EXAKTE FARBKOMMUNIKATION

Farben kennen.
Erkennen durch Farbe.
Farben erregen stets
unsere Aufmerksamkeit.

Unzählige Farbvarianten umgeben uns im täglichen Leben. Der Begriff „Farbe“ ist so selbstverständlich, dass man leicht übersieht, welche Rolle die Farbe in unserem Alltag spielt: sie beeinflusst nicht nur unseren Geschmackssinn und andere Empfindungen, sondern schon allein die Gesichtsfarbe eines Menschen kann etwas über den Gesundheitszustand aussagen. Obwohl die Farbe unser Leben grundlegend beeinflusst, ist unser Wissen über „Farbe“ und den kontrollierten Umgang mit ihr häufig nicht ausreichend – was beispielsweise zu Problemen bei der Festlegung oder Übermittlung von Produktfarben führen kann. Oft findet die Beurteilung unter Einfluss von persönlicher Empfindung und Erfahrung statt, wodurch eine einheitliche Bewertung unmöglich ist. Gibt es daher Mittel und Wege, eine Farbe* so exakt zu beschreiben, dass eine andere Person diese Farbe genauso versteht, und die erfolgte Reproduktion mit unserem Eindruck übereinstimmt? Wie kann die Farbkommunikation in allen Bereichen von Industrie, Forschung und Lehre möglichst exakt und reibungslos erfolgen? Nur fundiertes Wissen über „Farbe“ kann uns hier weiterhelfen.

* In dieser Broschüre ist mit „Farbe“ immer die Körperfarbe eines Objektes gemeint.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

KONICA MINOLTA

EXAKTE FARBKOMMUNIKATION

Teil I

Sehen wir uns die Sache mit der Farbe einmal näher an.

Wo man auch hinschaut, stößt man auf eine ungeheure Vielfalt an Farbvarianten. Jedoch gibt es für die Bestimmung von Farben keine physikalische Meßgröße wie für Länge oder Gewicht. Deshalb ist es unwahrscheinlich, dass man von verschiedenen Personen auf die Frage nach einer bestimmten Farbe die gleiche Beschreibung erhält. Beispielsweise wird sich jeder Mensch unter dem Begriff „Himmelblau“ je nach persönlicher Empfindung und Erfahrung einen anderen Blauton vorstellen. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, wollen wir uns nun mit den Möglichkeiten der Farbkennzeichnung befassen.

Inhalt

- Welche Farbe hat dieser Apfel?
- Zehn verschiedene Leute sehen oft zehn verschiedene Farben
- Zwei rote Bälle. Wie würden Sie den Farbunterschied beschreiben?
- Farbton. Helligkeit. Sättigung. Jede Farbe setzt sich aus diesen drei Attributen zusammen
- Ein dreidimensionaler Farbkörper aus Farbton, Helligkeit und Sättigung.
- Mit Skalen für Farbton, Helligkeit und Sättigung läßt sich die Welt der Farben in Zahlenwerten ausdrücken
- Vorstellung der wichtigsten Farbsysteme.···I
- Vorstellung der wichtigsten Farbsysteme.···II
- Vorstellung der wichtigsten Farbsysteme.···III
- Verschiedenste Farben mit dem Farbmessgerät bestimmen.
- Mit Farbmessgeräten lassen sich winzige Farbdifferenzen feststellen.
- Auch wenn Farben für das menschliche Auge gleich aussehen, bringt ein Farbmessgerät den kleinsten Unterschied an den Tag
- Ausstattungsmerkmale eines Farbmessgeräts

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Welche Farbe hat dieser Apfel?

Zehn verschiedene Leute sehen oft zehn verschiedene Farben. Das Benennen einer Farbe ist eine schwierige Sache.

Wenn man den gleichen Apfel vier verschiedenen Leuten zeigt, muss man mit vier unterschiedlichen Antworten rechnen.

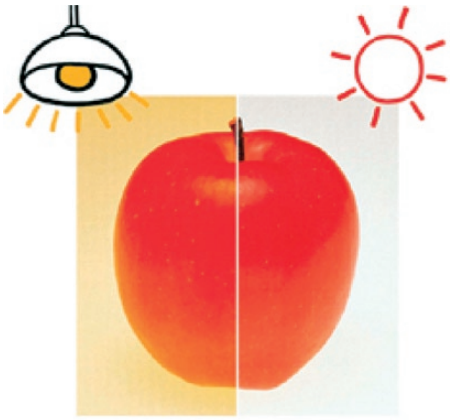
Farbe ist eine Sache der Empfindung, der subjektiven Wahrnehmung. Selbst beim Betrachten ein und desselben Gegenstandes werden verschiedene Personen unterschiedliche Bezüge vornehmen und die genau gleiche Farbe mit völlig anderen Worten beschreiben. Diese Vielfalt an sprachlichen Ausdrucksmöglichkeiten macht die Verständigung über eine bestimmte Farbnuance so schwierig und so ungenau. Können wir einem anderen Menschen erklären, der Apfel sei „feuerrot“ und dann von ihm erwarten, dass er diese Farbe genau reproduziert? Eine Farbe mit sprachlichen Mitteln auszudrücken ist einfach zu kompliziert und schwierig. Gäbe es hingegen standardisierte Methoden zur Bezeichnung von Farben, wäre die Verständigung über Farben bedeutend einfacher und genauer. Eine solche exakte Farbkommunikation würde die Probleme mit der „Farbe“ beseitigen.

Bis zu welchem Grad lassen sich Farben mit Worten beschreiben? Umgangssprachliche und einordnende Farbbezeichnungen,

Worte, die zur Beschreibung von Farben verwendet werden, ändern im Laufe der Zeit ihre exakte Bedeutung. Einige Beispiele für Rottöne: Zinnoberrot, Karminrot, Rosenrot, Erdbeerrot, Scharlachrot. Dies sind allgemein gebräuchliche Namen für Farben. Präzisieren lässt sich die Eigenart einer Farbe durch Hinzufügen von Eigenschaftswörtern wie „hell“, „stumpf“ oder „tief“. Die Bezeichnung „hellrot“ für den Apfel ist eine allgemeingültige und gleichzeitig einordnende Angabe. Trotz der vielfältigen sprachlichen Ausdrucksmöglichkeiten werden zwei Menschen weiterhin Farbnamen wie „Zinnoberrot“ oder „hellrot“ auf andere Weise deuten. Das heißt also, dass eine auf sprachliche Mittel beschränkte Beschreibung von Farbe niemals wirklich präzise sein kann. Wie kann man Farbe in allen Eigenschaften dann unmissverständlich beschreiben?

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I



Obwohl es sich um die gleiche Farbe handelt, ist das Aussehen unterschiedlich.Warum?

Der Farbeindruck wird von vielen Faktoren beeinflusst.

Art der Lichtquelle

Ein Apfel, der so verlockend beim Obsthändler in der Sonne leuchtet, sieht zu Hause unter der Leuchtstoffröhre nicht mehr so köstlich aus. Ähnliche Erfahrungen hat bestimmt jeder schon einmal gemacht. Bei unterschiedlicher Beleuchtung, beispielsweise durch Sonnenlicht, Leuchtstoffröhren- oder Glühlampenlicht, sieht der gleiche Apfel jedesmal anders aus.

Objekthintergrund

Befindet sich der Apfel vor einem hellen Hintergrund, wirkt seine Farbe dumpfer als vor einem dunklen Hintergrund. Dies wird als Kontrasteffekt bezeichnet, der sich auf die Farbbeurteilung sehr ungünstig auswirkt.

Betrachtung

Beim Betrachten eines Autos wirkt die Farbe verschieden hell oder intensiv, je nachdem, aus welchem Winkel wir es ansehen. Der Farbeindruck ist also richtungsabhängig, was besonders bei Metallic–Lackierungen auffällt. Sowohl der Betrachtungswinkel als auch die Beleuchtungsrichtung müssen daher bei exakten Farbbestimmungen konstant gehalten werden.

Individuelles Farbempfinden

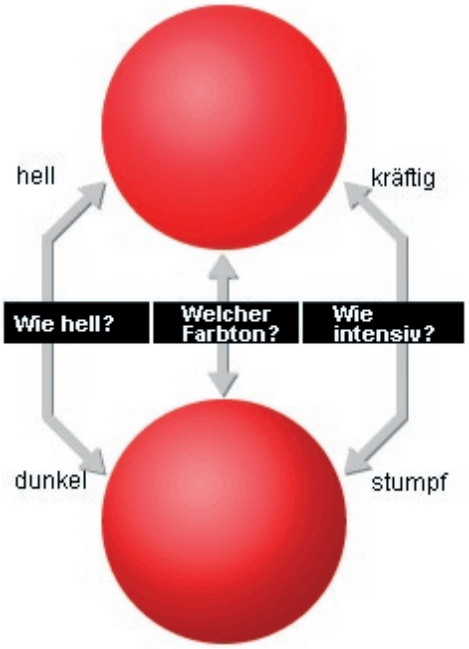
Bei jedem Menschen ist die spektrale Empfindlichkeit des Auges etwas anders ausgeprägt. Selbst bei Leuten mit „normaler“ Farbsehtüchtigkeit kann es leichte Verschiebungen in den Rot– oder Blaubereich geben. Zudem finden mit zunehmendem Alter schleichende Veränderungen im Auge statt. Schon deshalb kommen verschiedene Betrachter bei der Farbbeurteilung zu verschiedenen Ergebnissen.

Objektgröße

Hat man eine Tapete anhand eines kleinflächigen Musters ausgesucht, kann es passieren, dass nach dem Tapezieren die Farbe der Tapete einen kräftigeren Eindruck macht. Farben, die eine große Fläche bedecken, wirken in der Regel leuchtender und intensiver als auf kleiner Fläche. Dies wird als Flächeneffekt bezeichnet. Werden Farben für großflächige Objekte mit Hilfe von kleinflächigen Musterstücken ausgewählt, können also leicht Fehler auftreten.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I



Zwei rote Bälle. Wie würden Sie den Farbunterschied beschreiben?

Sehen wir uns zum besseren Verständnis der exakten Farbbenennung die Eigenschaften einer Farbe näher an.

Es gibt viele verschiedene Rottöne. Das Rot der beiden Bälle wirkt sehr ähnlich, doch worin unterscheiden sie sich?

Zwei rote Bälle. Auf den ersten Blick sehen sie gleichfarbig aus, aber bei näherem Hinsehen bemerkt man Unterschiede. Die Farbe beider Bälle ist rot, doch der obere Ball wirkt etwas heller und der untere etwas dunkler. Gleichzeitig erscheint das Rot des oberen Balls intensiver und kräftiger. Obwohl für beide Bälle die Bezeichnung Rot zutrifft, unterscheiden sie sich. Daher klassifiziert man Farben nach folgenden Merkmalen: Farbton, Helligkeit und Sättigung.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Abb. 1

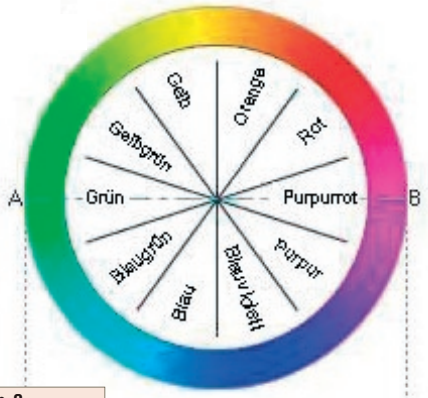


Abb. 2

Abb. 3

Farbton. Helligkeit. Sättigung. Jede Farbe setzt sich aus diesen drei Attributen zusammen.

Farbton, Helligkeit und Sättigung: Das ist die Welt der Farben.

Farbton	Rot, Gelb, grün, Blau... Farbtöne formen den Farbkreis.

Äpfel sind rot, Zitronen sind gelb, der Himmel ist blau – so benutzen wir Farbnamen im täglichen Leben. Was wir mit Rot, Gelb, Blau usw. bezeichnen, sind die Farbtöne. Weiterhin ergeben sich neue Farbtöne, wenn man völlig verschiedene Farben mischt. Aus roter und gelber Malfarbe entsteht zum Beispiel orange (auch gelbrot genannt), aus gelb und grün entsteht gelbgrün, aus blau und grün wird blaugrün, usw. Reiht man alle diese Farbtöne aneinander, vereinen sie sich zu dem in Abb. 1 gezeigten Farbkreis.

Helligkeit	Helle Farben, dunkle Farben. Die Helligkeit der Farben ändert sich vertikal.

Farben können vergleichsweise hell oder dunkel sein. Nehmen wir zum Beispiel das Gelb einer Zitrone und das einer Grapefruit. Zweifellos ist das Gelb der Zitrone viel heller. Wie verhält es sich dann mit dem Zitronengelb und dem Rot einer Kirsche? Wiederum ist das Gelb der Zitrone heller. Diese Helligkeit kann man unabhängig vom Farbton bestimmen und messen. Sehen wir uns nun Abb. 2 genauer an, die einen Querschnitt durch Abb. 1 zwischen Grün (Punkt A) und Purpurrot (Punkt B) darstellt. In Abb. 2 steigt die Helligkeit nach oben hin an und nimmt nach unten ab.

Sättigung	Leuchtende Farben, stumpfe Farben. Die Sättigung ändert sich horizontal.

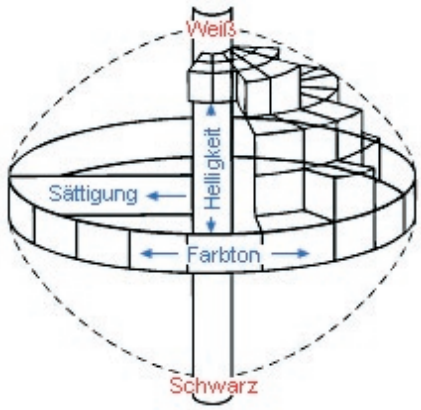
Kommen wir auf das Beispiel Gelb zurück. Wie verhält sich das Gelb der Zitrone zum Gelb einer Birne? Man könnte jetzt wieder sagen, die Zitrone sei heller, was aber nicht den Kern trifft. Vielmehr ist das Zitronengelb leuchtender oder kräftiger als das Birnengelb. Der Unterschied liegt in der Farbkraft oder besser der Farbsättigung. Diese Eigenschaft ist völlig unabhängig von dem Farbton und der Helligkeit. In Abb. 2 erkennt man, dass sich die Sättigung von Grün bzw. Purpurrot in waagerechter Richtung ändert. Zur Mitte hin ist die Farbkraft sehr schwach, zum Rand hin werden die Farben immer intensiver. Passend zur Abb. 2 sind in Abb. 3 Eigenschaftswörter aufgeführt, mit denen die Helligkeit und Sättigung von Farben umschrieben werden kann.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Ein dreidimensionaler Farbkörper aus Farbton, Helligkeit und Sättigung.

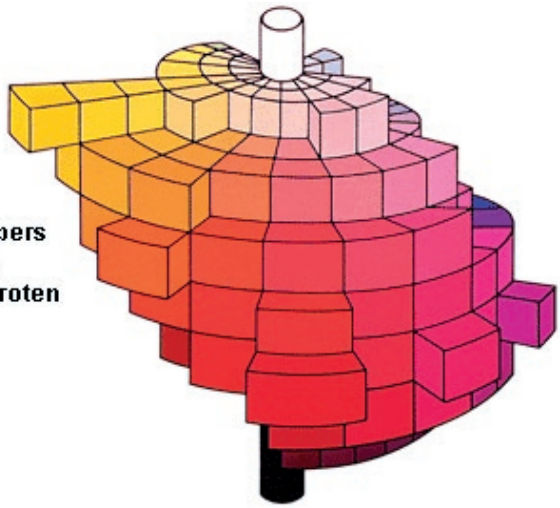
Abb. 4



Man nehme den Farbkreis, stecke eine Achse für die Helligkeit hindurch und erweitere das Mittelfeld um den Sättigungsverlauf...

Farbton, Helligkeit und Sättigung. Mit diesen drei Basiseigenschaften läßt sich „Farbe“ dreidimensional darstellen (Abb. 4). Die Farbtöne liegen auf dem Außenmantel, die Helligkeit verändert sich auf der senkrechten Achse, und die Sättigung ist außen am höchsten und verringert sich zur Mittelachse hin. Versieht man diese Darstellung mit sämtlichen existierenden Farben, entsteht ein Farbkörper wie in Abb. 5. Weil der horizontal verlaufende Sättigungsgrad mit den jeweiligen Farbtönen und Helligkeiten variiert, ergibt sich ein recht unregelmäßiges Gebilde. Dennoch werden im Farbkörper die Beziehungen zwischen Farbton, Helligkeit und Sättigung sehr gut veranschaulicht.

Abb. 5



Dieses rote Feld des Farbkörpers stimmt recht gut mit Farbton, Helligkeit und Sättigung des roten Apfels überein.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

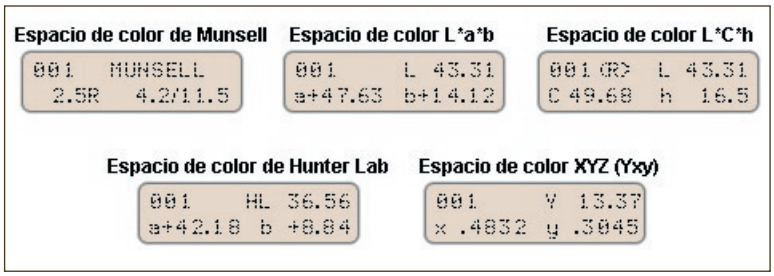
Teil I

Mit Skalen für Farbton, Helligkeit und Sättigung lässt sich die Welt der Farben in Zahlenwerte ausdrücken.

Mit Farbmessgeräten lassen sich Farben auf einfache Weise bestimmen.

Auf Tastendruck erhält man die Resultate für die verschiedenen Farbsysteme.

Beim Messen der Apfelfarbe erhalten wir die folgenden Ergebnisse:



Die Geschichte der Farbmaßsysteme

In der Vergangenheit wurden verschiedenste Methoden vorgeschlagen, um Farben zu „bemaßen“ und damit die Verständigung über Farbe leichter und genauer zu machen. Ziel war es, Farben in Zahlenwerten ausdrücken zu können, wie bei Länge oder Gewicht üblich. Ein Schritt in diese Richtung erfolgte z.B. mit der Methode des amerikanischen Künstlers A. H. Munsell. Er stellte 1905 ein System vor für den visuellen Vergleich zwischen der zu bestimmenden Farbe und einer großen Zahl von auf Papier gedruckten Musterfarben, die entsprechend ihres Farbtons, ihrer Helligkeit und Sättigung bzw. Buntheit (Munsell-Bezeichnungen: Hue, Value und Chroma) angeordnet waren. Später wurden die Munsell-Farbtafelfelder mit Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet. Noch heute ist im Munsell-System jeder Farbe eine Buchtaben-Zahlen-Kombination nach dem Schema H V/C zugeordnet. Andere Methoden wurden von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE; Commission Internationale de l‘Eclairage) entwickelt. Die beiden bekanntesten sind das Yxy-Farbsystem (1931), das auf den Normfarbwerten XYZ basiert, und der L*a*b*-Farbraum (1976), der eine bessere Übereinstimmung zwischen geometrischem und empfundenem Farbabstand bietet. Genormte Farbmaßsysteme* wie diese sind die Mittel der modernen Farbkommunikation.

* Farbmaßsysteme: erlauben die Kennzeichnung der Farbe eines Objektes oder einer Lichtquelle mit Hilfe von Zahlenwerten.

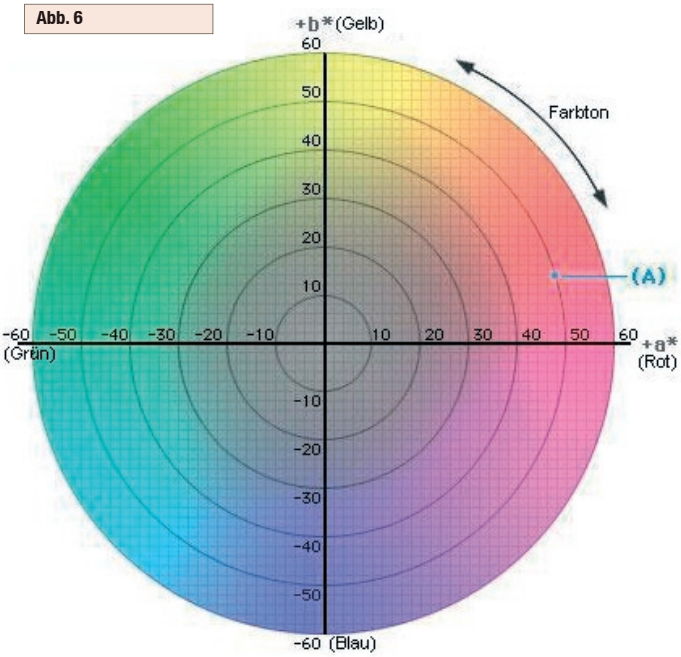
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Vorstellung der wichtigsten Farbsysteme. ••• I

L*a*b*-Farbsystem

Abb. 6

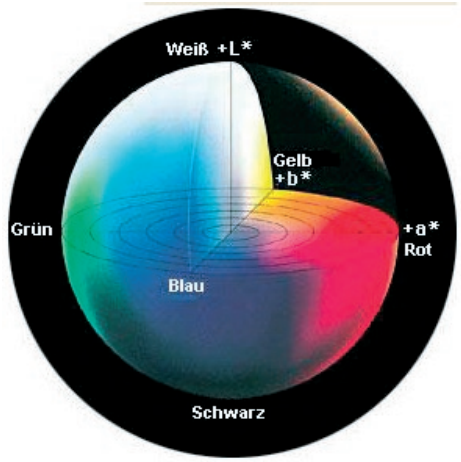


Das L*a*b*-Farbsystem (auch CIELAB–System genannt) ist heute das gebräuchlichste System für die Farbmessung und hat in fast allen Anwendungsbereichen eine große Verbreitung gefunden. Es wurde 1976 als einer der gleichabständigen Farbräume von der CIE definiert, um dem Hauptproblem des ursprünglichen Yxy-Systems zu begegnen: Gleiche geometrische Differenzstrecken im x,y-Farbdreieck führen nicht zu empfindungsgemäß gleichen Farbunterschieden. Der Farbraum des L*a*b*-Systems ist durch die Helligkeit L* und die Farbkoordinaten a* und b* gekennzeichnet. Abb. 6 zeigt die zugehörige Farbtafel, in der die a*b*-Werte gleichzeitig den Farbton und die Buntheit einer Farbe (vergleichbar mit der Eigenschaft der Farbsättigung) angeben. Die Vorzeichen lassen die Farbrichtung erkennen: +a* deutet auf einen Rotanteil hin, -a* zeigt in Richtung Grün. Dementsprechend steht +b* für Gelb, und -b* für Blau. Im Koordinatenursprung (Achsenschnittpunkt) befindet sich ein neutrales Grau ohne jede Buntheit. Mit wachsenden a*b*-Werten, je weiter also der Farbort von der Mitte entfernt liegt, wird die Buntheit größer. In Abb. 8 sehen wir den vollständigen Farbkörper des L*a*b*-Systems, woraus sich Abb. 6 als horizontaler Schnitt bei einem konstanten Helligkeitswert L* ergibt.

Wenn wir den Apfel mit dem L*a*b-Farbsystem messen, erhalten wir die folgenden Ergebnisse.

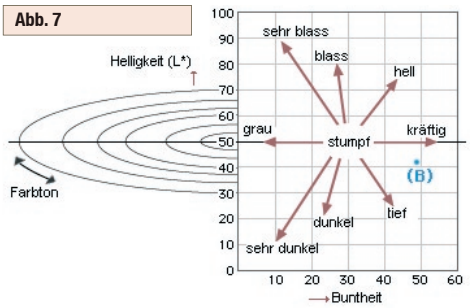
001 L 43.31
a+47.63 b+14.12

Abb. 8



Messen wir zur Veranschaulichung die Farbe unseres Apfels im L*a*b*-System. Durch Eintragen der Messergebnisse a*=+47,63 und b*=+14,12 in Abb. 8 ergibt sich der Punkt (A) für Farbton und Buntheit des Apfels. Macht man nun einen vertikalen Schnitt durch den Farbkörper (Abb. 8) entlang einer gedachten Linie zwischen der Mitte und Farbort (A), ergeben sich die Abhängigkeiten für Helligkeit und Buntheit (Abb. 7).

Abb. 7

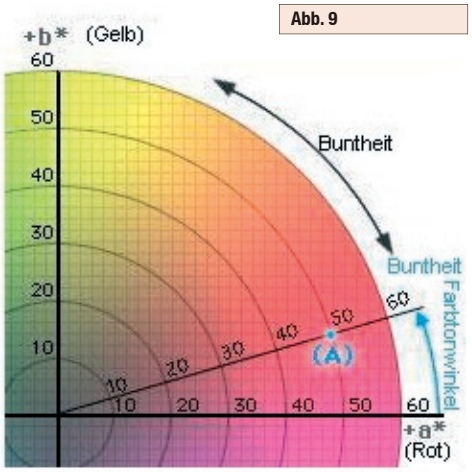


© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

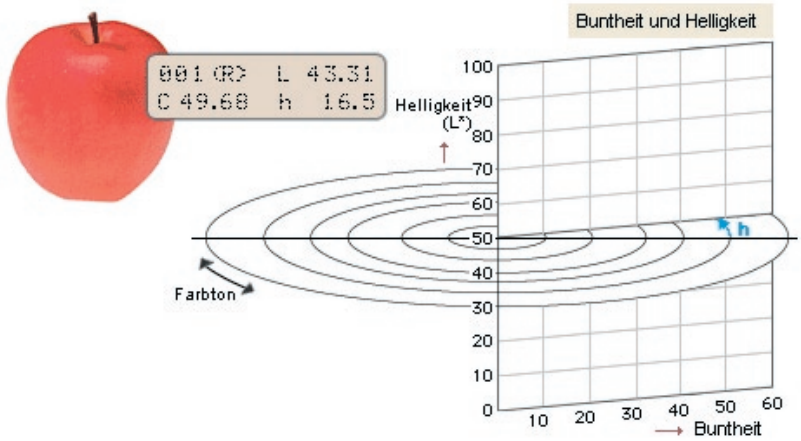
Vorstellung der wichtigsten Farbsysteme. ••• II

Abb. 9



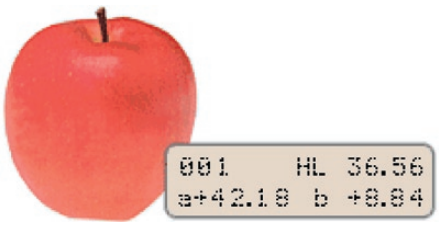
L*C*h*-Farbsystem

Dem L*C*h-System liegt das gleiche Diagramm wie dem L*a*b*-System zugrunde, es werden jedoch Polarkoordinaten anstelle von rechtwinkligen Koordinaten benutzt. Der Helligkeitswert L* ist bei beiden Systemen identisch, das C* steht für die Buntheit und h für den Bunttonwinkel. Der Wert für die Buntheit C* beträgt 0 im unbunten Koordinatenursprung und wächst mit dem Abstand zur Mitte (Radius). Der Bunttonwinkel h wird von der +a*Achse ausgehend in Grad angegeben. Bei +a* (Rot) beträgt der Winkel 0°, bei +b* (Gelb) 90°, bei -a* (Grün) 180° und bei -b* (Blau) 270°. Die untenstehenden Resultate würden beim Messen der Apfelfarbe angezeigt, wenn wir den Farbraum L*C*h verwenden. Eingetragen in Abb. 9 ergibt sich der Farbort (A).



Buntheit $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

Bunttonwinkel $h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$



Hunter-Lab-Farbsystem

Das Hunter-Lab-Farbsystem wurde von R.S. Hunter im Jahre 1948 entwickelt, um eine bessere empfindungsgemäße Gleichabständigkeit gegenüber dem Yxy-Farbsystem (CIE 1931) zu erreichen. Es ähnelt dem CIE L*a*b*-Farbsystem und wird in manchen Bereichen immer noch verwendet.

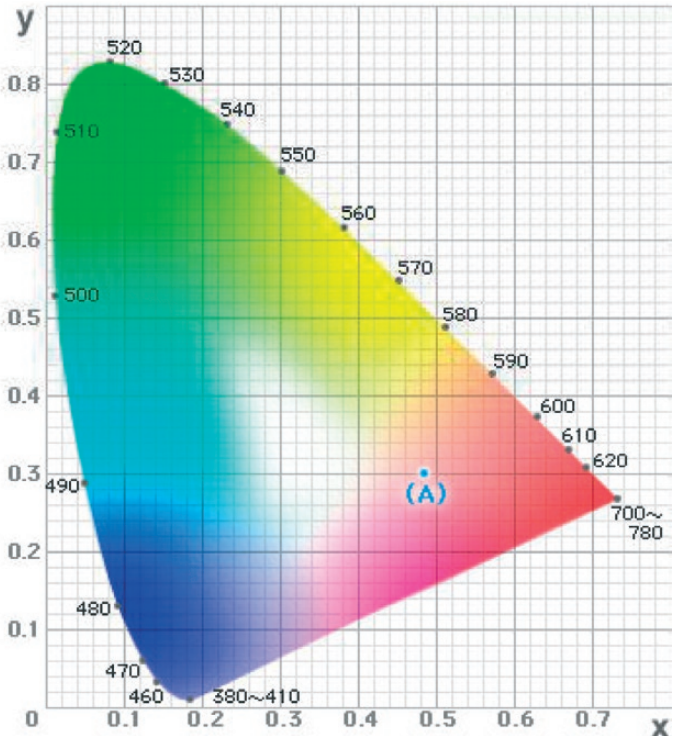
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

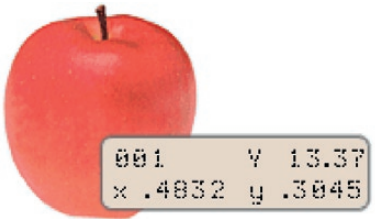
Vorstellung der wichtigsten Farbsysteme. ··· III

Abb. 12

Normfarbwerte XYZ und Yxy-Farbsystem



Grundlage für die gegenwärtigen CIE-Farbsysteme sind die Normfarbwerte XYZ und das daraus abgeleitete Yxy-Farbsystem. Die Normfarbwerte beruhen darauf, dass das Auge Sinneszellen für die Wahrnehmung der drei Primärfarben Rot, Grün und Blau besitzt, wobei alle von uns wahrgenommenen Farben aus einer Verschmelzung dieser selektiven Sinneseindrücke hervorgehen. Die Berechnung der Normfarbwerte XYZ basiert auf diesen allgemeingültigen Augenempfindlichkeitskurven. Messen wir die Farbe des Apfels, erhalten wir im Yxy–Farbsystem die Werte x=0,4832 und y=0,3045 als Koordinaten für den Farbort , der dem Punkt (A) in Abb. 12 entspricht. Der Helligkeitswert Y von 13,37 sagt aus, daß der Reflexionsgrad (Verhältnis zwischen zurückgeworfenem und einfallendem Licht) des Apfels 13,37% beträgt, verglichen mit einer ideal diffus reflektierenden Weißplatte (Reflexion 100%).



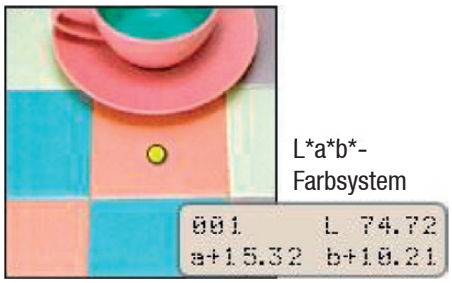
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Verschiedenste Farben mit dem Farbmessgerät bestimmen.

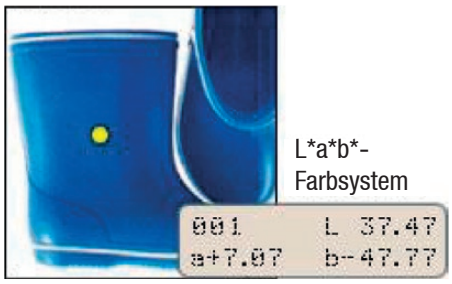
Während sich das menschliche Auge für das genaue Bemessen von Farben nicht eignet, ist dies mit einem Farbmessgerät ganz einfach. Im Gegensatz zu den sprachlichen Mitteln, mit denen der Mensch versucht, seinen subjektiven Farbeindruck zu beschreiben, liefert das Farbmessgerät numerische Ergebnisse auf der Basis von international genormten Standards. Dies erlaubt eine eindeutige Verständigung über Farbe. Des weiteren hängt die menschliche Wahrnehmung einer bestimmten Farbe auch von Umfeld und Beleuchtung ab. Zwar ist die Farbempfindlichkeit des Messgeräts dem menschlichen Auge nachempfunden, jedoch werden die Messungen stets mit der gleichen, eingebauten Lichtquelle und unter gleichen Beleuchtungsbedingungen durchgeführt. Die Messbedingungen sind damit immer gleich, ob bei Tag oder in der Dunkelheit, ob drinnen oder draußen. Das vereinfacht die präzise Anwendung erheblich.
Nachstehend sind einige Beispiele für Farbmessungen an unterschiedlichen Objekten in verschiedenen Farbsystemen dargestellt.

Keramik



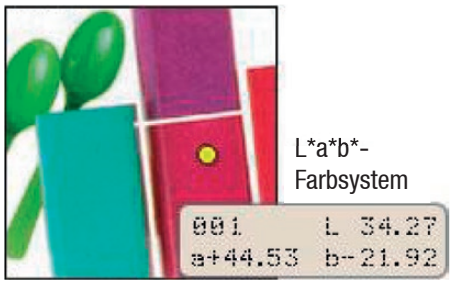
L*a*b*-Farbsystem

Gummi



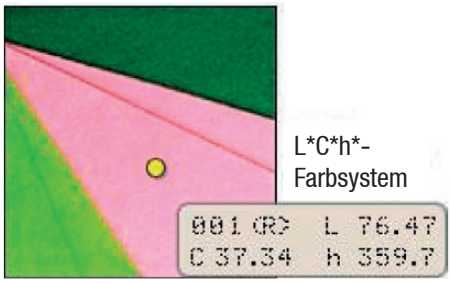
L*a*b*-Farbsystem

Kunststoffe



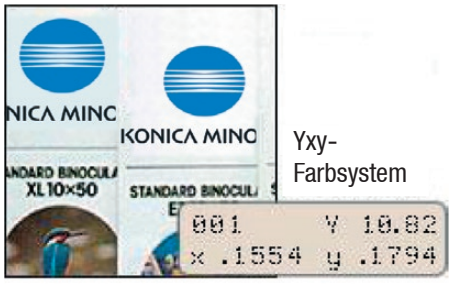
L*a*b*-Farbsystem

Textilien



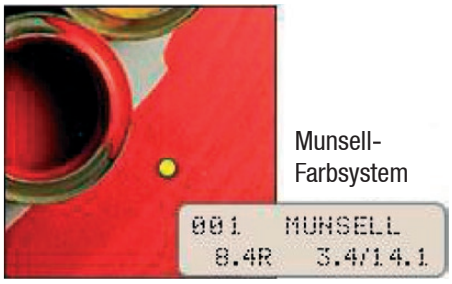
L*C*h*-Farbsystem

Druckerzeugnisse



Yxy-Farbsystem

Lackfarben

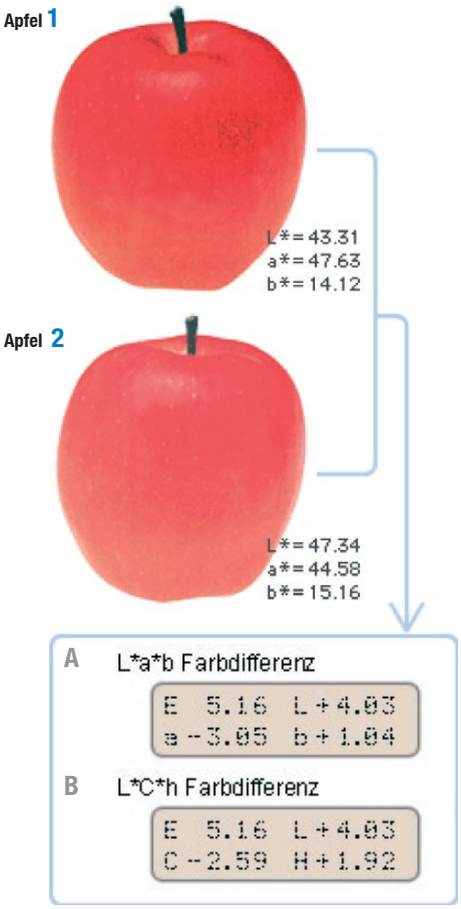


Munsell-Farbsystem

markiert den Ort der Messung.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I



Mit Farbmessgeräten lassen sich winzige Farbdifferenzen feststellen.

Farbunterschied nummerisch ausgedrückt.

Farbunterschied

Geringe Farbabweichungen haben schon immer Probleme bereitet. Mit einem Farbmessgerät jedoch lassen sich auch kleinste Farbdifferenzen in Zahlen ausdrücken und anschaulich machen. Benutzen wir einmal die Farbsysteme L*a*b* und L*C*h, um die Farbunterschiede zwischen zwei Äpfeln festzustellen. Nimmt man die Farbe von Apfel **1** (L*=43,31, a*=+47,63, b*=+14,12) als Bezugsgröße, und misst die Farbdifferenz von Apfel **2** (L*=47,34, a*=+44,58, b*=+15,16) zu Apfel **1**, ergeben sich die untenstehenden Resultate in den Anzeigen **A** und **B**. Der Farbabstand ist im Diagramm von Abb. 13 dargestellt. Die Darstellung in Abb. 14 veranschaulicht die Farbdifferenz im L*a*b*–Farbraum.

Abb. 13

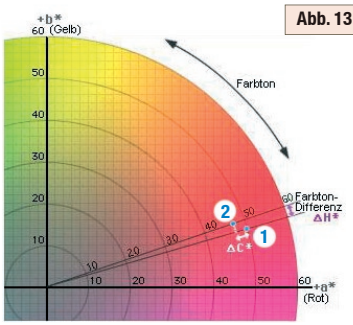
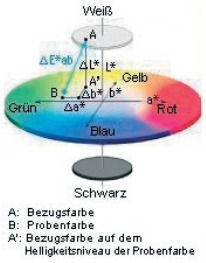


Abb. 14



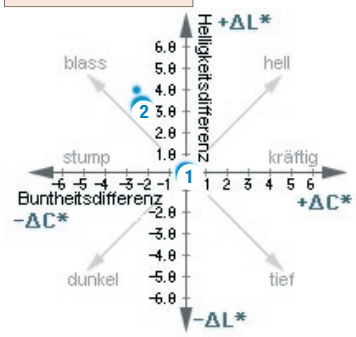
Im L*a*b*-Farbraum können Farbunterschiede mit Hilfe eines einzigen numerischen Wertes (ΔE*ab) angegeben werden, der aber nur den Betrag der Farbdifferenz angibt und nicht deren Richtung. ΔE*ab errechnet sich folgendermaßen:

$\Delta E^*ab=[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

Setzen wir die Werte aus der Anzeige **A** (ΔL*=+4,03, Δa*=-3,05, und Δb*=+1,04) in diese Formel ein, ergibt sich der Gesamtfarbabstand ΔE*ab=5,16, der in der oberen, linken Ecke von Anzeige **A** erscheint. Verwendet man das L*C*h-Farbsystem zur Messung des Farbunterschiedes zwischen den Äpfeln, erhält man die Messergebnisse aus obenstehender Anzeige **B**. Die Helligkeitsdifferenz ΔL* ist gegenüber der Messung im L*a*b* System unverändert. Die Buntheitsdifferenz beträgt ΔC*=-2,59, was bedeutet, dass die Buntheit von Apfel **2** etwas geringer ist. Die Farbtondifferenz ΔH* zwischen den Äpfeln beträgt +1,92 und berechnet sich nach folgender Formel:

$\Delta H^*=[(\Delta E^*ab)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$. Anschaulich wird diese Differenz in Abb.13: der Farbort von Apfel **2** liegt etwas näher zur +b*-Achse, die Farbe ist somit eine Spur gelblicher. Auch wenn Worte bei der Beschreibung von Farbunterschieden verglichen mit Zahlenwerten sehr ungenau sind, kann man die Helligkeits- und Buntheitsdifferenzen verbal umschreiben. In Abb. 15 sind einige Ausdrücke aufgeführt, die für sich allein nur die Tendenz der Farbabweichung angeben, mit Zusätzen wie „leicht“, „sehr“ etc. aber auch etwas über den Grad der Abweichung aussagen können. So würde man im allgemeinen Sprachgebrauch den Unterschied zwischen den beiden Apfeln mit „die Farbe von Apfel **2** ist blasser als jene von Apfel **1** „ beschreiben. Weil die Differenz sehr klein ist, könnte man auch sagen, dass der Apfel **2** „geringfügig blasser“ ist.

Abb. 15



„Δ“ (delta) kennzeichnet Differenzwerte

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Farbüberwachung bei Druckerzeugnissen

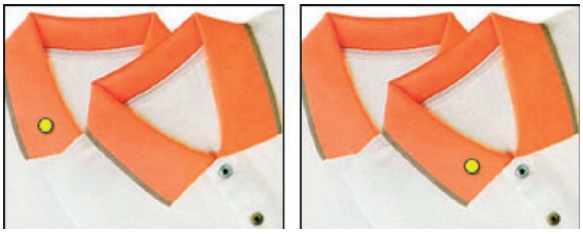
E 0.77 L-0.32
a-0.01 b+0.70

ΔE*ab=0.77
ΔL*=-0.32
Δa*=-0.01
Δb*=-0.70

Auch wenn Farben für das menschliche Auge gleich aussehen, bringt ein Farbmessgerät den kleinsten Unterschied an den Tag.

uch wenn Farben für das menschliche Auge gleich aussehen, wie wir das bei den zwei Äpfeln im Teil I-11 gesehen haben, bringt ein Farbmessgerät den kleinsten Unterschied an den Tag. Mit Farbmessgeräten lassen sich selbst dann Farbdifferenzen feststellen und exakt numerisch ausdrücken, wenn das Auge längst überfordert ist. Besonders jedoch können kleine, aber dennoch sichtbare Unterschiede zum Problem werden, wenn zum Beispiel ein Produkt mit geringer Farbabweichung unbemerkt ausgeliefert wurde und der Kunde dies reklamiert. Hierdurch wird nicht nur zusätzlicher Aufwand für Rücknahme und Ersatzlieferung bei der Verkaufsstelle und dem Hersteller verursacht, auch das Ansehen der Firma kann darunter leiden. Deshalb spielt die Farbkontrolle eine große Rolle bei der Qualitätssicherung.

Farbüberwachung bei Textilien



E 0.18 L+0.11
a-0.06 b+0.13

ΔE*ab=0.18
ΔL*=-0.11
Δa*=-0.06
Δb*=0.13

Farbüberwachung bei Kunststoffteilen

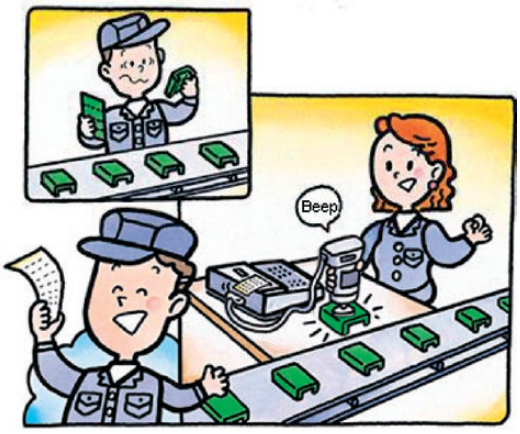
E 0.15 L-0.08
a-0.02 b+0.13

ΔE*ab=0.15
ΔL*=-0.08
Δa*=-0.02
Δb*=0.13

markiert den Ort der Messung.

Ein Beispiel für die Qualitätskontrolle mittels Farbmessgerät

So kann ein Farbmessgerät die Farbüberwachung verbessern und vereinfachen.
Firma A stellt als Zulieferer Kunststoffteile für Firma B her, die wiederum ähnliche Teile von anderen Firmen bezieht.



Bei Firma A ist spezielles Personal ausschließlich damit beschäftigt, am Fließband die erzeugten Teile mit Farbmustern zu vergleichen. Die visuelle Überwachung erfordert befähigte Kontrolleure, die entscheiden müssen, ob ein Teil innerhalb oder außerhalb einer tolerierbaren Farbabweichung liegt. Diese Arbeit setzt eine gute Farbsehtüchtigkeit und viel Erfahrung voraus, und kann deshalb nicht von beliebigen Personen ausgeführt werden. Die Farbwahrnehmung ändert sich mit dem Alter und der Kondition, die visuelle Kontrolle ist zudem anstrengend und nur eine bestimmte Zeit ohne Unterbrechung möglich.
Manchmal reklamierte Firma B, dass die Farbe der von Firma A gelieferten Teile nicht mit den Teilen der anderen Zulieferer übereinstimmte. Deshalb entschloß sich Firma A zur Anschaffung von Messgeräten zur Überwachung der Produktfarbe. Die Farbmessgeräte bewährten sich hervorragend, denn sie konnten wegen ihrer Handlichkeit und der Schnelligkeit des Messvorgangs direkt im Produktionsablauf eingesetzt und von jeder Person bedient werden.
Weiterhin wurden die Messdaten als Nachweis für die Qualitätskontrolle den gelieferten Teilen beigefügt.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil I

Ausstattungsmerkmale eines Farbmessgeräts

Moderne Farbmessgeräte bieten eine Vielzahl von Features.

Die Abbildung zeigt die KONICA MINOLTA Chroma-Meter CR-400 und CR-410.

Eingebaute Lichtquelle

Durch die eingebaute Lichtquelle und das Zweistrahl-Kompensations-verfahren ist die konstante Beleuchtung bei allen Messungen sichergestellt Die Ergebnisse können wahlweise für die CIE-Normlichtart C oder D_{65} ermittelt werden.

Datenspeicher

Die Messdaten werden sofort automatisch gespeichert und lassen sich auch ausdrucken.

Datenübertragung

Die serielle Standard Schnittstelle RS-232C kann zur Datenausgabe oder zur Steuerung des Farbmessgeräts benutzt werden.

Datenanzeige

Die Messresultate werden in Form von genauen Zahlenwerten für verschiedene Farbsysteme angezeigt. Dies erlaubt eine präzise und einfache Verständigung über Farbe.

Konstante Beleuchtungs- und Betrachtungswinkel

Die feste Geometrie von Beleuchtung und Betrachtung sorgt für konstante Messbedingungen.

Definierter „Beobachter“

Die Messsensorik des Farbmessgeräts besteht aus einer Gruppe von drei Fotodioden, die mittels Filterung dicht an die spektralen Normalbeobachter funktionen (CIE 1931) angepasst sind. Alle Messungen basieren daher auf den genormten Augenempfindlichkeitskurven.

Keine Beeinflussung durch Objektgröße und Umfeld

Weil das Farbmessgerät nur die Probe beurteilt (vorausgesetzt, das Objekt ist nicht kleiner als die Messfläche), wird die Messung durch Größe und Umfeld der Probe nicht verfälscht.

Bestimmung von Farbabweichungen

Die Abweichung zu einer Bezugsfarbe kann gemessen und sofort in Form von Differenzwerten angezeigt werden.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

KONICA MINOLTA

EXAKTE FARBKOMMUNIKATION

Teil II

Beschäftigen wir uns genauer mit dem Wesen der Farbe

Der erste Teil dieser Broschüre befasste sich mit der Farbempfindung und den Möglichkeiten, Farben präzise zu beschreiben. Im folgenden Teil möchten wir auf die Grundlagen der Farberscheinung eingehen. Warum ist zum Beispiel ein Apfel rot, oder wieso sieht die gleiche Farbe unter verschiedenen Lichtquellen anders aus? Die meisten Leute nehmen diese Dinge als selbstverständlich hin und wissen nur wenig über die Ursachen. Für die Farbüberwachung in Produktionsstätten oder wissenschaftlichen Labors, wo strenge Maßstäbe an die Genauigkeit gelegt werden, sind weitergehende Kenntnisse nötig. Vertiefen wir also unser Wissen über das Phänomen „Farbe“.

Inhalt

- Warum sieht der Apfel rot aus?
- Der Mensch nimmt bestimmte Wellenlängen als Farbe wahr.
- Wie unsere Augen das Licht aufnehmen und daraus ein Farbeindruck entsteht. Und wie ein Farbmessgerät im Vergleich dazu arbeitet.
- Der Zusammensetzung von Licht und Farbe mit dem Spektralphotometer auf der Spur.
- Verschiedenste Farben mit dem Spektralphotometer bestimmen.
- Die Unterschiede zwischen dem Dreibereichsverfahren und der Spektralphotometrie.
- Wie ändert sich der Farbeindruck bei unterschiedlichen Lichtquellen?
- Ein Spektralphotometer kommt auch mit dem komplexen Phänomen der Metamerie zurecht.
- Ausstattungsmerkmale eines Spektralphotometers.

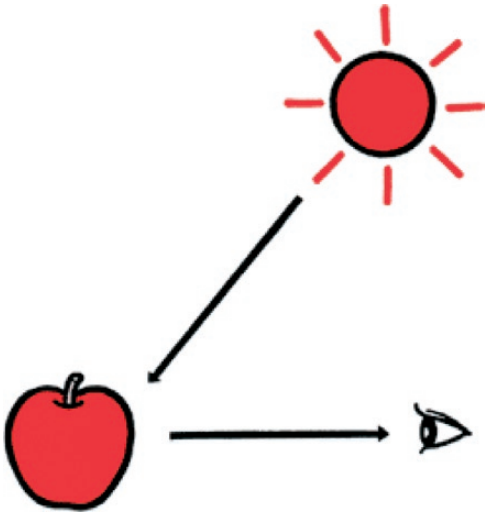
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Warum sieht der Apfel rot aus?

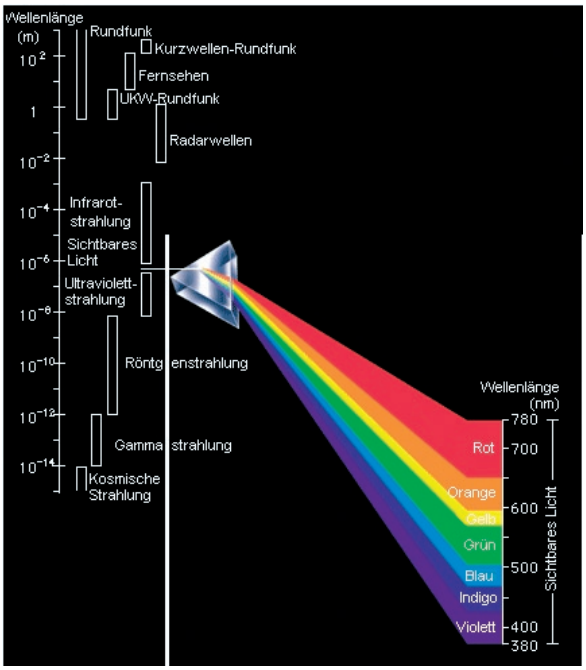
Ohne Licht keine Farbe. Drei Dinge sind Voraussetzung für die Farbwahrnehmung: Objekt, Licht und Betrachtung.

In völliger Dunkelheit können wie keine Farben erkennen. Mit geschlossenen Augen natürlich auch nicht. Und wo es kein Objekt gibt, fehlt auch die zugehörige Farbe. Licht, Betrachtung und Objekt: Fehlt auch nur eins davon, gibt es keine Farbwahrnehmung. Aber wie können wir uns das Auftreten von verschiedenen Farben erklären, den Unterschied zwischen dem Rot eines Apfels und dem Gelb einer Zitrone?



© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II



Ein Regenbogen entsteht durch die Brechung
des Sonnenlichts in den Regentropfen, die wie Prismen wirken.

Der Mensch nimmt bestimmte Wellenlängen als Farbe wahr.

Zerlegen wir Licht in seine verschiedenen Wellenlängen, entsteht ein Spektrum. Führen wir die Wellenlängen mit unterschiedlichen Intensitäten wieder zusammen, lassen sich die verschiedenen Farben erzeugen.

Die Farbverteilung wird mit Spektrum bezeichnet, die Lichtbrechung nennt man Dispersion.
Das menschliche Auge kann die Farben des Spektrums sehen, weil elektromagnetische Strahlung dieser Wellenlängen in der Netzhaut Farbreize auslöst. Das Licht der verschiedenen Wellenlängen*1, die Spektralfarben, treten in der Reihenfolge Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett auf. Das langwellige Rot begrenzt den Bereich des sichtbaren Lichts zur einen Seite, das kurzwellige Violett zur anderen.
Verlässt man diesen Bereich zur längerwelligen Strahlung hin, gelangt man in den Infrarotbereich, umgekehrt schließt an das kurzwellige Licht der Ultraviolettbereich an. Beide Strahlungsarten können mit dem menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden.
Das sichtbare Licht ist nur ein Teil der elektromagnetischen Wellen, die sich durch den Raum bewegen. Das elektromagnetische Spektrum erstreckt sich über einen riesigen Bereich, es umfasst Radiowellen mit Wellenlängen im Kilometerbereich genauso wie Gammastrahlen mit Wellenlängen um 10^{-13} m und kürzer. Das sichtbare Spektrum ist ein winziger Ausschnitt daraus, der sich ungefähr von 380 nm bis 780 nm erstreckt*2. Das von einem Körper zurückgeworfene Licht, das wir als seine Farbe wahrnehmen, ist eine Mischung aus Licht verschiedener Wellenlängen innerhalb des sichtbaren Spektrums (Ausnahme: künstlich erzeugtes monochromatisches Licht).

*1 Wellenlänge: Licht besitzt Wellencharakter; die Wellenlänge ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Schwingungsmaxima.

*2 nm (Nanometer): Eine häufig benutzte Maßeinheit für die Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Manchmal wird auch µm (Mikrometer) verwendet.

$1nm=10^{-6}$ mm$=10^{-3}$¼m
1¼m$=10^{-3}$mm=1000nm

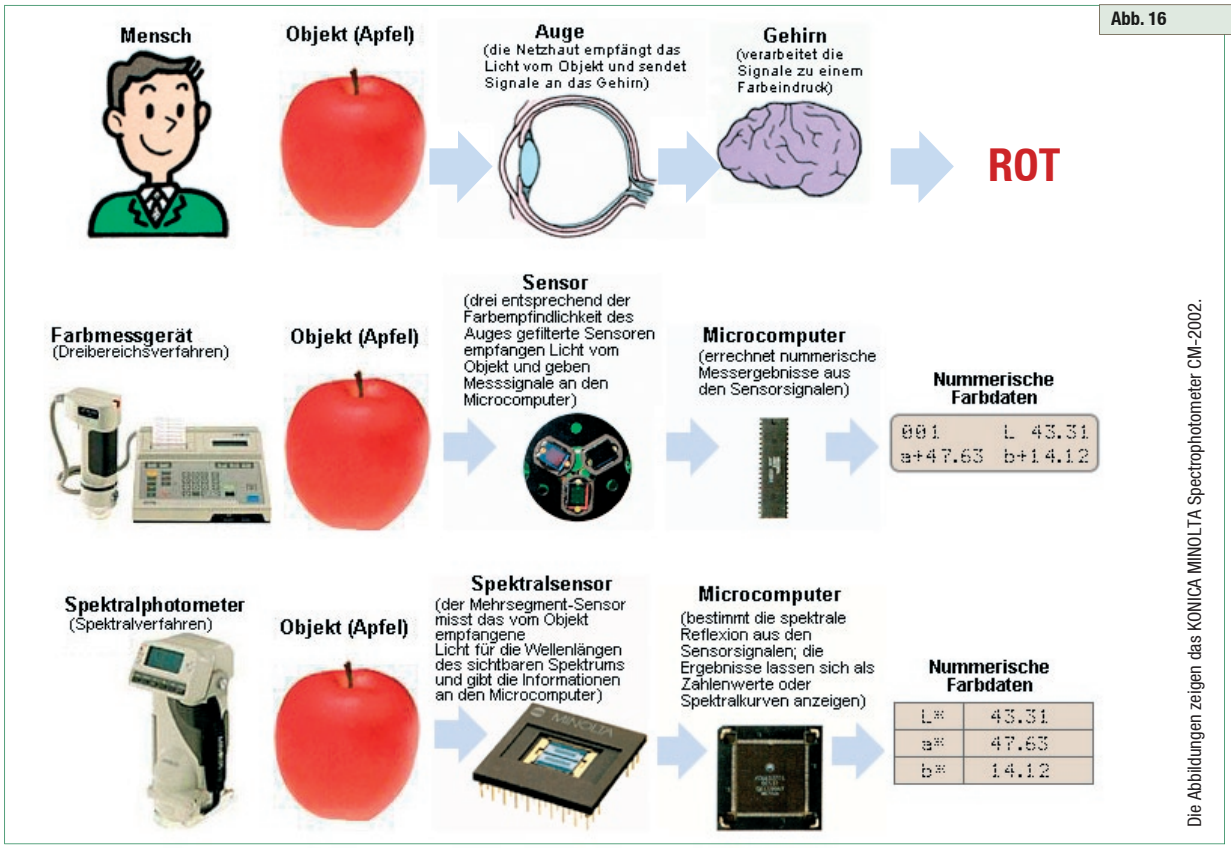
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Wie unsere Augen das Licht aufnehmen und daraus ein Farbeindruck entsteht. Und wie ein Farbmessgerät im Vergleich dazu arbeitet.

Das menschliche Auge nimmt Licht im sichtbaren Bereich wahr. „Licht“ ist aber nicht gleich „Farbe“, sondern zuerst einmal elektromagnetische Strahlung, die auf der Netzhaut Nervenreize auslöst und damit das „Sehen“ überhaupt ermöglicht. Die spektral empfindlichen Sinneszellen der Netzhaut geben ihre Signale an das Gehirn weiter, wo aus diesen Informationen der Farbeindruck entsteht. Wie Abb. 16 zeigt, ist das Prinzip der menschlichen Farbwahrnehmung grundsätzlich mit dem Verfahren des Farbmessgeräts vergleichbar. Die Messmethode dieses in Teil I beschriebenen Gerätetyps nennt man Dreibereichsverfahren. Es ist der Funktionsweise des menschlichen Auges nachempfunden.
Eine andere Methode zur Farbmessung ist das spektralphotometrische Verfahren, auf das später noch genauer eingegangen wird. Spektralphotometer messen die spektrale Charakteristik des Lichts und errechnen daraus die Normfarbwerte auf der Grundlage der CIE–Normalbeobachterfunktionen. Zusätzlich zu den numerischen Ergebnissen in verschiedenen Farbsystemen erlauben Spektralphotometer die direkte grafische Darstellung der spektralen Eigenschaften der Objektfarbe.

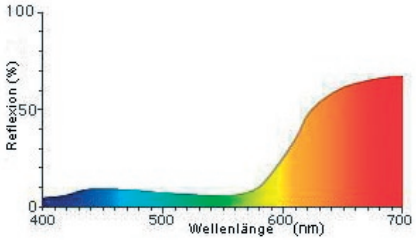
Abb. 16



Die Abbildungen zeigen das KONICA MINOLTA Spectrophotometer CM-2002.

Spektrale Reflexionskurve

Zusätzlich zur Anzeige numerischer Farbdaten kann ein Spektrophotometer das Messergebnis auch als Spektralkurve grafisch darstellen. Farben entstehen durch Mischen der verschiedenen Wellenlängen in bestimmten Anteilen. Ein Spektralphotometer bewertet das vom Objekt zurückgeworfene Licht für verschiedene Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche und kann die Resultate als Grafik darstellen. Diese Kurve zeigt uns, wie stark die einzelnen Spektralanteile vom Objekt reflektiert werden.

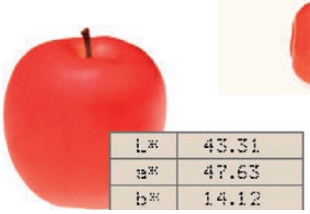


© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Der Zusammensetzung von Licht und Farbe mit dem Spektralphotometer auf der Spur

Ein Objekt absorbiert Teile des von der Lichtquelle kommenden Lichtes, andere Teile werden reflektiert. Dieses zurückgeworfene Licht tritt in das Auge ein und erzeugt Reize auf der Netzhaut, die das Gehirn als „Farbe“ des Objekts erkennt. Jedes Objekt absorbiert und reflektiert verschiedene Teile des Spektrums unterschiedlich stark. Diese Unterschiede machen die Farbe eines Objekts aus.



Apfel

Wenn wir die Farbe des Apfels mit einem Spektralphotometer messen, erhalten wir eine Spektralkurve, wie in Abb. 17a zu sehen. An dieser Kurve erkennt man, dass der Reflexionsgrad (das Verhältnis des zurückgeworfenen zum einfallenden Licht) im roten Wellenlängenbereich hoch ist und in den anderen Bereichen niedrig. Der Apfel reflektiert also hauptsächlich Licht im orangen und roten Spektralbereich und „schluckt“ das Licht der Wellenlängenregionen Grün, Blau, Indigo und Violett (Abb. 17b). Mit Hilfe dieser Messmethode können wir das Wesen der Apfelfarbe genau ergründen.
Zur Messung wird das sichtbare Spektrum in kleine, eng begrenzte Wellenlängenbereiche zerlegt, die jeweils von einem anderen Segment des Sensors (z.B. 39 Segmente beim Minolta Spektrophotometer CM-2600d) bewertet werden. Mit diesem Verfahren lassen sich kleinste Farbunterschiede feststellen, die dem menschlichen Auge verborgen bleiben.

Abb. 17a

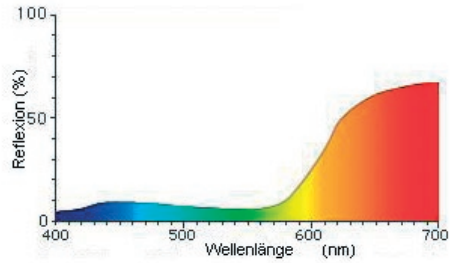
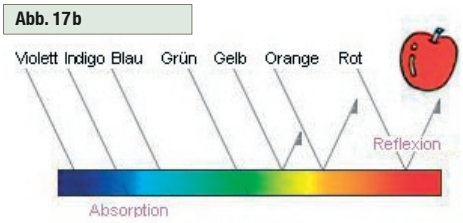


Abb. 17b



Zitrone

Beim Messen einer Zitrone erhalten wir die Spektralkurve in Abb. 18a. Die Reflexion (der Anteil des zurückgeworfenen Lichts) ist demnach im roten und gelben Wellenlängenbereich hoch und im Indigo- und violetten Bereich niedrig. Wie Abb. 18b zeigt, reflektiert die Zitrone vornehmlich Licht grüner, gelber und roter Wellenlänge, die Spektralanteile Indigo und Violett werden absorbiert. Dadurch ist die Farbe der Zitrone charakterisiert. Diese hochgenaue Analyse der spektralen Zusammensetzung einer Objektfarbe ist weder mit dem Auge noch mit einem Dreibereichsmessgerät (dem in Teil I besprochenen Gerätetyp) möglich, sondern nur mit dem Spektralphotometer.

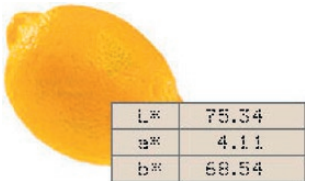


Abb. 18 a

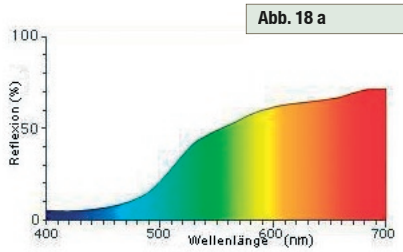
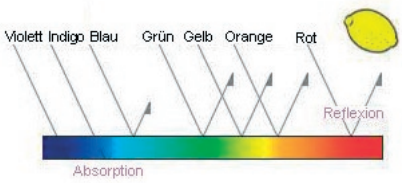


Abb. 18 b



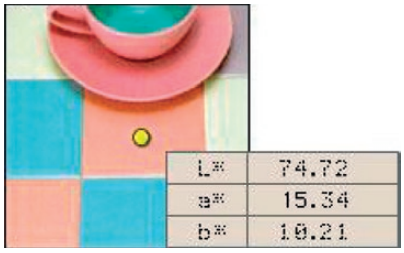
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Verschiedenste Farben mit dem Spektralphotometer bestimmen.

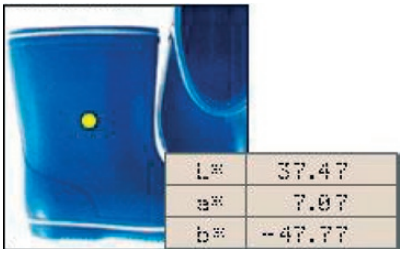
Bei der Messung mit einem Dreibereichs–Farbmessgerät (Teil I-10) in Teil I erhalten wir ausschließlich numerische Ergebnisse in den verschiedenen Farbsystemen. Das Spektralphotometer liefert uns über die numerischen Daten hinaus die spektrale Reflexionskurve für die gemessene Farbe. Weiterhin bietet das Spektralphotometer mit seinem hochentwickelten Sensor und dem Einbezug der Daten für eine Reihe von Beleuchtungsbedingungen eine höhere absolute Genauigkeit gegenüber dem Dreibereichsverfahren.

A: Keramik



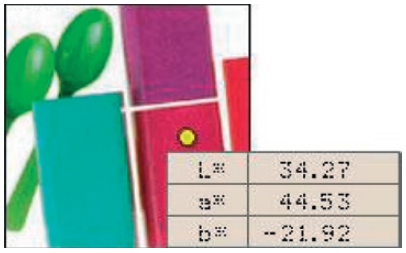
Eine rosafarbene Kachel wurde gemessen. Beim Blick auf die spektrale Reflexionskurve erkennen wir, dass die Kachel Licht in allen Wellenlängenbereichen reflektiert, wobei der Reflexionsgrad im orangeroten Bereich über 600 nm etwas höher ist als in den anderen Wellenlängenregionen.

B: Gummi



Dies ist ein leuchtendes Blau. Die Reflexion der Wellenlängen im Bereich von 400 bis 500 nm (Indigo und Blau) ist hoch, während das Licht mit längerer Wellenlänge als 550 nm kaum zurückgeworfen, sondern stark absorbiert wird.

C: Kunststoffe

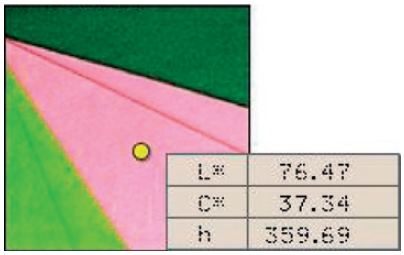


Ein purpurrotes Kunststoffteil wurde gemessen. Die Wellenlängen der Randbereiche des sichtbaren Spektrums (um 400 bzw. 700 nm) wurden stark reflektiert, während das Licht der Region zwischen 500 und 600 nm überwiegend absorbiert wurde.

D: Druckerzeugnisse

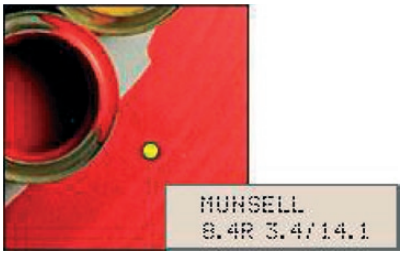
Messobjekt ist das blaue Logo. Die spektrale Reflexionskurve ähnelt jener im Fall B. Bei genauem Vergleich sehen wir, dass der Reflexionsgrad für die Wellenlängen über 600 nm noch etwas geringer ist. Das Blau des Logos ist eine Spur tiefer.

E: Textilien



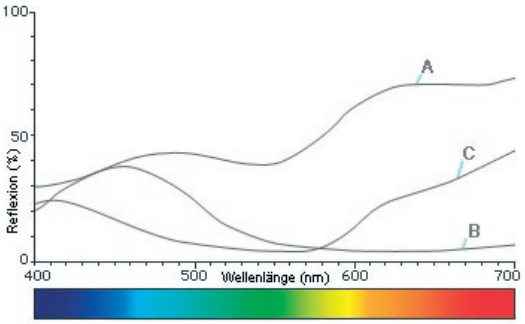
Der rosafarbene Stoff wurde gemessen. Die spektrale Reflexion im gesamten Wellenlängenbereich ist hoch, besonders bei 600 nm. Die Wellenlängen um 550 nm wurden am schwächsten reflektiert, das grüngelbe Licht also am stärksten absorbiert.

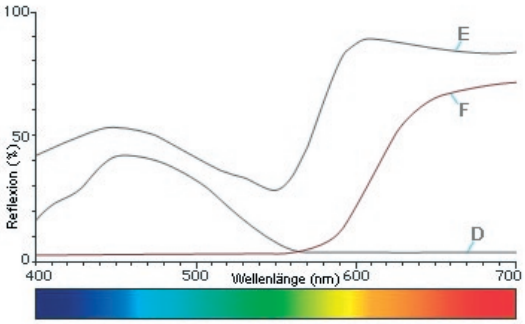
F: Lackfarben



Dies ist eine kräftig rote Lackfarbe. Nur die Wellenlängenregion von 600 bis 700 nm (rot und orange) wurde stark reflektiert, das Licht unter 600 nm wurde größtenteils absorbiert.

● markiert den Ort der Messung.



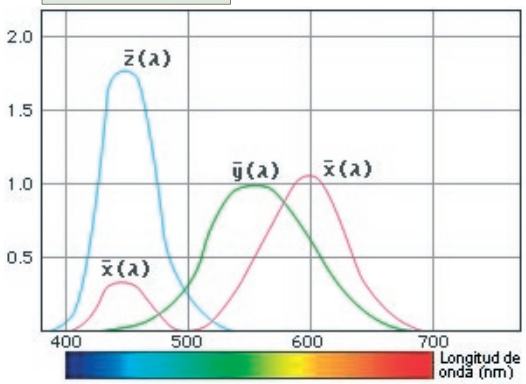


© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

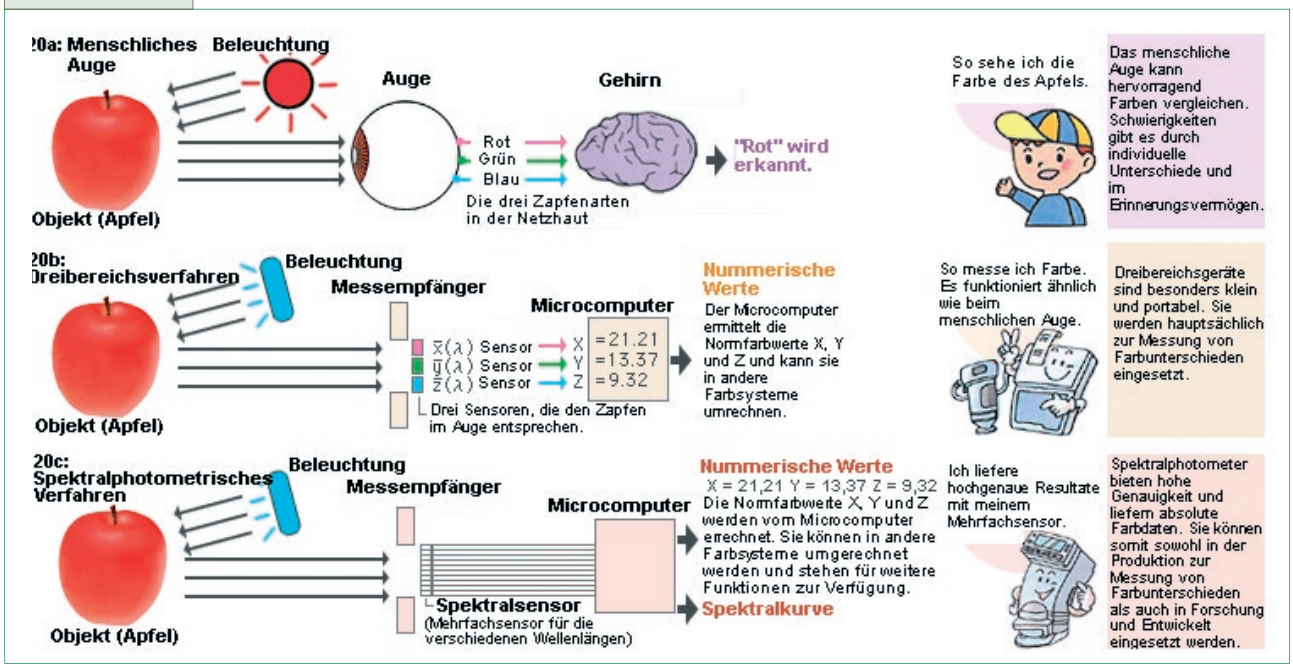
Die Unterschiede zwischen dem Dreibereichsverfahren und der Spektralphotometrie

Abb. 19



Im Teil II-2 befassten wir uns mit den Spektralfarben (Rot, Orange, Gelb, Grün etc.). Drei dieser Farben, Rot, Grün und Blau, werden allgemein als Primärfarben bezeichnet. Denn das Auge besitzt in der Netzhaut drei Arten von farbempfindlichen Sinneszellen (sog. Zapfen), die jeweils hauptsächlich auf eine der Primärfarben reagieren und damit die Farbwahrnehmung ermöglichen. Abb. 19 zeigt die Spektralwertfunktionen für das menschliche Auge, auch Augenempfindlichkeitskurven genannt, die 1931 von der CIE für den Normalbeobachter festgelegt wurden. Die Funktion $\bar{x}(\lambda)$ zeigt eine hohe Empfindlichkeit für den roten Wellenlängenbereich, $\bar{z}(\lambda)$ für die grüne Region und $\bar{y}(\lambda)$ für die blauen Wellenlängen. Die von uns empfundene Farbe hängt davon ab, wie sich das vom Objekt kommende Licht auf die einzelnen Empfindlichkeitskurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ verteilt.

Abb. 20

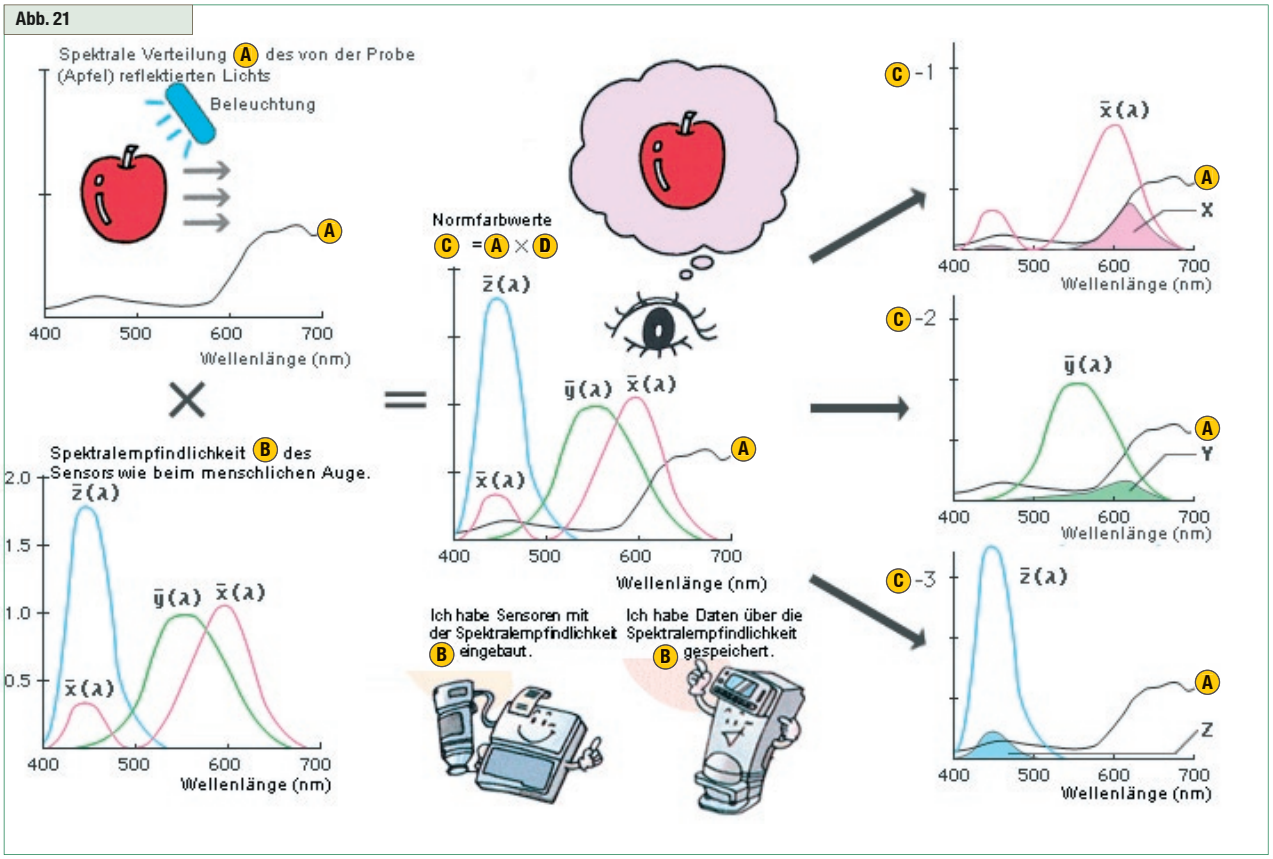


Das Dreibereichsverfahren (Abb. 20 b) benutzt zur Messung des vom Objekt zurückgeworfenen Lichts drei Sensoren, die so gefiltert sind, dass sie den Empfindlichkeitskurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ des Auges entsprechen. Die Normfarbwerte X, Y und Z lassen sich direkt daraus ableiten. Bei der spektralphotometrischen Methode (Abb. 20 c) kommt eine Sensorzeile zum Einsatz (40 Segmente beim KONICA MINOLTA CM-2002), die die spektrale Reflexion eines Objektes für die verschiedenen Wellenlängen bzw. engen Wellenlängenbereiche des Spektrums misst. Der Microcomputer des Spektralphotometers berechnet durch Integration die Normfarbwerte aus den Reflexionsdaten. Für den Apfel ergeben sich zum Beispiel die Werte X=21,21, Y=13,37 und Z=9,32, die sich auf andere Farbsysteme wie Yxy oder L*a*b* umrechnen lassen.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Abb. 21



Wie die Normfarbwerte X, Y und Z ermittelt werden, zeigt Abb. 21. Das vom Objekt reflektierte Licht der spektralen Verteilung A fällt beim Dreibereichsmessgerät auf die drei Sensoren, die entsprechend der Spektralwertkurven B gefiltert sind. Beim Spektralphotometer sind die Daten der Spektralwertkurven elektronisch gespeichert. Die Normfarbwerte C entstehen durch Verknüpfung der Kurven C = A ~ B. Für die einzelnen Spektralbereiche ergeben sich die Diagramme C -1: $\bar{x}(\lambda)$, C -2: $\bar{y}(\lambda)$, und C -3: $\bar{z}(\lambda)$. Durch Integration der schraffierten Flächen erhält man jeweils die Normfarbwerte X, Y und Z.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Wie ändert sich der Farbeindruck bei unterschiedlichen Lichtquellen?

Abb. 22a

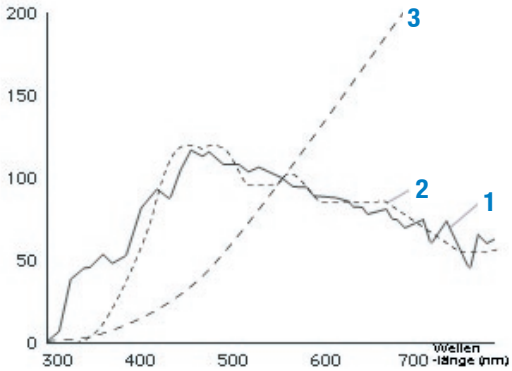


Abb. 22b

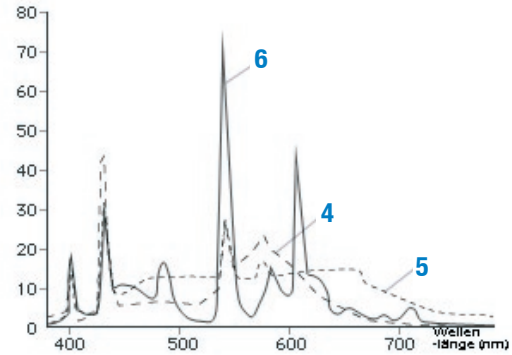
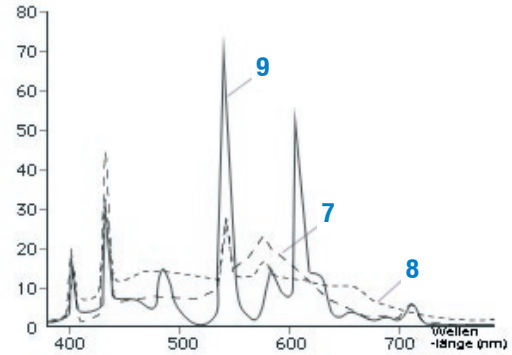


Abb. 22c



Wie wir schon im Teil I-2 gesehen haben, beeinflusst die Art der Beleuchtung den Farbeindruck. Für die Farbmessung hat die CIE deshalb die spektrale Energieverteilung für typische, häufig vorkommende Lichtquellen festgelegt. Die Spektren solcher Normlichtarten sind in Abb. 22 dargestellt. In ein Farbmessgerät ist gewöhnlich eine eigene Lichtquelle eingebaut, die mit einer der CIE-Normlichtarten übereinstimmen kann oder auch nicht. Das Messgerät ermittelt die Farbdaten für eine bestimmte Beleuchtungsart, indem es die auf die eingebaute Lichtquelle bezogenen Messergebnisse auf die gespeicherten Spektraldaten der gewünschten Beleuchtung umrechnet.

Abb. 22a: Normlichtarten
1 Normlichtart D_{65} Entspricht mittlerem Tageslicht (einschließlich UV-Be–reich) mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 6504 K und empfiehlt sich daher für die Messung von Objekten unter Tageslichtbedingungen ein–schließlich UV–Strahlung.
2 Normlichtart C Entspricht mittlerem Tageslicht (ohne UV-Bereich) mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 6774 K und empfiehlt sich daher für die Messung von Objekten unter Tageslichtbedingung des sichtbaren Spektrums ohne UV-Strahlung.
3 Normlicht A Entspricht Glühlampenlicht mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 2856 K und empfiehlt sich daher für die Messung von Objekten unter künstlicher Glühlampenbeleuchtung.

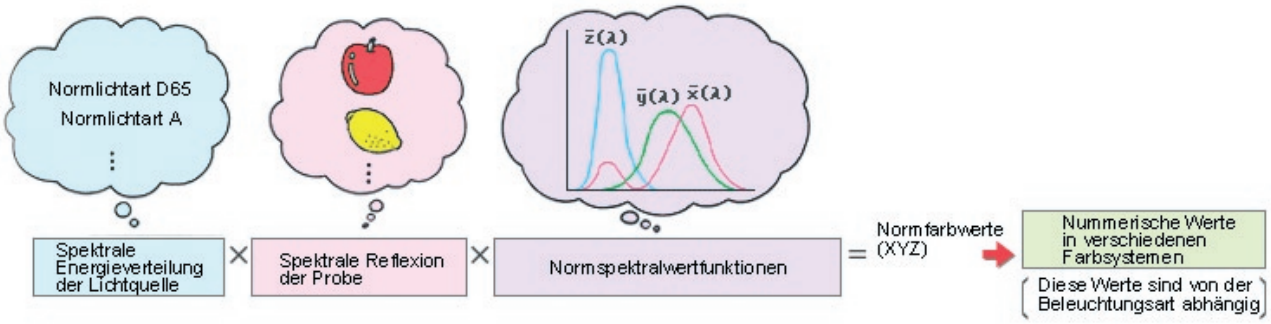
Abb. 22b: Lichtarten für Leuchtstofflampen
(empfohlen von der JIS für Messungen)
4 F6: Kaltweiß
5 F8: Tageslicht
6 F10: Dreibanden-Tageslichtweiß

Abb. 22c: Lichtarten für Leuchtstofflampen
(empfohlen von der CIE für Messungen)
7 F2: Kaltweiß
8 F7: Tageslicht
9 F11: Dreibanden-Kaltweiß

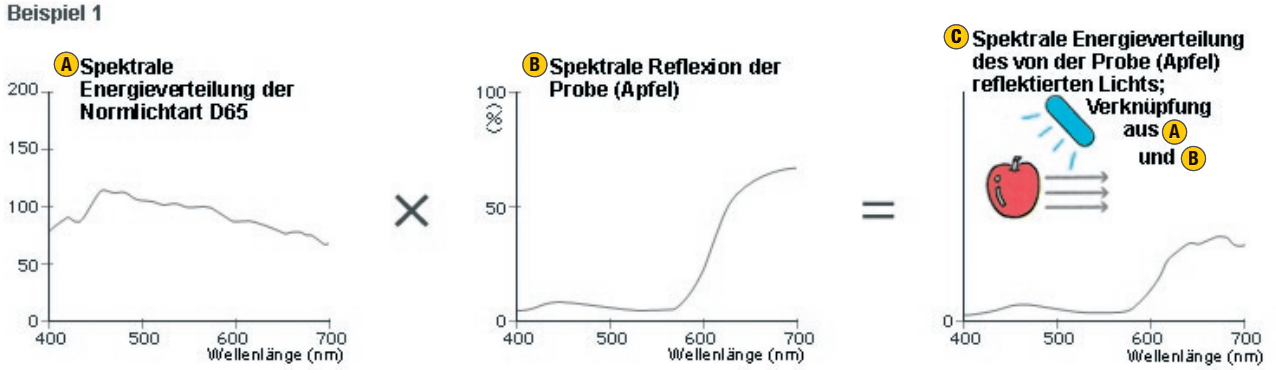
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

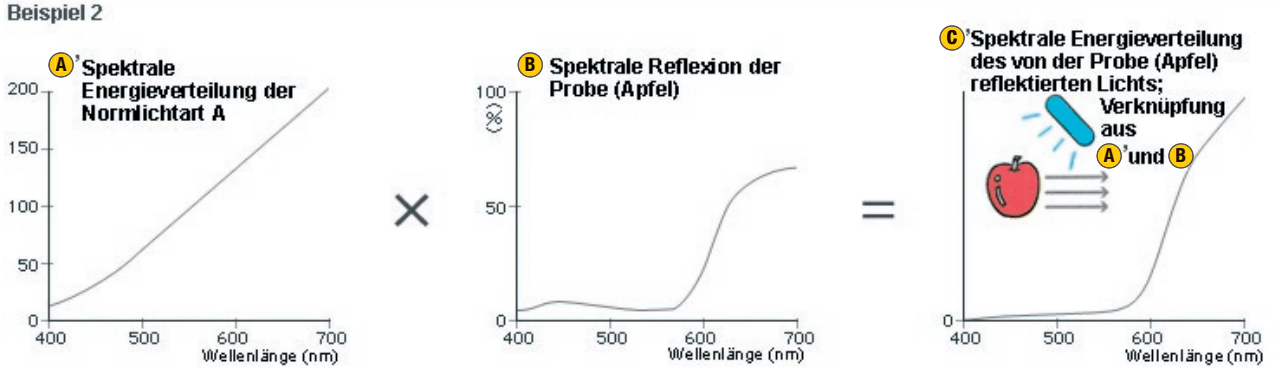
Schauen wir uns an, was passiert, wenn die Farbe unseres Objekts (Apfel) mit einem Spektralphotometer unter Normlichtart (Beispiel 1) und unter Normlichtart A (Beispiel 2) gemessen wird.
Im Beispiel 1 ist die spektrale Energieverteilung der Normlichtart D65 mit (A) gekennzeichnet, und die spektrale Reflexionskurve des Apfels mit (B). Die spektrale Energieverteilung des vom Apfel reflektierten Lichts resultiert aus der Verknüpfung von (A) und (B) und ist als Kurve (C) abgebildet. In Beispiel 2 steht (A)' für die spektrale Energieverteilung der Normlichtart A. Die spektrale Reflexion des Apfels (B) entspricht der Kurve im Beispiel 1, denn sie ist eine von der Lichtquelle unabhängige Materialeigenschaft des Objekts. Die spektrale Energieverteilung des vom Apfel reflektierten Lichts (C)' ergibt sich wiederum aus der Verknüpfung der Kurven (A)' und (B). Beim Vergleich von (C) und (C)' fällt auf, dass in Kurve (C)' der rote Wellenlängenbereich viel stärker ausgeprägt ist. Der Apfel erscheint folglich unter der Normlichtart A (Glühlampenlicht) erheblich röter. Dieses Beispiel bestätigt die allgemeine Erkenntnis, dass sich die Farbe eines Objekts unter verschiedenen Lichtquellen ändert. Ein Spektralphotometer misst direkt die spektrale Verteilung des vom Objekt reflektierten Lichts (spektrale Reflexion der Probe). Unter Benutzung der Daten für die spektrale Energieverteilung der gewählten Lichtart und der Normspektralwertfunktionen errechnet das Gerät die Farbwerte für die verschiedenen Farbsysteme.



Beispiel 1



Beispiel 2



© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

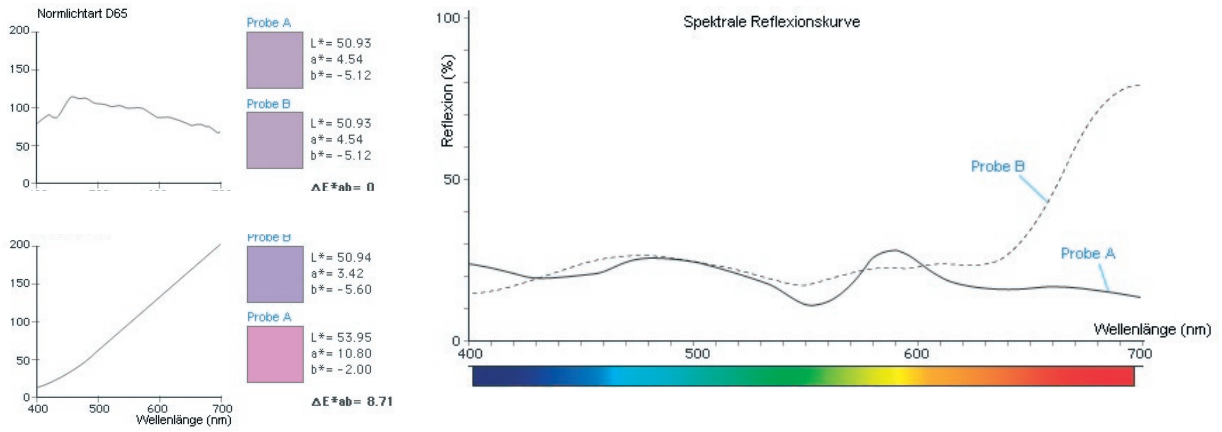
Teil II

Ein Spektralphotometer kommt auch mit den komplexen Phänomenen der Matamerie zurecht.

Wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, hängt das farbliche Aussehen eines Objekts davon ab, unter welcher Beleuchtung es betrachtet wird. Es gibt eine weitere damit zusammenhängende Erscheinung: Zwei Objekte wirken beispielsweise bei Tageslicht gleichfarbig, in einem Raum mit Glühlampenlicht zeigen sich jedoch Farbunterschiede. Dieses Phänomen, dass zwei Farben unter der einen Lichtquelle gleich aussehen und bei einer anderen Lichtart Farbunterschiede zeigen, nennt man Metamerie. Solche metamere Objekte haben unterschiedliche spektrale Reflexionskurven, deren Integrale sich bei der einen Lichtart zu gleichen Farbwerten summieren, im anderen Fall zu verschiedenen. Die Ursache hierfür liegt oft in der Verwendung unterschiedlicher Pigmente oder Materialien.
In Abb. 23 sind die deutlich verschiedenen spektralen Reflexionskurven zweier Proben dargestellt. Trotzdem sind die gemessenen L*a*b*-Werte unter Normlichtart für beide Proben gleich. Bei Normlichtart A hingegen ergeben sich verschiedene Messwerte. Daran erkennen wir, dass die beiden Proben von unterschiedlicher spektraler Charakteristik sind, bei Tageslicht (Normlichtart D_{65}) aber gleich aussehen.
Wie kommen wir nun mit diesem Phänomen zurecht? Um Metamerie festzustellen, muss man Objekte unter mindestens zwei Lichtquellen mit deutlich verschiedenen spektralen Energieverteilungen messen (zum Beispiel unter den Normlichtarten D_{65} und A). Im Dreibereichsmessgerät bzw. Spektralphotometer ist zwar nur eine einzige Lichtquelle eingebaut, mit Hilfe der gespeicherten Daten können die Messwerte aber auf andere Lichtarten umgerechnet werden.
Die Farbmessgeräte, die nach der Dreibereichsmethode arbeiten, können generell nur in den Normlichtarten C und D_{65} messen. Beide Lichtarten entsprechen Tageslicht und haben sehr ähnliche spektrale Energieverteilungen, weshalb sich Metamerie damit nicht feststellen läßt. Das Spektralphotometer jedoch verfügt über die spektralen Energieverteilungsdaten einer Vielzahl von verschiedenen Lichtarten und erkennt somit Metamerie. Zudem erlaubt die grafische Darstellung der spektralen Reflexionskurven eine genaue Analyse darüber, wie sich die beiden Farben in ihrer spektralen Zusammensetzung unterscheiden.

Die abgebildeten Farben in dieser Broschüre können bedingt durch das Druckverfahren von den angegebenen Farbweiten abweichen.

Abb. 23



© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil II

Aussattungsmerkmale eines Spektralphotometers

Die Abbildung zeigt das Minolta Spectrophotometer CM-2002.

Die Spektralphotometer von Minolta bieten eine Vielzahl von Funktionsmerkmalen und eine hohe Genauigkeit.

Beleuchtungsbedingungen

Daten für verschiedenste CIE–Normlichtarten sind gespeichert, damit die Messwerte auf eine Vielzahl von Lichtquellen bezogen werden können.

Datenspeicher

Die Messergebnisse werden sofort nach der Messung automatisch gespeichert.

Datenübertragung

Die serielle Standard-Schnittstelle RS-232C kann zur Datenausgabe oder zur Steuerung des Spektrophotometers benutzt werden.

Grafikdisplay für Spektralkurven

Die Messresultate können als spektrale Reflexionskurven dargestellt werden.

Feste Beleuchtungs- und Betrachtungswinkel

Die feste Geometrie von Beleuchtung und Betrachtung sorgt für konstante Messbedingungen.

Spektralsensor

Der Spektralsensor besteht aus einer Vielzahl von Segmenten, die jeweils das Licht in kleinen Wellenlängenbereichen mit hoher Genauigkeit messen.

Farbsysteme

Die Messergebnisse können numerisch in vielen verschiedenen farbmetrischen Systemen, wie beispielsweise Yxy, L*a*b* oder Hunter Lab angezeigt werden.

Bestimmung von Farbabweichungen

Die Abweichung zu einer Bezugsfarbe kann gemessen und sofort in Zahlenwerten oder als Spektralkurve angezeigt werden.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

KONICA MINOLTA

EXAKTE FARBKOMMUNIKATION

Teil III

Wissenswertes über die Kriterien eines Spektralphotometers

Die Grundlagen der Farbmetrik und Farbmesstechnik wurden im **Teil I** und **Teil II** erläutert und es wurde deutlich, dass Spektralphotometer eine Vielzahl von Möglichkeiten bieten, eine Farbe unter verschiedenen Gesichtspunkten zu beurteilen.
In diesem Abschnitt werden die Kriterien, die für die richtige Auswahl des geeigneten Spektralphotometers von Bedeutung sind, beschrieben.

Inhalt

- Vergleich zwischen Farbmessgeräten und Spektrophotometern
- Farbe und Glanz (SCE und SCI Methode)
- Die Messung spezieller Farben
- Beeinflussung des Messergebnisses durch Probenbeschaffenheit und Temperatur

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil III

Vergleich zwischen Farbmessgeräten und Spektralphotometern

Das Dreibereichsfarbmessgerät wird hauptsächlich zur Farbdifferenzmessung in der Produktion und im Prüflabor eingesetzt.

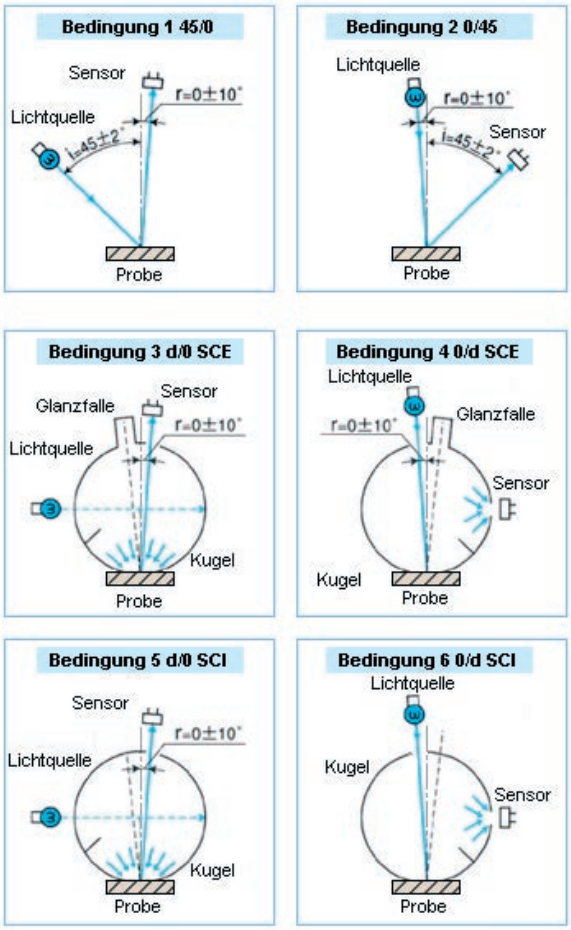
Das Spektrophotometer findet seinen Einsatz bei hochgenauen Farbbeurteilungen im Bereich der Qualitätssicherung, Forschung und Entwicklung, zur Farbrezeptberechnung und bei Farb-Managementaufgaben.

Wie schon in **Teil II** beschrieben wurde, zeichnen sich Dreibereichsfarbmessgeräte durch einfachste Bedienung, Portabilität und kleine Abmessungen verbunden mit geringen Anschaffungskosten aus. Tristimuluswerte können mit dem Dreibereichsgerät einfach bestimmt werden. Zur Durchführung komplexer Farbanalysen wie Metamerie und Farbstärkeberechnungen ist das Dreibereichsverfahren jedoch nicht geeignet.
Ein Spektrophotometer zeichnet sich durch hohe Messgenauigkeit und Vielseitigkeit aus. Durch die Messung der spektralen Reflexionswerte sind hier weitere komplexe farbmetrische Auswertungen möglich. Spektrophotometer können jedoch wesentlich teurer sein als Farbmessgeräte. Die erforderliche Messgenauigkeit und Vergleichbarkeit der Werte sollte bei der Entscheidung für das Dreibereichs– oder Sprektralverfahren berücksichtigt werden.

Messgeometrien

Wie schon im Teil I–2 erläutert, ist die Farbe eines Objektes abhängig von den Beobachtungsbedingungen, dem Beobachtungswinkel und dem Beleuchtungswinkel. Der Winkel (oder Winkelbereich), unter dem die Probe beleuchtet, und der Winkel, unter dem die Probe betrachtet wird, findet bei einem Farbmessgerät seine Beschreibung in dem Begriff „Messgeometrie“.

Abb. 24



Messgeometrie mit gerichteter Beleuchtung

Bei dieser Methode wird die Probe mit gerichtetem Licht beleuchtet. Mit der Geometrie 45/0 findet die Beleuchtung unter einem Winkel von 45±2 Grad zur Normalen statt und das von der Probe reflektierte Licht wird unter 0 ±10 Grad (Normale) vom Sensor erfasst. Mit der Geometrie 0/45 findet die Beleuchtung unter einem Winkel von 0 ±10 Grad (Normale) statt und das von der Probe reflektierte Licht wird unter 45 ±2 Grad zur Normalen vom Sensor erfasst.

Messgeometrie mit diffuser Beleuchtung (Kugelgeometrie)

Diese Methode benutzt eine Ulbrichtische Kugel zur gleichmässigen Beleuchtung oder Betrachtung der Probe aus allen Raumrichtungen. (Eine Ulbrichtische Kugel ist ein kugelförmiges Gebilde, dessen innere Oberfläche mit einem weissen Material wie z.B. Bariumsulfat beschichtet ist und dadurch für eine gleichmässig diffuse Streuung des Lichtes sorgt). Ein Gerät mit der d/0 Geometrie beleuchtet die Probe mit diffusem Licht und empfängt das Licht unter einem Winkel von 0 Grad. Ein Gerät mit der Geometrie 0/d beleuchtet die Probe unter 0 Grad und empfängt das von der Probe in alle Richtungen reflektierte Licht. Mithilfe der SCE/SCI – Funktion kann das Licht aus ±5 Grad in das Messergebnis eingeschlossen oder ausgeschlossen werden.

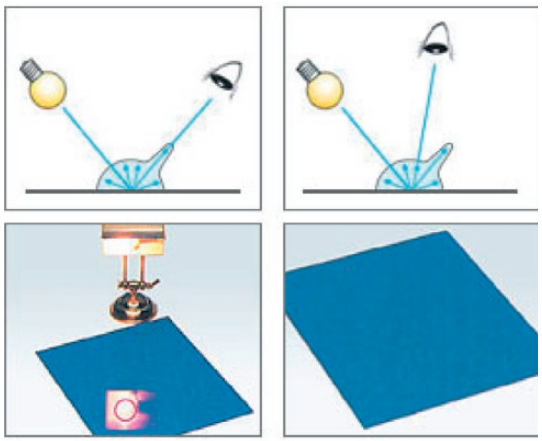
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil III

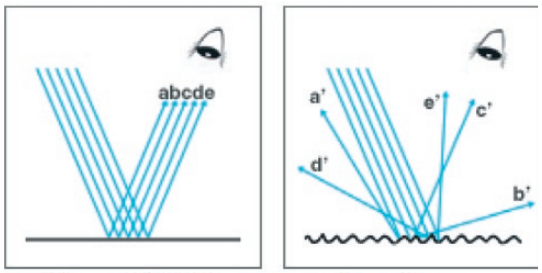
Farbe und Glanz (SCE und SCI Methode)

Auch wenn die Proben aus dem gleichen Material hergestellt wurden, wird die Farbe in Abhängigkeit zum Glanz der Oberflächen unterschiedlich wahrgenommen.
Ein Beispiel: Warum erscheint eine Farbe stumpfer (grauer), nachdem die Oberfläche einer glänzenden blauen Probe mit einem Sandpapier bearbeitet wurde?

Bei Proben mit einer glänzenden Oberfläche ist der gerichtete Anteil der Reflexion relativ hoch, dafür aber der diffuse Anteil umso geringer. Rauhe Oberflächen mit geringem Glanz bewirken einen hohen Anteil an diffuser Reflexion und nur einen geringen Anteil an gerichteter Reflexion. Wenn ein Betrachter eine blaue glänzende Kunststoffoberfläche im Reflexionswinkel betrachtet, erscheint die Farbe nicht als Blau. Die Spiegelung der Lichtquelle addiert sich zur farbigen Reflexion der Probe. Gewöhnlicherweise wird der Betrachter einen Beobachtungswinkel außerhalb des Glanzwinkels wählen, um die Farbe korrekt beurteilen zu können. Genauso muss bei einer Farbmessung die gerichtete Reflexion ausgeschlossen und nur die diffuse Reflexion zur Beurteilung herangezogen werden. Die Farbe kann dabei je nach Glanzgrad und dadurch resultierendem diffusen Reflexionsanteil unterschiedlich erscheinen.



Daraus ergibt sich, dass eine Farbe unterschiedlich wahrgenommen wird, wenn sich die Oberflächeneigenschaften der Probe ändern, da das Auge nur den diffusen Lichtanteil sieht. Eigentlich sollte sich die Farbe doch nicht ändern, wenn das Material das Gleiche geblieben ist. Wie können wir die Eigenfarbe des Materials ohne Oberflächeneinfluss erkennen?



Diese Abbildungen zeigen dass
a + b + c + d + e = a' + b' + c' + d' + e'.

Das Verhältnis der gerichteten Reflexion zu der diffusen Reflexion ist abhängig von der Oberfläche des Objektes. Die Gesamtmenge des reflektierten Lichtes ist jedoch immer gleich, solange Material und Pigmentierung gleich bleiben. Deshalb steigt der diffuse Anteil und sinkt der gerichtete Anteil der Reflexion, wenn ein vorher glänzendes blaues Kunststoffteil geschmirgelt wird. Daher sollte in diesem Fall die Gesamtreflexion (diffus und gerichtet) gemessen werden.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil III

Die Position der Glanzfalle in den Bedingungen 3 (SCE) und 4 (SCE), gezeigt in Abb. 24 in Teil III-1, macht deutlich, wie die gerichtete Reflexion bei der Farbmessung ausgeschlossen wird. Wenn diese Glanzfalle durch eine weiße Platte ersetzt wird (wie unter den Bedingungen 5 (SCI) und 6 (SCI) gezeigt), dann findet die Farbmessung unter Einschluss der gerichteten Reflexion statt. Die Methode der Farbmessung unter Ausschluss der gerichteten Reflexion wird als SCE (Specular Component Excluded) und die unter ihrem Einschluss (mittels einer weißen Platte) als SCI (Specular Component Included) bezeichnet.
Im SCE Modus wird der gerichtete Anteil der Reflexion ausgeschlossen und nur der diffuse Anteil gemessen. Dies führt zu einer Farbbewertung, die der entspricht, wenn ein Beobachter eine Probe beurteilt.
Im SCI Modus werden diffuse und gerichtete Reflexion gleichzeitig gemessen. Diese Methode der bewertet die Farbe unabhängig vom Oberflächenzustand des Materials.
Diese Kriterien müssen bei der Auswahl eines Messgerätes gründlich überlegt werden. Einige Geräte können jedoch SCI und SCE simultan messen.

Die SCE-Methode bestätigt den visuellen Farbeindruck, wenn Urmuster und Probe in der Produktionskontrolle verglichen werden.

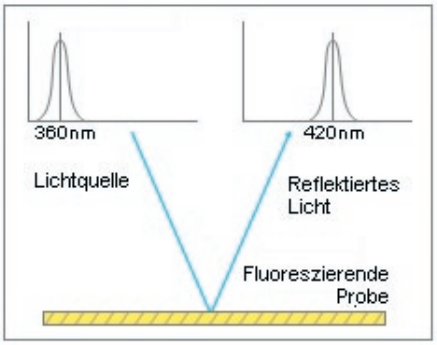
Die SCI-Methode eignet sich besonders zur Bestimmung der der Materialfarbe im Rahmen einer Farbrezeptberechnung.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil III

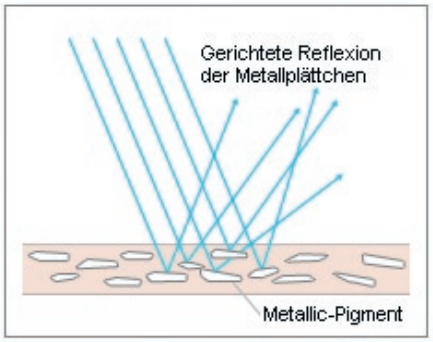
Messung spezieller Farben

Fluoreszierende Farben



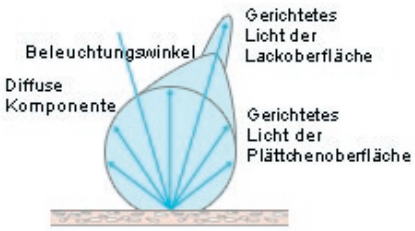
Fluoreszenzfarben scheinen zu leuchten, obwohl sie tatsächlich keine Lichtquelle darstellen. Wenn Licht auf ein fluoreszierendes Material fällt, wird ein Teil der Strahlung absorbiert und in einem anderen Wellenlängenbereich (normalerweise bei grösserer Wellenlänge) als sichtbares Licht wieder emittiert. Wie schon im Teil II-2 erläutert, besteht das sichtbare Licht aus elektromagnetischer Strahlung im Bereich von 380 nm bis 780 nm. Wenn z.B. eine Strahlung bei 360 nm absorbiert und bei 420 nm wieder emittiert wird, dann ist der Messwert bei 420 nm grösser als 100%. Da mehr als die erwartete Lichtmenge sichtbar wird, erscheint die Farbe wie selbstleuchtend. Zur Messung nicht fluoreszierender Farben kann das Material mit monochromatischem oder polychromatischem Licht beleuchtet werden – d.h. der Monochromator befindet sich zwischen Lichtquelle und Probe oder zwischen Probe und Sensor. Bei der Messung fluoreszierender Farben ist es unbedingt notwendig, dass die Probe mit polychromatischem Licht beleuchtet wird, welches das gesamte Spektrum umfasst. Wenn mit einem Spektrophotometer eine fluoreszierende Farbe gemessen werden soll, muss die spektrale Energieverteilung der Lichtquelle einschliesslich des UV-Bereiches kontrolliert und kalibriert werden.

Metallic-Farben



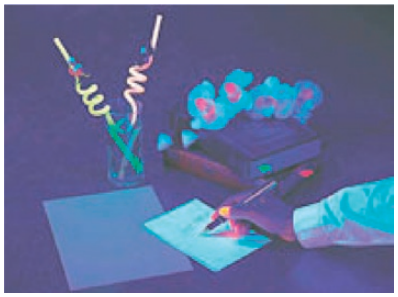
Bei vielen Beschichtungen, speziell im Automobilbereich, werden Metallic-Pigmente in Kombination mit Buntpigmenten eingesetzt, um einen richtungsabhängigen, besonders farbenprächtigen Farbeffekt zu erzielen. Metallicbeschichtungen reflektieren das Licht in verschiedenen Winkeln abhängig von der Ausrichtung der Metallplättchen. Abb. 25 zeigt den Zusammenhang zwischen diffuser und gerichteter Reflexion an einer Metallic-Beschichtung. Die Farbe wird von einem Metallicteilchen in einem anderen Winkel reflektiert als die diffuse Reflexion, so dass auch das menschliche Auge die Farbe abhängig vom Betrachtungswinkel wahrnimmt. Bei einem Winkel nahe des Glanzwinkels der Plättchen ist die Farbe besonders hell. Bei einem Winkel fernab des Glanzwinkels ist nur die Farbe der Buntpigmente zu sehen (Farbton- und/oder Helligkeitsflop). Im Allgemeinen sollte zur Messung von Metallics ein Spektrophotometer verwendet werden, das die Farbe unter mehreren Winkeln misst.

Abb. 25



© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil III



Schwarzlicht und fluoreszierendes Material

Weiße Socken und Hemden leuchten, obwohl der Raum dunkel oder nur mit einem schwachen, violetten Licht beleuchtet ist. Haben Sie das schon gesehen?

Dieser Raum wird mit einer Lichtquelle beleuchtet, die man Schwarzlicht nennt. Schwarzlicht ist eine Beleuchtung, die hauptsächlich Wellenlängen außerhalb des sichtbaren Bereichs nutzt. Dieses Licht wird in Diskotheken oder zur Erkennung fluoreszierender Markierungen eingesetzt. Tatsächlich wird hier Strahlung im UV-Bereich ausgesandt. Den Materialien wurde ein Fluoreszenzfarbstoff hinzugefügt, der im UV-Bereich absorbiert und im sichtbaren Wellenlängenbereich wieder aussendet. Das Material scheint unter dem Einfluss von Schwarzlicht zu leuchten.
Ein Material erscheint dann in weißer Farbe, wenn es bei allen sichtbaren Wellenlängen annähernd 100% reflektiert. Bei geringerer Reflexion im blauen Wellenlängenbereich erscheint das Weiss leicht gelblich. Deshalb wird in vielen Fällen ein fluoreszierendes Material (optischer Aufheller) zugefügt. Dieser optische Aufheller erhöht die Reflexion im blauen Bereich, das Material erscheint dadurch weißer. Das Ergebnis: Ein weisses Hemd beginnt zu leuchten, wenn es mit Schwarzlicht bestrahlt wird – und unter Tageslicht ist es reinweiß ohne Spur einer Vergilbung. Wenn weisse Bekleidung wiederholt gewaschen wurde, vergilbt sie im Laufe der Zeit. Sie wurde nicht mit gelber Farbe verschmutzt, sondern der optische Aufheller wurde allmählich ausgewaschen und die Originalfarbe kam wieder zum Vorschein. Deshalb ist es üblich, vergilbter Kleidung durch Behandlung mit aufhellerhaltigem Waschmittel wieder ein strahlendes Weiß zu verleihen.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil III

Probenbeschaffenheit und Temperatur

Temperaturcharakteristika von BCRA Kacheln nach einer Temperaturänderung von 10 °C (ΔE*ab)

	ΔE*ab
Weiß	0.01
Hellgrau	0.02
Mittelgrau	0.05
Diff.-Grau	0.05
Dunkelgrau	0.05
Pink	0.60
Orange	1.52
Rot	1.32
Gelb	0.92
Grün	0.92
Diff.-Grün	0.91
Cyan	0.46
Dunkelblau	0.17
Schwarz	0.02

Entsprechend Konica Minolta Testbedingungen

Pulver/Granulate

Bei der Messung von Pulvern mit einem Spektrophotometer ist der Messwert von der Verdichtung und der Oberfläche abhängig. Um Fehler zu vermeiden, müssen einige Punkte beachtet werden. Die Behälter (z.B. Glasküvetten) müssen immer desselben Typs, die Füllhöhe und Verdichtung des Pulvers konstant und die Oberfläche glatt und vergleichbar sein.
Bei hoher Korngrösse wird empfohlen, ein Spektrophotometer mit einer grossen Messöffnung zu verwenden. Die Messoberfläche wird dadurch gemittelt mit dem Ergebnis reproduzierbarer Messwerte.

Halbtransparente Materialien

Bei halbtransparenten Materialien geht das Licht teilweise durch die Schicht und wird vom Hintergrund mehr oder weniger reflektiert. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass der Hintergrund einen grossen Einfluss auf das Messergebnis haben kann. Durch Erhöhung der Schichtdicke kann dieser Einfluss minimiert werden. Auch sorgt ein opakes weißes Hintergrundmaterial für konstante Ergebnisse.

Materialien mit Oberflächenstruktur

Oberflächen mit Struktur und Mustern führen bei kleiner Messöffnung zu schlecht reproduzierbaren Messergebnissen. Deshalb sollte die grösstm&oumlgliche Messblende verwendet werden. Über eine Mehrfachmessung an verschiedenen Orten der Oberfläche und eine anschliessende Mittelwertsbildung lässt sich die Messgenauigkeit deutlich erhöhen.

Einfluss der Temperatur

Bei manchen Materialien hat eine Temperaturänderung auch eine Änderung der Farbe zur Folge.
Dieses Phänomen wird als Thermochromie bezeichnet. Zur Durchführung genauer Farbmessungen müssen Proben und Messgerät eine konstante definierte Temperatur aufweisen, am besten durch Aufbewahrung in einem Raum mit konstantem Klima.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

KONICA MINOLTA

EXAKTE FARBKOMMUNIKATION

Teil IV

Farbsysteme

Mehr über die Begriffe, Standards und Farbsysteme, die in diesem Dokument vorkommen.

Inhalt

- 2°–Normalbetrachter und 10°–(Großfeld–)–Normalbetrachter / Augenempfindlichkeitskurven
- Normfarbwerte XYZ (CIE 1931) / Normfarbwerte X_{10}, Y_{10}, Z_{10} (CIE 1964)
- Normfarbwertanteile xyz / Normfarbtafel xy und X_{10}, Y_{10}
- Farbsystem L*a*b* / Gleichabständiger Farbraum
- Farbsystem L*C*h
- Hunter–Lab–Farbsystem / Munsell–Farbsystem
- Farbsystem L*u*v*
- UCS–Farbtafel CIE 1976 / CIE Farbabstandsformat ⊿E*94 (CIE 1994)
- Unterschied zwischen Objektfarbe und Lichtfarbe ··· II
- Unterschied zwischen Objektfarbe und Lichtfarbe ··· II

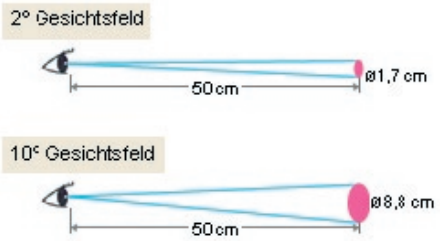
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

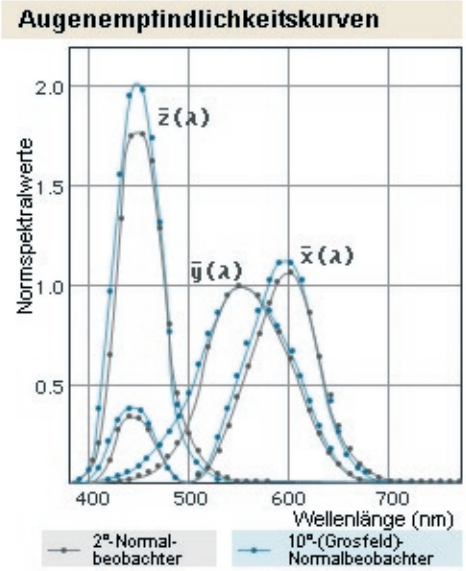
Teil IV

Farbsysteme

2°-Normalbeobachter und 10°-(Großfeld)-Normalbeobachter

Die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges ist vom Blickwinkel und damit von der Objektgröße abhängig. Die CIE legte 1931 die Spektralwertfunktionen mittels Farbbeurteilung von kleinen Proben fest, die ein Gesichtsfeld von 2° ausfüllten. Deshalb die Bezeichnung 2° Normalbeobachter. 1964 definierte die CIE eine zusätzliche Norm mit Bezug auf ein größeres Gesichtsfeld als 10°-(Großfeld-)Normalbeobachter. Zum Vergleich: Bei einem Abstand von 50 cm erfaßt das Auge mit 2° Blickwinkel eine Kreisfläche mit 1,7 cm Durchmesser, mit 10° Blickwinkel beträgt der Durchmesser bei gleichem Abstand 8,8 cm. Die meisten Angaben in dieser Broschüre beziehen sich auf den 2°-Normalbeobachter, der für Gesichtfelder zwischen 1° und 4° benutzt werden sollte. Den 10°-Normalbeobachter wendet man für Gesichtsfeldgrößen über 4° an.





Augenempfindlichkeitskurve

Diese Kurven, die als Normspektralwertfunktion bezeichnet werden, geben die Stärke des Farbreizes als Funktion der Wellenlänge über ein energiegleiches Spektrum an. Die drei voneinander unabhängigen Kurven im Rot-, Grün- und Blaubereich stellen eine möglichst allgemeingültige Nachbildung der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges dar und sind jeweils für den 2°- und den 10°-Normalbeobachter definiert.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

Normfarbwerte XYZ (CIE 1931)

Die Normfarbwerte basieren auf den 1931 von der CIE festgelegten Spektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ und werden auch 2° Normfarbwerte XYZ genannt. Sie lassen sich für Blickwinkel bis 4° anwenden und sind für nicht selbst leuchtende Flächen (Körperfarben) durch folgende Formeln festgelegt:

$$X = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{x}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Y = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Z = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{z}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda)}$$

dabei bedeuten
$S(\lambda)$: Relative spektrale Energieverteilung der Beleuchtung (Strahlungsfunktion)
$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: Spektralwertfunktionen für den 2°-Normalbeobachter (CIE 1931)
$R(\lambda)$: Spektrale Reflexion der Probe

Normfarbwerte X_{10} Y_{10} Z_{10} (CIE 1964)

Die Normfarbwerte basieren auf den 1964 von der CIE festgelegten Spektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ und werden auch 10° Normfarbwerte XYZ genannt. Sie lassen sich für größere Blickwinkel als 4° anwenden und sind für nicht selbst leuchtende Flächen (Körperfarben) durch folgende Formeln festgelegt:

$$X_{10} = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Y_{10} = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Z_{10} = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)d(\lambda)}$$

dabei bedeuten
$S(\lambda)$: Relative spektrale Energieverteilung der Beleuchtung (Strahlungsfunktion)
$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: Spektralwertfunktionen für den 10°-(Großfeld)-Normalbeobachter (CIE 1964)
$R(\lambda)$: Spektrale Reflexion der Probe

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

Normfarbwertanteile xyz

Die Normfarbwertanteile xyz lassen sich auf folgende Weise von den Normfarbwerten XYZ ableiten:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

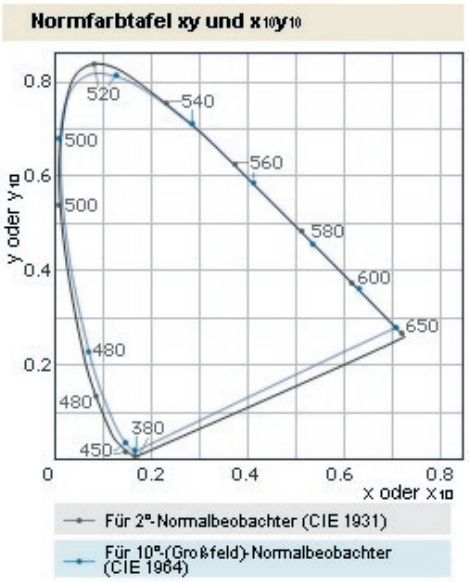
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

Werden in obige Formeln die 10° Normfarbwerte X_{10}, Y_{10}, Z_{10} eingesetzt, ergeben sich die Normfarbwertanteile x_{10} y_{10} z_{10}.

Normfarbtafel xy y $x_{10}y_{10}$

Zweidimensionales Diagramm, in das sich die Normfarbwertanteile als Koordinaten xy bzw. $x_{10}y_{10}$ eintragen lassen.



© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

Farbsystem L*a*b*

Das L*a*b* Farbsystem (auch CIELAB Farbsystem genannt) stellt einen der gleichabständigen Farbräume dar, die 1976 von der CIE definiert wurden. Für die Werte L*, a* und b* gelten folgende Formeln:

Helligkeitswert L*:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Yn}\right)^{1/3} - 16$$

Farbkoordinaten a* und b*:

$$a^* = 500\left[\left(\frac{X}{Xn}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Yn}\right)^{1/3}\right]$$

$$b^* = 200\left[\left(\frac{Y}{Yn}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Zn}\right)^{1/3}\right]$$

dabei bedeuten

$$\frac{Y}{Yn} > 0.008856$$

$$\frac{X}{Xn} > 0.008856$$

$$\frac{Z}{Zn} > 0.008856$$

X, Y, Z:
Normfarbwerte XYZ der Probe (für 2°-Normalbeobachter) oder X_{10}, Y_{10}, Z_{10} (für 10°-Normalbeobachter) der Probe

Xn, Yn, Zn:
Normfarbwerte XYZ (für 2°-Normalbeobachter) oder X_{10}, Y_{10}, Z_{10} (für 10°-Normalbeobachter) eines vollkommen mattweißen Körpers

Ist der Quotient X/Xn, Y/Yn oder Z/Zn kleiner als 0,008856, gelten statt den obigen Formeln die folgenden Gleichungen:

$$\left(\frac{X}{Xn}\right)^{1/3} \longrightarrow 7.787\left(\frac{X}{Xn}\right) + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Y}{Yn}\right)^{1/3} \longrightarrow 7.787\left(\frac{Y}{Yn}\right) + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Z}{Zn}\right)^{1/3} \longrightarrow 7.787\left(\frac{Z}{Zn}\right) + \frac{16}{116}$$

Gleichabständiger Farbraum

Ein Farbraum, in dem eine bessere Übereinstimmung zwischen den geometrischen und den empfundenen Farbabständen erreicht wird.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

Der Farbabstand ΔE^*ab im L*a*b* Farbraum gibt nur den Betrag der Farbabweichung an, nicht aber die Richtung:

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

dabei bedeuten
ΔL^*, Δa^*, Δb^*: Differenzen der L*, a* und b* Werte zwischen Probenfarbe und Bezugsfarbe.

Farbsystem L*C*h*

Dem L*C*h-System liegt das gleiche Diagramm wie dem L*a*b*-System zugrunde, es werden jedoch Polarkoordinaten benutzt. Der Helligkeitswert L* ist bei beiden Systemen identisch, die Buntheit C* und der Farbtonwinkel h ergeben sich aus folgenden Formeln:

$$\text{Metric Chroma}: C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Metric Hue-Angle}: h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ (degree)}$$

dabei bedeuten
a*, b*: Farbkoordinaten im L*a*b* Farbraum

Beim Messen von Farbabweichungen wird nicht die Winkeldifferenz Δh angegeben, sondern die Farbtondifferenzstrecke ΔH^*, die sich so berechnet:

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*ab)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L^* - L^*t$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} - \sqrt{(a^*t)^2 + (b^*t)^2} = C^* - C^*t$$

Das Vorzeichen von ΔH^* ist positiv, wenn der Farbtonwinkel h der Probe größer ist als der des Bezugsobjekts; es ist negativ, wenn der Farbtonwinkel h der Probe kleiner ist als der des Bezugsobjekts.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

Espacio de color de Hunter Lab

Das Hunter-Lab-Farbsystem wurde 1948 von R. S. Hunter entwickelt. Die Werte des gleichabständigen Farbraums konnten direkt von einem lichtelektrischen Dreibereichs-Farbmessgerät abgelesen werden. Folgende Formeln gelten für die Werte dieses Farbsystems:

$$L = 100\left(\frac{Y}{Y_o}\right)^{1/2}$$

$$a = 175\left[\frac{0.0102X_o}{(Y/Y_o)}\right]^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{X}{X_o}\right) - \left(\frac{Y}{Y_o}\right)\right]$$

$$b = 70\left[\frac{0.00847Z_o}{(Y/Y_o)}\right]^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_o}\right) - \left(\frac{Z}{Z_o}\right)\right]$$

dabei bedeuten
X, Y, Z: Normfarbwerte der Probe (die 10°-Normfarbwerte X_{10}, Y_{10}, Z_{10} können ebenfalls verwendet werden.)
X0, Y0, Z0: Normfarbwerte eines vollkommen mattweißen Körpers

Für 2°-Normalbeobachter und Normlichtart C ergeben sich folgende Formeln:

$$L = 10Y^{1/2}$$

$$a = \frac{17.5\,(1.02X - Y)}{Y^{1/2}}$$

$$b = \frac{7.0\,(Y - 0.847Z)}{Y^{1/2}}$$

Der Farbabstand ΔE_H im Hunter-Lab-Farbraum, der nur den Betrag und nicht die Richtung der Farbdifferenz angibt, errechnet sich wie folgt:

$$\Delta E_H = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Munsell-Farbsystem

Das Munsell-Farbsystem erlaubt den visuellen Farbvergleich zwischen der Probe und zahlreichen Referenzfarben, die systematisch auf Farbtafeln angeordnet sind. Die Farbkennzeichnung setzt sich aus den Munsell-Werten Hue (H für Farbton), Value (V für Helligkeit) und Chroma (C für Buntheit) zusammen und wird in der Schreibweise „H V/C“ angegeben.

Zum Beispiel ergibt sich aus H=5,0R, V=4,0 und C=14,0 folgendes Munsell-Farbkennzeichen: 5.0R 4.0/14.0

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

Farbsystem L*u*v*

Das L*u*v* Farbsystem (auch CIELUV Farbsystem genannt) stellt einen der gleichabständigen Farbräume dar, die 1976 von der CIE definiert wurden. Für die Werte L*, u*, and v* gelten folgende Formeln:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_o}\right)^{1/3} - 16 \quad \text{when } \frac{Y}{Y_o} > 0.008856$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_o) \quad v^* = 13L^*(v' - v'_o)$$

dabei bedeuten
Y: Normfarbwert Y (der 10°-Normalfarbwert Y_{10} kann ebenfalls verwendet werden.)
u‘, v‘: Farbkoordinaten der UCS-Farbtafel (CIE 1976)
Yo, u‘o, v‘o: Normfarbwert Y (bzw.Y_{10}) und die Farbkoordinaten u‘, v‘ eines vollkommen mattweißen Körpers.

Der Farbabstand ΔE^*uv im L*u*v* Farbraum gibt nur den Betrag der Farbabweichung an, nicht aber die Richtung:

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2}$$

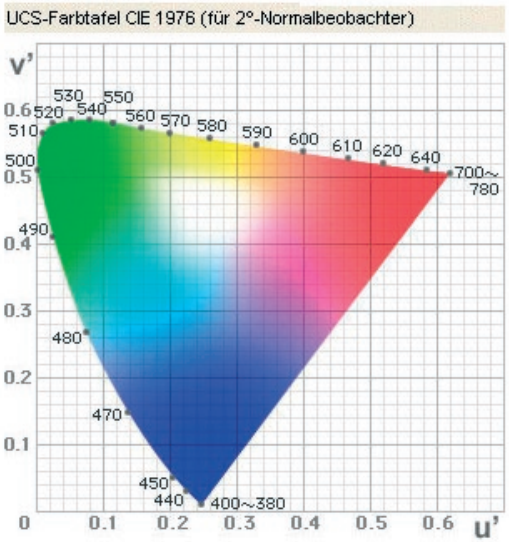
dabei bedeuten
ΔL^*, Δu^*, Δv^*: Differenzen der L*, u* und v* Werte zwischen Probenfarbe und Bezugsfarbe.

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Farbsysteme

UCS-Farbtafel CIE 1976



Die CIE-UCS-Farbtafel wurde 1976 von der CIE festgelegt, um eine bessere empfindungsgemäße Gleichabständigkeit für Farben ähnlicher Leuchtdichte zu erreichen. Die Werte für u‘ und v‘ lassen sich aus den Normfarbwerten XYZ (oder X_{10}, Y_{10}, Z_{10}) oder auch aus den Normfarbwertanteilen xy berechnen:

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

dabei bedeuten
X, Y, Z:
Normfarbwerte (bei Verwendung von X_{10}, Y_{10}, Z_{10} erhält man u‘10 und v‘10.)
x, y:
Normfarbwertanteile (bei Verwendung von x10 y10 erhält man u‘10 and v‘10.)

Die Farbabstandsformel ⊿E*94

Bei der Entwicklung dieser Farbabstandsformel wurde berücksichtigt, dass die Farben im L*a*b* Farbraum nicht ideal gleichmäßig verteilt sind. Durch farbraumabhängige Wichtungsfaktoren sowohl der Helligkeit als auch von Buntton und Buntheit konnte eine verbesserte Gleichabständigkeit erzielt werden. Die Formel wurde 1994 vom technischen Komitee der CIE verabschiedet.

$$\Delta E_{94} = [(\Delta H^*/S_H)^2 + (\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*/S_C)^2]^{1/2}$$

dabei bedeutet

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045C^*$$

$$S_H = 1 + 0.015C^*$$

© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Unterschied zwischen Objektfarbe und Lichtfarbe

Formeln zur Bestimmung der Objektfarbe

$$X = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{x}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Y = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$Z = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{z}(\lambda)R(\lambda)d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda)}$$

Hier
$S(\lambda)$: Relative spektrale Energieverteilung der Beleuchtung (Strahlungsfunktion)
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: Augenempfindlichkeitsfunktionen im XYZ-Farbraum
$R(\lambda)$: Spektrale Reflexion der Probe

Formeln zur Bestimmung der Lichtfarbe

$$X = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda$$
$$Y = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda$$
$$Z = K\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda$$

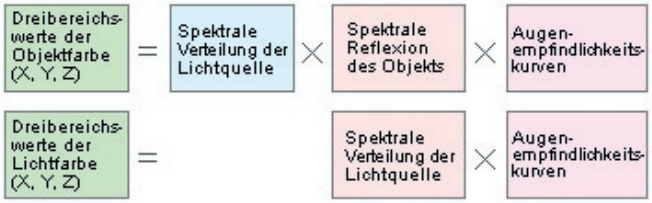
Hier
$S(\lambda)$: Relative spektrale Energieverteilung der Lichtquelle
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: Augenempfindlichkeitsfunktionen im XYZ-Farbraum
K: Normierungsfaktor
(Der Tristimuluswert Y entspricht der Lichtmenge.)

Mit der folgenden Gleichung wird der Absolutwert der gemessenen Lichtmenge bestimmt, wenn $S(\lambda)$ der Absolutwert der Spektralstrahlungsintensität für den XYZ-Farbraum ist.
$K = 683\ lm \cdot w^{-1}$

Diese Broschüre befasst sich überwiegend mit der Bestimmung von Objektfarben. Hier handelt es sich um reflektierende Medien, die zur Entfaltung ihrer Farbe eine fremde Lichtquelle benötigen. Hier soll kurz der Unterschied zwischen Objektfarben und der Farbe von Selbstleuchtern beschrieben werden.

Definition

Drei Basiseigenschaften bestimmen die Farbe eines Objektes: Lichtquelle, Objekt und die Wahrnehmung des Beobachters. Bei der Wahrnehmung einer Lichtfarbe (Selbstleuchter) sind jedoch nur zwei Faktoren maßgebend: Die spektrale Verteilung der Lichtquelle und die Wahrnehmung des Beobachters. Folgende Formeln beschreiben den Zusammenhang:



Zur Messung von Objektfarben ist es notwendig, zuerst die spektrale Verteilung der Lichtquelle zu bestimmen und im Gerät als Wertetabelle zu hinterlegen. Die Objektfarbe ändert sich mit der Art der Lichtquelle.
Bei der Messung von Selbstleuchtern muss die spektrale Verteilung selbst durch die Messung ermittelt werden.

Unterschiede in der Beleuchtungsgeometrie und im optischen Empfänger

Die geometrischen Bedingungen bei der Beleuchtung und beim Empfänger müssen berücksichtigt werden, da sie einen großen Einfluss auf die Objektfarbe haben. Sechs Bedingungen wurden durch die CIE festgelegt (siehe Teil III-1). Diese Bedingungen beziehen sich nicht auf die Messung der Farbe eines Selbstleuchters. Bei Lichtquellen ist die Farbe und Helligkeit oft stark vom Betrachtungswinkel abhängig (z.B. bei LCDs). In diesem Fall ist die Festlegung des Beobachtungswinkels unbedingt notwendig.

Wiedergabe im Farbraum

Es gibt verschiedene übliche Methoden, um eine Lichtquelle numerisch zu beschreiben. Sie beinhalten die xy–Koordinaten, die CIE 1960 UCS Farbintensität (u, v), die CIE 1976 UCS Farbintensität (u*, v*), und die Farbtemperatur.* Auch der Farbraum L*u*v* (CIE LUV) ist gebräuchlich. Es muss jedoch eine Standardlichtquelle bestimmt sein, da der Ursprungspunkt im L*u*v* Farbraum durch einen Standardfarbort festgelegt ist.

* Beachten Sie dazu die Informationen auf der folgenden Seite über die Farbtemperatur einer Lichtquelle.

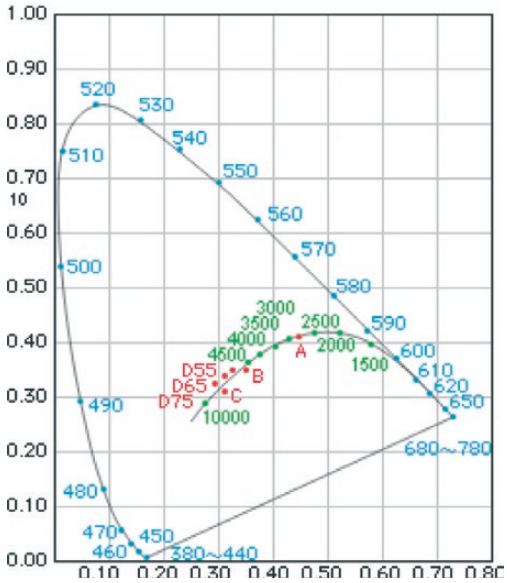
© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.

Teil IV

Unterschied zwischen Objektfarbe und Lichtfarbe

Farbtemperatur

Abb. 26



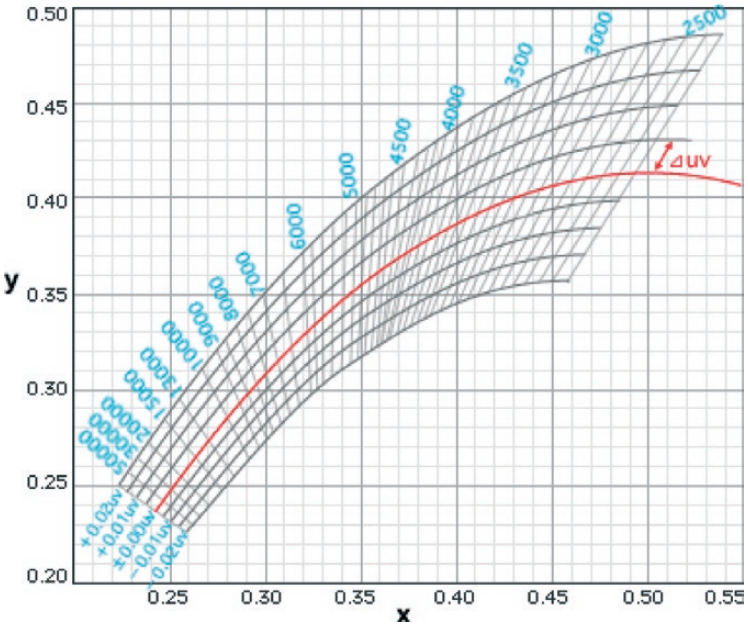
Wenn die Temperatur eines Objektes ansteigt, erhöht sich auch seine thermische Strahlung. Zur gleichen Zeit ändert sich auch seine Farbe von Rot über Orange nach Weiß. Ein schwarzer Körper absorbiert die ganze Energie und sendet Strahlungsenergie aus. Die ausgesandte Energie steht im direkten Verhältnis zur Temperatur des schwarzen Körpers. Die absolute Temperatur wird als Farbtemperatur bezeichnet. Abb. 26 zeigt, dass die Farben alle auf einem Kurvenzug liegen, dem verschiedene Farbtemperaturen zugeordnet sind.

Die korrelierte Farbtemperatur zeigt auf Farborte, die nicht exakt auf dem Kurvenzug liegen. Sie wird durch Bestimmung der ähnlichsten Temperatur auf dem Kurvenzug berechnet, in deren Nähe der Farbort der Lichtquelle liegt. Linien gleicher Temperatur sind Geraden, bei denen alle Farben visuell gleich erscheinen. Die korrellierte Farbtemperatur einer beliebigen Farbe auf der Linie gleicher Temperatur entspricht der Farbtemperatur an jenem Punkt, an dem die Linie gleicher Temperatur den Kurvenzug schneidet.

Der Farbtemperatur-Kurvenzug, die Linien gleicher Temperatur und die Linien mit gleichem ?uv vom Kurvenzug zeigt die Abb. 27. Ein Beispiel: Eine Lichtquelle mit einer Farbdifferenz zum Kurvenzug von 0,01 in Richtung Grün (ΔEuv) nahe einer Farbtemperatur von 7000K wird als korrelierte Farbtemperatur von 7000K + 0,01 angegeben .

Anmerkung
Siehe Abschnitt IV „Farbsysteme“ mit Erklärungen zu (ΔEuv).
„K“ ist die Masseneinheit Kelvin auf der absoluten Temperaturskala.

Abb. 27



© Copyright KONICA MINOLTA SENSING, INC. Alle Rechte vorbehalten.