

Grundlegende Informationen wie Farben ihre Wunder vollbringen

# Wunder der Farben

Ein Beitrag von Ztm. Hans-Joachim Burkhardt, Plochingen/Deutschland

Wir sollten eigentlich Experten in Sachen Farben sein, doch in Wirklichkeit tun wir uns mit ihnen sehr schwer. Sie geben uns immer wieder Rätsel auf, sind schwer in Worte zu fassen, schwer zu begreifen, schwer zu kommunizieren und schwer zu reproduzieren. Nur durch viel, nicht selten schmerzliche Erfahrung, bekommen wir die Farbproblematik irgendwann einigermaßen in den Griff. Hans-Joachim Burkhardt hat in Sachen Farbenlehre recherchiert, grundlegende Informationen gesammelt und für unsere Zwecke angepasst – damit wir Farbe künftig etwas besser begreifen und reproduzieren können.

Indizes: Ästhetik, Ausbildung, Farbe, Farblehre, Keramik, Kunststoff

## Einleitung

„Es reut mich nicht, den Studien zur Farbenlehre so viel Zeit aufgeopfert zu haben. Ich bin dadurch zu einer Kultur gelangt, die ich mir von einer anderen Seite her schwerlich verschafft hätte.“ Dies schrieb Johann Wolfgang von Goethe am 11. Mai 1810. Den Anstoß zu den Studien zur Farbenlehre erhielt Goethe in Italien, vor farbenprächtigen Gemälden der Renaissance und in der freien Natur unter südlichem blauem Himmel. Er spürte, „dass man den Farben, als physischen Erscheinungen, erst von der Seite der Natur beikommen müsse, wenn man in Absicht auf Kunst etwas über sie gewinnen wolle“. Über zwei Jahrzehnte arbeitete Goethe daran. Sie ist seine geschlossenste und umfangreichste, aber auch problematischste naturwissenschaftliche Arbeit.

Hintergrundinformationen darüber, wie Farben funktionieren, findet man kaum und nur äußerst selten wird erläutert, wie eine bestimmte Farbe sehr wahrscheinlich wirkt, wenn sie für einen bestimmten Zweck benutzt wird. In diesem Artikel finden Sie deshalb grundlegende Informationen darüber, wie Farben ihre Wunder vollbringen.

## Der Farbkreis

Eine der am weitesten verbreiteten Lernhilfen beim Erläutern von Farbfunktionen ist der Farbkreis. Theoretisch kann jede existierende Farbe irgendwo auf dem Farbkreis gefunden werden. Der Farbkreis hilft uns beim Verstehen der grundlegenden Elemente der Farbgebung, wie zum Beispiel dem Farbton, der Farbsättigung und der Helligkeit.

Eine Regel, wie viele Farben auf einem Farbkreis dargestellt werden, gibt es nicht. Für die Logik die dahinter steckt ist weniger eher mehr, deshalb sehen Sie auf den meisten Farbkreisen lediglich ein paar Dutzend Beispielfarben anstatt jede der Millionen von Farben, die das menschliche Auge erkennen kann (Abb. 1). Eine weitere Darstellungsmöglichkeit ist der Farbverlauf (Abb. 2)

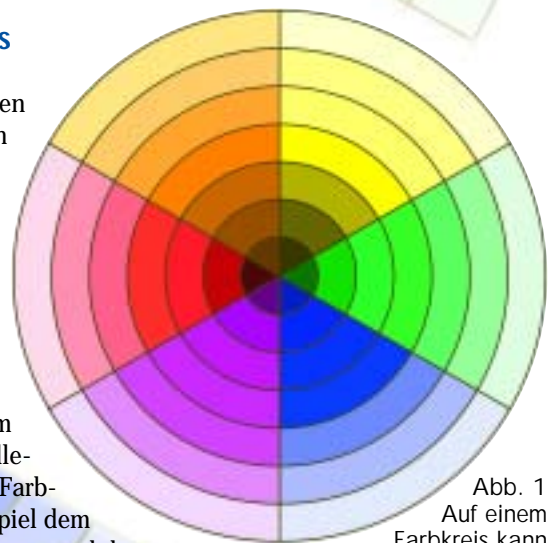


Abb. 1  
Auf einem Farbkreis kann theoretisch jede existierende Farbe gefunden werden.

Abb. 2 Eine andere Darstellungsmöglichkeit der Millionen Farben ist der Farbverlauf.

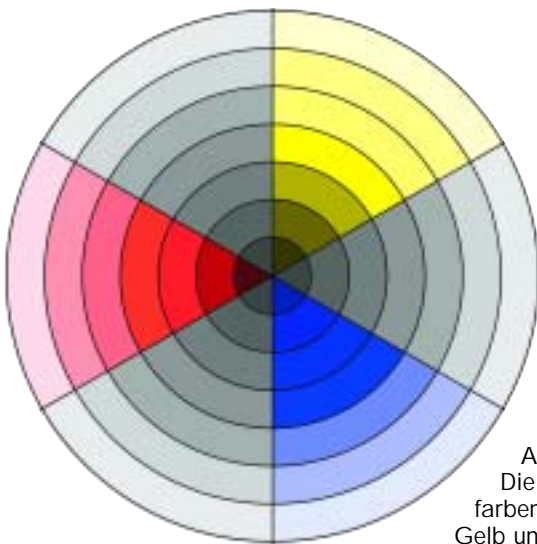


Abb. 3  
Die Primärfarben Rot, Gelb und Blau

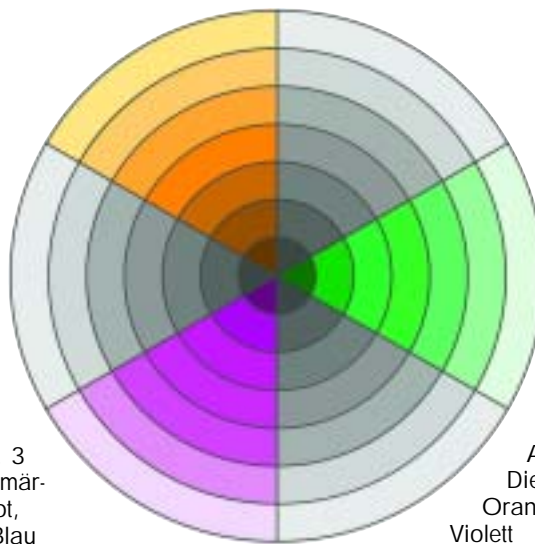


Abb. 4  
Die Sekundärfarben Orange, Grün und Violett

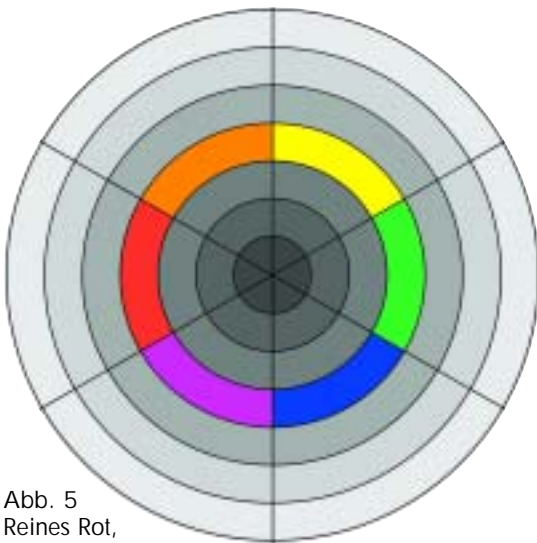


Abb. 5  
Reines Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett. Der Farbkreis stellt die Hell-Dunkel-Schattierungen dieser Farben dar, indem den Farben nach außen hin Licht zugefügt und nach innen hin entfernt wird.

Unser Farbkreis ist in sechs dreieckige Segmente unterteilt. Die drei in der Natur vorkommenden Primärfarben Rot, Gelb und Blau nehmen drei der Segmente ein (Abb. 3).

Jede der drei Primärfarben Rot, Gelb und Blau wird dann mit der gleichen Menge von benachbarten Primärfarben vermischt, wodurch die Sekundärfarben entstehen (Abb. 4):

- Rot + Gelb = Orange
- Gelb + Blau = Grün
- Blau + Rot = Violett

Um nun noch die hellen und dunklen Schattierungen von Farben darzustellen, fügen wir der Mischung Licht hinzu. Künstler sagen manchmal, „Weiß ist das Vorhandensein von Licht und Schwarz die Abwesenheit von Licht“.

Abbildung 5 zeigt reines Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett, so wie diese Farben im Mittelteil des Farbkreises erscheinen. Der Farbkreis stellt die Hell-Dunkel-Schattierungen dieser Farben dar, indem den Farben nach außen hin Licht zugefügt und nach innen hin entfernt wird.

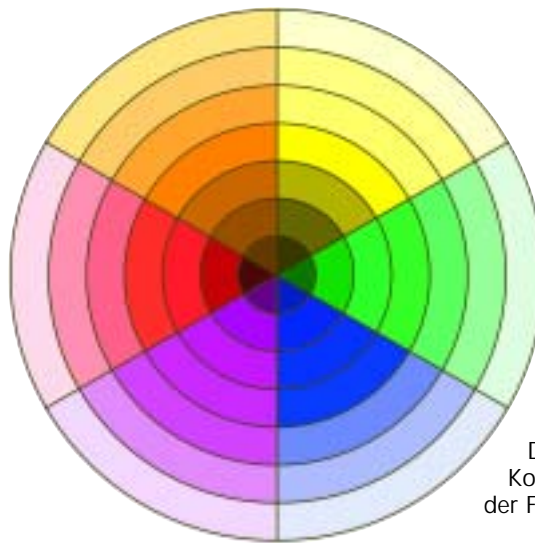


Abb. 6  
Der Farbkreis als Konzept zur Darstellung der Farbeigenschaften

Der Punkt genau in der Mitte des Farbkreises, der Punkt, an dem kein Licht existiert, ist reine Dunkelheit oder reines Schwarz. Der Bereich außerhalb des Farbenrades, in dem das Licht alle Farbe entfernt hat, ist reine Helligkeit oder reines Weiß.

Das Endergebnis dieser Kombination aus drei Primärfarben, drei Sekundärfarben und der Anwesenheit oder Abwesenheit von Licht nennen wir den Farbkreis.

Als visuell orientierte Wesen verstehen wir Menschen visuelle Repräsentationen leichter als komplexe mathematische Gleichungen. Aus diesem Grund wird das Farbkreiskonzept benutzt, um zu zeigen, wie aus nur drei Farben und reinem weißen Licht die Millionen von Farben erzeugt werden können, die wir in der Natur sehen (Abb. 6).

Wenn Sie das Konzept des Farbkreises verstanden haben, können Sie besser sehen, wie viele Aspekte bei der Farbgebung eine Rolle spielen. Lassen Sie uns jetzt einen Blick auf die grundlegenden Steuerelemente zur Farbmanipulation werfen.



Abb. 7a Farbtonwechsel in Richtung Violett bei Drehung des Farbrades nach rechts



Abb. 7b Originalfarbe



Abb. 7c Farbtonwechsel in Richtung Blau-Grün bei Drehung des Farbrades nach links



Abb. 8a Reduzierte Farbsättigung erhöht den Grauwert



Abb. 8b Originalfarbe



Abb. 8c Erhöhte Farbsättigung

## Der Farbton (Hue)

Der Farbton (Hue) ist eines der grundlegendsten und wichtigsten Werkzeuge der Farbgebung. Er basiert komplett auf dem Farbkreis. Bei jedem Schritt, mit dem der Farbton verändert wird, bewegen wir uns auf dem Farbkreis entweder nach links oder nach rechts. Wenn Sie also in dem abgebildeten Beispiel den Farbkreis imaginär nach rechts drehen, wird ein Farbtonwechsel in Richtung Violett erreicht, eine Drehung nach links erzeugt Blau-Grün. Wie Sie sehen, kann die Farbeinstellung als ein wirkungsvolles Werkzeug zum Ändern der Farbe benutzt werden (Abb. 7a bis 7c).

## Die Farbsättigung (Chroma)

Die Farbsättigung (Chroma) fügt einer Darstellung Farbe hinzu. Den Effekt der Erhöhung des Sätti-

gungswertes erkennen Sie, wenn Sie einen bereits blau bemalten Bereich einer Leinwand mit noch mehr Farbe bemalen. Die Farbe auf der Leinwand ist immer noch blau, aber das Blau ist voller und die Farbe kann eventuell auf die umgebenden Bereiche der Leinwand übergehen. Das Verringern des Sättigungswertes (zum Beispiel hellere Zahnfarbe) entfernt andererseits Farbe aus einem Bild. Wenn Sie die Sättigung auf den niedrigsten Wert reduzieren, entfernen Sie die gesamte Bildfarbe, wobei nur die Lichtattribute des Bildes verbleiben. Wenn alle Sättigung aus dem Bild entfernt ist, erscheint es als reines Graustufenbild. Im Bild mit erhöhter Sättigung erscheint der ursprünglich seichte Farbverlauf jetzt in einer reicheren lebhafteren Variante. Die Farbe im Bild ist auf Bereiche übergegangen, die ursprünglich grau waren (Abb. 8a bis 8c).

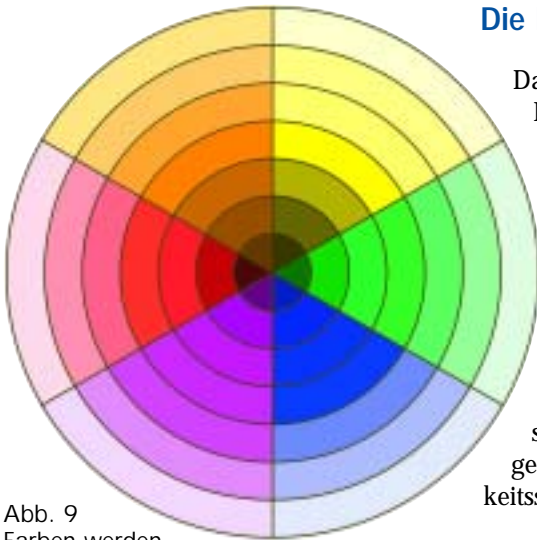


Abb. 9  
Farben werden mit abnehmbarer Helligkeit immer dunkler und mit zunehmender Helligkeit immer heller.

## Die Helligkeit (Value)

Das Hinzufügen und Entfernen von Helligkeit (Value) zu oder aus einem Bild ist gleichzusetzen mit dem Hinzufügen und Entfernen von Licht zu oder aus einem Bild. Die Änderung der auf dem Farbkreis zu sehenden Schattierungen zeigt, wie die Helligkeitssteuerung funktioniert.

Nehmen wir zum Beispiel die Farbe Rot: Wenn Licht aus der Farbe Rot entfernt wird, verwandelt sie sich zuerst in dunkles Rot und dann, wenn alles Licht entfernt ist, in Schwarz. Den Effekt können Sie auf dem Farbkreis sehen, indem Sie verfolgen, wie die Farben zur schwarzen Mitte hin immer dunkler werden. Wenn Sie andererseits dem Rot Helligkeit hinzufügen, verwandelt es sich zuerst in Rosa und dann, wenn genug Helligkeit erzeugt wird, in Weiß. Den Effekt können Sie auf dem Farbkreis sehen, indem Sie verfolgen, wie die Farben zum Außenrand des Rades hin immer heller werden (Abb. 9). Die Abbildungen 10a bis 10c zeigen die Helligkeitssteuerung am Beispielzahn.

## Primärfarben verstehen

Die Primärfarben der Natur sind, wie oben erwähnt, Rot, Gelb und Blau. Und wie wir anhand des Farbkreises sehen können, wird Farbe immer durch die Anwesenheit oder Abwesenheit von Licht beeinflusst.

Die Art des Lichtes, die wir allgemein als natürlich bezeichnen ist „reflektiertes Licht“. Dies kann man folgendermaßen erklären: Wenn Sie sich in einem vollkommen dunklen Raum befinden, in dem es absolut kein Sonnenlicht oder äußeres Licht und auch keine Lichtquelle innerhalb des Raumes gibt, erscheint alles vollkommen schwarz. Der Teppich ist vielleicht braun und die Wände weiß aber alles, was Sie sehen können, ist schwarz.

Ohne Licht können die Objekte in unserer Umgebung keine Farbmerkmale annehmen. Sobald wir aber eine Lichtquelle hinzufügen, erscheinen die Farben. Dies liegt daran, dass das, was wir als Farben wahrnehmen, in Wirklichkeit reflektiertes Licht ist. Licht kommt von einer Lichtquelle, wie zum Beispiel der Sonne oder einer Glühbirne, wird von den Gegenständen reflektiert, auf die es trifft, und lässt so Farben sichtbar werden.



Abb. 10a Farbe aufgehellt (Helligkeit erhöht)



Abb. 10b Originalfarbe



Abb. 10c Farbe abgedunkelt (Helligkeit verringert)

Abb. 11  
Komplementärfarben  
liegen im Farbkreis  
einander gegenüber  
und kompensieren  
sich gegenseitig.

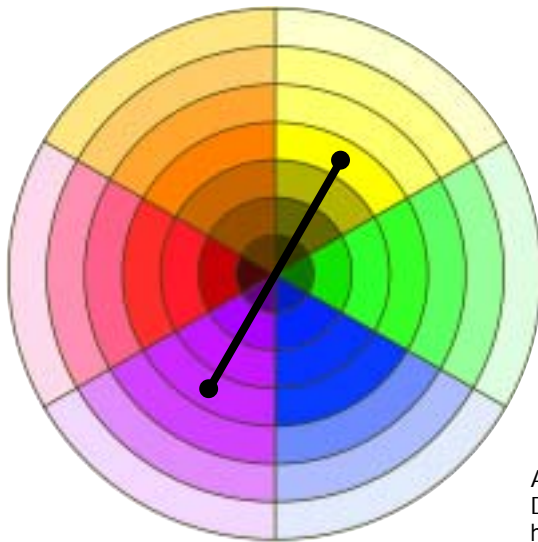


Abb. 12  
Die Farben inner-  
halb des Dreiecks  
gelten als harmo-  
nische Farben.

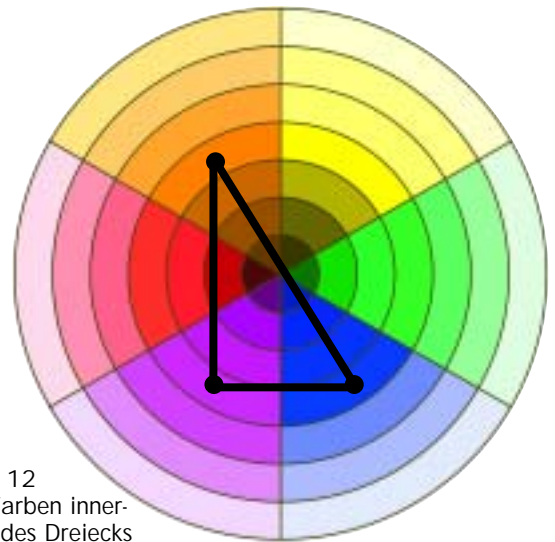


Abb. 13 Beispiel für Transluzenz anhand der  
Schneidekante einer Frontzahnrestauration



Abb. 14  
Beispiel für  
Opazität an-  
hand des  
Opakerauftrages  
zum Haftverbund  
zwischen Metall  
und Keramik und  
zum Abdecken  
des Gerüstes

## Das Benutzen des Farbkreises

Der Farbkreis bietet Ihnen verschiedene Methoden, die Farben auszuwählen, die gut zueinander passen. Natürlich handelt es sich bei diesen Methoden um sehr allgemeine künstlerische Konzepte, die nicht auf jedes Bild angewandt werden können. Es werden aber viele professionell entworfene Farbpaletten mit Hilfe von Farbkreisschemen erstellt. Es ist auf jeden Fall interessant und nützlich, diese Methoden auszuprobieren.

## Komplementärfarben

Komplementärfarben sind Farben, die sich auf dem Farbkreis direkt gegenüberstehen, wie in Abbildung 11 zu sehen ist. Da es sich bei diesen Farben um komplette Gegensätze handelt und sie sich gegenseitig neutralisieren, sollten sie mit Vorsicht benutzt werden.

Wenn Sie aber eine der Komplementärfarben verwenden, erhöhen Sie damit ebenfalls die Farbsättigung, was gleichzeitig zu einer Abdunklung und damit zu einer so genannten „Verschwärzlichung“ (Grau-Werdung) führt.

## Harmonische Farben

Harmonische Farben werden erreicht, indem ein rechtwinkliges Dreieck über den Farbkreis gelegt wird (Abb. 12). Die drei Eckpunkte, an denen sich das Dreieck überschneidet, sind die drei harmonischen Farben. Beim Benutzen von harmonischen Farben sind die Punkte, die am nächsten zusammen liegen (in diesem Fall Blau und Violett), die dominanten Farben im Bild. Die dritte Farbe (in diesem Fall Orange) wird benutzt, um Charakterisierungen zu erzeugen.

## Lichtoptische Phänomene

**Transparenz und Transluzenz:** Die Durchlässigkeit für das sichtbare Licht nennt man Transparenz oder Transluzenz. Transparent wird als „durchsichtig“, transluzent als „durchscheinend“ definiert. Ein transluzenter Werkstoff ist lichtdurchlässig, aber aufgrund starker Brechung undurchsichtig (Abb. 13).

**Opazität:** Opazität ist der Begriff für Lichtundurchlässigkeit eines Stoffes oder Körpers. Er ist demnach opak (Abb. 14).



Abb. 15 Beispiel für Opaleszenz anhand einer Schneidekante. Im Auflicht erscheint die Schneidekante bläulich, während wie hier im Durchlicht ein gelblich-rötlicher Farbeindruck entsteht.



Abb. 16 Beispiel für Fluoreszenz anhand der Lichthärtung eines Komposits. Die Fluoreszenz-Anteile beginnen zu leuchten, wenn der Zahn mit Licht angestrahlt wird.

**Opaleszenz:** Opaleszenz ist eine in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Lichts wechselnde Farbwirkung zwischen bläulich und gelblich-rötlicher Farbwirkung. Im Auflicht reflektiert blaues Licht, während im Durchlicht orangene Lichtstreuung sichtbar wird (Abb. 15). Es handelt um eine vom Halbedelstein Opal her bekannte Erscheinung.

**Fluoreszenz:** Als Fluoreszenz bezeichnet man die Eigenschaft mancher Stoffe, während der Beleuchtung selbst zu leuchten (Abb. 16).

### Farbwiedergabe

Es gibt zwei Methoden, Farben wiederzugeben:

- Die *additive Farbmischung* geht von bestimmten Farben aus und addiert diese, um andere Farben zu erzeugen.
- Die *subtraktive Farbmischung* geht von weißem Licht aus (der Summe aller Farben), nimmt bestimmte Bestandteile heraus und lässt den Bestandteil übrig, welcher der gewünschten Farbe entspricht.

**Additive Farbmischung:** Wenn wir mit farbigem Licht arbeiten, haben wir es mit dem *Gesetz der additiven Farbmischung* zu tun. Entsprechend den drei Zapfentypen der menschlichen Netzhaut beruht sie auf den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau. Jede dieser Farben stellt ein Drittel des Spektrums dar. Die Farbe Schwarz ist als Dunkelheit im Raum vorhanden. Durch Überschneidung der farbigen Lichtkegel entstehen hellere Farbtöne. Aus einer Mischung von

- Rot mit Grün entsteht Gelb
- Grün mit Blau entsteht Cyan,
- Blau mit Rot entsteht Magenta.

In verschiedenen Verhältnissen gemischt ergeben sich alle Farben. Die Summe der drei Grundfarben ist Weiß. Die additive Methode wird zum Beispiel für Monitore und Fernsehgeräte angewendet (RGB). Dies wird manchmal auch als physikalisches Farbmodell bezeichnet (Abb. 17).

**Subtraktive Farbmischung:** Beim Arbeiten mit Farbstoffen (so genannten Körperfarben) haben wir es mit dem *Gesetz der subtraktiven Farbmischung* zu tun. Farbstoffe absorbieren bestimmte Wellenlängen des weißen Lichts, während sie andere Wellenlängen reflektieren:

- Eine Farbstoff, die kurzwelliges Licht absorbiert (Blau), reflektiert lang- und mittelwelliges Licht und wird von uns deshalb als Gelb empfunden.

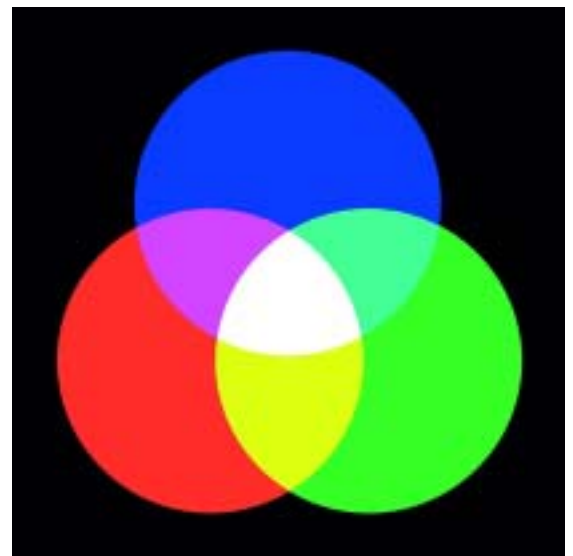
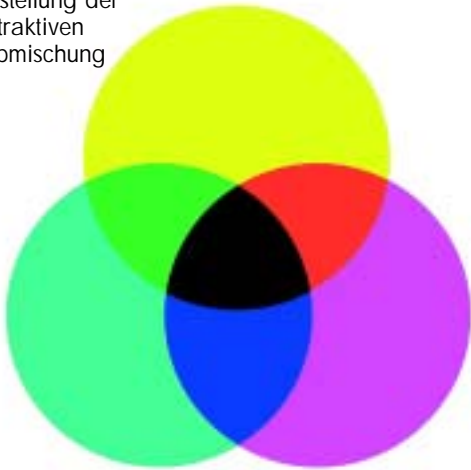


Abb. 17 Darstellung der additiven Farbmischung

Abb. 18  
Darstellung der  
subtraktiven  
Farbmischung



- Absorbiert eine Farbsubstanz mittelwelliges Licht (Grün), dann reflektiert sie kurz- und langwelliges Licht und wir sehen Magenta.
- Wird von einer Farbsubstanz langwelliges Licht (Rot) absorbiert und kurz- und mittelwelliges reflektiert, dann sehen wir Cyan.

Von diesen drei Grundfarben Gelb, Cyan und Magenta wird bei der subtraktiven Farbmischung ausgegangen. Gemischte Farbsubstanzen absorbieren mehrere Wellenlängen des Lichts und reflektieren Mischöne, die dunkler als die drei Grundfarben sind. Die Leuchtkraft der Farben nimmt beim Mischen ab, weshalb diese Art der Farbmischung subtraktive Farbmischung genannt wird.

Aus einer Mischung von

- Cyan und Magenta entsteht Blau.
- Magenta und Gelb entsteht Rot.
- Gelb und Cyan entsteht Grün.

Mischt man Cyan, Magenta und Gelb in voller Intensität und in gleichen Anteilen zusammen, dann erhält man Schwarz, das heißt es wird kein Licht mehr reflektiert. Die Farbe Weiß ist als Hintergrund, zum Beispiel als weißes Papier vorhanden.

Die subtraktive Methode wird in der Drucktechnik eingesetzt, wobei der Einfachheit halber zusätzlich Schwarz (Key) verwendet wird (CMYK = Cyan-Magenta-Yellow-Key). Auch bildet diese Methode die Grundlage aller modernen Farbfilme (Abb. 18).

Ob eine Farbe durch Addition farbigen Lichtes oder durch Subtraktion bestimmter Anteile aus dem Spektrum erzielt wird, das Ergebnis ist eine Mischung von Strahlen verschiedener Wellenlänge und ergibt für den Menschen den selben Farbeindruck.

## Zahnfarben

Betrachten wir nun einmal, wie wir das erlangte Wissen für den praktischen Alltag nutzen können: Es ist anzunehmen, dass die Farbe unserer Zähne durch eine Mischung aus additiver und subtraktiver Farbmischung entsteht, denn einerseits haben sowohl das Umgebungslicht, als auch die reflektierenden Körperfarben Einfluss auf die Zahnfarbe.

Die Problematik der Zahnfarbbestimmung umfasst im Wesentlichen folgende Punkte:

- Unsere Zähne bestehen aus mehreren Schichten.
- Jede Schicht besteht aus einem anderen „Werkstoff“.
- Jede Schicht hat eine andere Transluzenz und Transparenz.
- Jede Schicht hat eine andere Farbe und Farbsättigung.
- Der Farbeindruck ändert sich mit dem Blickwinkel.
- Der Farbeindruck ändert sich mit der Oberflächentextur.
- *Der Zahn lebt!*

Es ist folglich nahezu unmöglich, *eine Farbe* eines Zahnes zu bestimmen. Aber es besteht trotzdem die Möglichkeit, den Zahn halbwegs realistisch zu kopieren, wenn ein paar kleine Tricks und das Wissen um die Farbwirkung berücksichtigt werden. Dazu ein praktisches Beispiel: Angenommen, der Gesamteindruck eines Zahnes ist A3:

- Es kann sein, dass die Farbschichtung tatsächlich nach A3 vorgenommen werden kann, dann ist das Ergebnis vermutlich richtig.
- Ist aber der Stumpf in A2, dann muss die Farbsättigung aus dem Schmelz kommen, dieser muss also intensiver sein als bei A3 üblich.
- Ist der Stumpf in A3.5, dann muss der Schmelz deutlich blasser sein, um den Gesamteindruck von A3 zu erreichen.

Wir sollten also unbedingt wissen, was sich hinter dem Schmelz befindet. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder der Behandler gibt uns die Stumpffarbe nach der Präparation, oder wir „errechnen“ uns die Farbe anhand der Schmelzfarbe, der vermuteten Schmelzdicke und unserem Wissen um den Farbkreis – noch besser, wir tun beides.

Die Farben festzulegen ist eine Sache, sie umzusetzen, eine ganz andere: Wir haben Dosen und Fläschchen, in denen sich „Farben“ befinden, die einem bestimmten Zweck zugeordnet werden. Ein amerikanischer Kollege sagte einmal: „You have to know, what is in the bottle“. Ein kluger Satz, denn

wenn wir nicht wissen, was sich in dem jeweiligen Gefäß befindet und wie es anzuwenden ist, haben wir sehr wenig Aussicht auf Erfolg das darzustellen, was wir beabsichtigen.

Unsere modernen Verblendmaterialien mit ihrem natürlichen Erscheinungsbild und der natürlichen Transluzenz verzeihen viel, lassen sich einfach verarbeiten und passen sich harmonisch in das Gesamtbild ein. Aber grobe Schichtfehler werden oft gnadenlos sichtbar und somit ist es möglich, dass sich die Farben unserer Schichtung gegenseitig zu „Mausgrau“ subtrahieren und unser künstlicher Zahn tot wirkt.

## Schlusswort

Es gäbe noch vieles über Farben und ihre wunderbare Wirkung zu sagen, aber vielleicht hilft Ihnen dieser Bericht, Farben besser zu verstehen und die Theorie in Ihre praktischen Arbeiten einfließen zu lassen. Doch bitte vergessen Sie nicht, dass ein Zahn außer der Farbe noch die passende Oberflächenstruktur und eine funktionelle Formgebung braucht, um natürlich wirken zu können – komischerweise ist die Farbe plötzlich nicht mehr ganz so wichtig, wenn diese beiden anderen Faktoren stimmen. □

### Zur Person

Hans-Joachim Burkhardt absolvierte seine zahntechnische Ausbildung von 1971 bis 1975 in Stuttgart. 1984 legte er die Meisterprüfung im Zahntechnikerhandwerk mit Auszeichnung ab und eröffnete noch im selben Jahr in Plochingen ein eigenes zahntechnisches Labor. Seit 1987 ist er zu zahlreichen Themen, wie zum Beispiel Metallfügetechniken, In- und Onlay-Techniken, keramische Restaurationstechniken etc., als freier Referent im In- und Ausland tätig und arbeitet eng mit verschiedenen namhaften Dentalfirmen zusammen. Neben seinem Interesse für die Farbenlehre setzt sich Ztm. Hans-Joachim Burkhardt seit über 20 Jahren sehr intensiv mit der Werkstoffkunde auseinander. Im Laufe der Jahre ist ein Fundus zahlreicher Notizen und Aufsätze entstanden, die er in über 150 Vorträgen, Kursen und Beiträgen in Fachzeitschriften veröffentlichte.

Hans-Joachim Burkhardt ist „dental dialogue“-Fachbeirat und mit seinem achtköpfigen Laborteam Mitglied in der „dental excellence – International Laboratory Group“.

### Kontaktadresse

Burkhardt Zahntechnik • Hans-Joachim Burkhardt  
Hermannstr. 12 • D-73207 Plochingen  
Fon +49 (0) 71 53. 2 40 45 • Fax +49 (0) 71 53. 7 36 06  
hj.burkhardt@t-online.de • www.burkhardt-zahntechnik.de

