zeitgenosse in etwa über einem Sprachschatz von 2000 bis 6000 Wörtern. Im Prinzip ist jede unterscheidbare Farbnuance eine andere Farbe. Deshalb ist es absolut ausgeschlossen, Farbnuancen präzise durch Farbnamen zu

kennzeichnen. So nimmt es auch nicht Wunder, dass die wenigen Farbnamen der Umgangssprache keine präzisen Farben meinen. Vielmehr meinen sie große Farbbereiche. Rotkohl ist rot. Aber auch rote Haare sind rot. Und jemand wird rot, wenn ihm das Blut ins Gesicht steigt. Eine Zitrone wird ebenso als gelb bezeichnet wie Eidotter. Der Himmel ist blau, aber auch der Anzug eines Flugkapitäns.

Aber es gibt noch ein zweites Problem: In verschiedenen Branchen und in der Literatur werden gleiche Farbnamen für ganz verschiedene Grundfarben verwendet. Es gibt Branchen, da meint man Magentarot, wenn man Rot sagt und Cyanblau, wenn man Blau sagt: z.B. bei Künstlern und Kunstpädagogen, Druckern und Anstreichern und vielen Autoren. Physiker, Farbmeteriker und Computerleute meinen dagegen Orangerot, wenn sie Rot sagen und Violettblau, wenn sie Blau sagen. Hier stecken wir demnach in einem sprachlichen Dilemma, denn es gibt zwei rote und zwei blaue Grundfarben. Und offenbar ist es genauso unmöglich, den Sprachgebrauch der Umgangssprache zu ändern, wie es unmöglich scheint, ihn in den verschiedenen Branchen zu ändern.

Wenn wir die Farbenlehre als eine Wissenschaft begreifen, müssen wir, wie in allen anderen Wissenschaften auch, mit Fachtermini arbeiten, um uns eindeutig und unmissverständlich auszudrücken. In der Computerbranche wird es bei den aus dem Englischen kommenden und inzwischen weltweit eingeführten und akzeptierten Abkürzungen RGB für Rot (Orangerot), Grün und Blau (Violettblau) bleiben. Um in der Wissenschaft der Farbenlehre die Zusammenhänge erklären und verstehen zu können, müssen wir also umlernen bzw. als Eselsbrücke die präzisen Namen der Urfarben und der Grundfarben in Klammern mitführen.

Andere Begriffe

Begriff

Erklärung

Dieser Begriff bezieht sich auf die Ausgangsfarben eines Prozesses.

In der Subtraktiven Mischung (SubMi) sind das die bunten Grundfarben Gelb (Y), Magentarot (M) und Cyanblau (C) im Zusammenwirken mit der Hintergrundfarbe Weiß (W).

Primärfarben

In der Additiven Mischung sind es die bunten Grundfarben Orangerot (O), Grün (G) und Violettblau (V) im Zusammenwirken mit der Hintergrundfarbe Schwarz (S).

In der Integrierten Mischung (IntMi) sind es alle 8 Grundfarben.

Sekundärfarben Dieser Begriff bezieht sich auf die Mischung von 2 Primärfarben.

Tertiärfarben Dieser Begriff bezieht sich auf die Mischung von 3 Primärfarben.

Hintergrundfarben Dieser Begriff bezieht sich nur auf die Hintergrundfarben Schwarz und Weiß in der SubMi und in der AddMi.

In der Farbenlehre müssen Farbnamen und Farbbegriffe gelernt werden wie Vokabeln einer fremden Sprache.