



Alfred Eichler, Farbmetrik

# Delta-E

## MESSWERTE-

### FARBABSTÄNDE SINNVOLL BEWERTEN

Da die visuelle Farbmusterung stark abhängig vom Betrachter ist, kann eine farbmetrische Kommunikation nur über Andruck- und Referenzmuster vollzogen werden. Eine Lösung bietet hier die instrumentelle Farbmessung.

Damit Farben messtechnisch erfasst und bewertet werden können, benötigt man eine gemeinsame „Sprache“, einen Farbraum, in dem man sich bewegt. Je nach Anwendung sind verschiedene Modelle im Umlauf und mehr oder weniger sinnvoll einzusetzen. Hier sei an die „additive“ und „subtraktive“ Farbmischung erinnert.

## FARBVERGLEICH IM CIELAB-FARBRAUM

### Eine gemeinsame "Sprache" finden

Als Farbwertesystem wird auf das sogenannte Farbmodell zurückgegriffen. Dies entsteht aus dem abstrakten Farbsystem meist dreidimensional für die praktische Darstellung, die unterschiedlicher Form sein kann. Innerhalb der Modelle sind allen Farben eindeutige Zahlenwerte, der Farbort, zugeordnet.

Zur Farbdarstellung wird eine farbgebende Methode, der Farbraum, definiert. Dieser umfasst möglichst alle Farben, die innerhalb des Farbmodells darstellbar sind.

Die tatsächlich realisierbaren Farben eines Farbmodells sind von der Methode abhängig und werden als Farbkörper, auch bekannt als „Gamut“, bezeichnet.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Farbwerte nicht ohne weiteres von einem in einen anderen Farbraum umgerechnet werden können, da deren Farbkörper unterschiedlich

sind. So gibt es zwar online Konverter für RGB zu CMYK oder LAB, aber es handelt sich hier immer um eine bestmögliche Annäherung und um keine 1:1 Umrechnung!

Mehr zu diesem Farbmanagement Thema finden Sie u.a. in unserer Informationsbroschüre:

„**Farbkarten Dolmetscher**“.

Es existieren fünf wesentliche Modelle, die sich weiter einteilen lassen:

**RGB** - Rot, Grün, Blau

**Leuchtdichte plus Farbigkeit**

z.B. YUV, NTSC, PAL

**Farbton und Sättigung**

z.B. HSL/HSV

**CMYK** - Cyan, Magenta, Yellow, Key

**CIE-Tristimulus**

### DER CIELAB-FARBRAUM

Die CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) definierte im Jahre 1931 (CIE 1931) drei Primärfarben, X, Y und Z, um einen dreidimensionalen Farbraum zu beschreiben. (CIE-Farbnormtafel). Ein großer Nachteil des CIEXYZ-Modells: es ist nicht visuell gleichabständig! 1976 wurde daher von der CIE das CIELAB-Modell als Lösung für Körperfarben veröffentlicht.

Der CIELAB-Farbraum ist eine verbesserte Fortführung des CIEXYZ-Modells und lässt sich mathematisch daraus ableiten. Es handelt sich um einen „Messraum“, in dem alle wahrnehmbaren Farben enthalten sind. Er ist auf Grundlage der Gegenfarbentheorie konstruiert.

Im Allgemeinen ist der geräteunabhängige CIELAB Raum akzeptiert, wenn auch das eigentliche Ziel,

einen visuell gleichabständigen Farbraum zu erschaffen, nicht vollständig erfüllt wurde. Im CIELAB-System wird die Farbraumdarstellung durch eine Kugel vollzogen. Im Zentrum dieser Kugel befindet sich der achromatische Punkt (Unbuntpunkt), sozusagen das „neutralest mögliche Grau“. Als Achsenbezeichnungen zur Beschreibung des dreidimensionalen

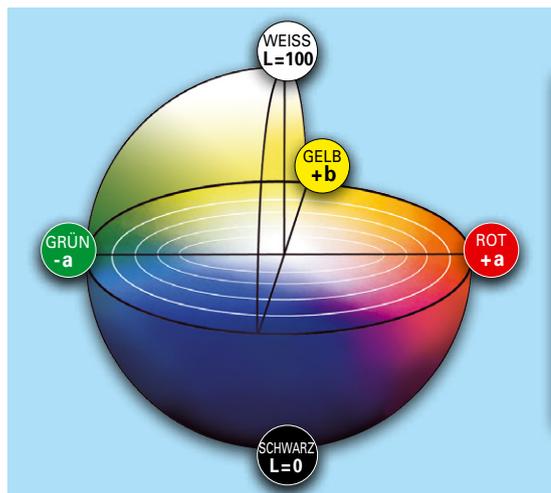
Objektes wurden folgende definiert:

- L** Helligkeitsachse (Luminanz)
- a** Grün-Rot Achse
- b** Gelb-Blau Achse

Durch diese Koordinaten lassen sich einzelne Farbtöne beschreiben. Als alternative Beschreibung dienen die Zylinderkoordinaten, also die Distanz des Farbortes vom Zentrum

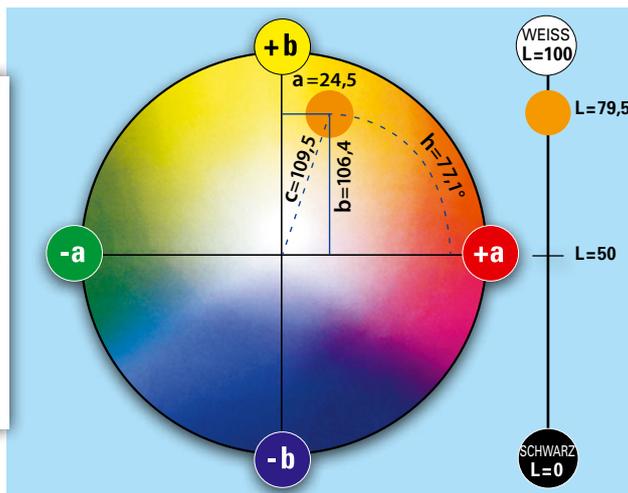
genannt: Sättigung C (Buntheit, Chroma) und der Farbtonwinkel  $h^\circ$ . In diesem Fall spricht man von CIELCH-Farbraum.

- C** Chroma (Buntheit; Sättigung)
- $h^\circ$**  Farbton(winkel)



Beispiel: siehe rechts

<b>GOLDGELB Y50</b>	
	L= 79,5 a= 24,5 b= 106,4 [D65,10°]
<b>GOLDGELB Y50</b>	
	L= 79,5 C= 109,5 h= 77,1 [D65,10°]



## DER FARBABSTAND DELTA-E

Nachdem im CIELCH Farbraum die einzelnen Farbtöne durch Koordinaten beschrieben werden können, ist es nur folgerichtig auf dieser Basis zwei oder mehrere Farben miteinander zu vergleichen. Dazu werden die einzelnen Werte gegenübergestellt und durch die entsprechenden Differenzen beschrieben:

<b>dL</b>		<b>Helligkeitsunterschied</b>	(- = dunkler / + = heller)
<b>da</b>		<b>Farbunterschied Grün / Rot</b>	(- = grüner / + = röter)
<b>db</b>		<b>Farbunterschied Gelb / Blau</b>	(- = blauer / + = gelber)
<b>dC</b>		<b>Buntheitsunterschied</b>	(- = unbunter / + = bunter)
<b>dh°</b>		<b>Farbtonwinkelunterschied</b>	(dh = die Hue-Winkeldifferenz im Bogenmaß)
<b>dH</b>		<b>Farbtondifferenz</b>	

$$DE = \sqrt{(DL)^2 + (Da)^2 + (Db)^2}$$

Aus diesen einzelnen Differenzen lässt sich der Gesamtfarbabstand DE berechnen:

$$DE = \sqrt{(DL)^2 + (DC)^2 + (DH)^2}$$

Allgemein gilt: Je kleiner der Unterschied, desto geringer sind die Farbunterschiede: Beispiel unten

<b>N 53/19</b> W 50 98,7 N 50 1,0 R 50 0,3 L = 86,55 a = 0,85 b = 1,31 C = 1,56 h = 56,91	<b>dL = 1,43</b> <b>da = -2,30</b> <b>db = 0,09</b> <b>dC = 0,45</b> <b>dH = 2,25</b> <b>dE = 2,71</b>	<b>N 53/26</b> W 50 98,7 N 50 1,0 B 50 0,3 L = 87,98 a = 1,44 b = 1,40 C = 2,01 h = 135,89

# ERMITTLUNG VON FARBWERTEN IM CIELAB-FARBRAUM

## Die Abhängigkeit von der Messmethode

Die Lab-Werte (alternativ  $L^*a^*b^*$ -Werte; die Kennzeichnung\* deutet auf eine nicht mehr verwendete Vorgängerversion hin. Beide Schreibweisen sind gängig) sind abhängig von der Messart, also dem verwendeten Messgerät.

Während die unterschiedlichsten Gerätearten wie Kolorimeter und Digitalkameras zur Ermittlung der Farbörter eingesetzt werden und Lab-Werte liefern können, beschränken wir uns auf die „echte“ Farbmessung mittels Spektrofotometer.

Ein Spektrofotometer misst durch das Beleuchten der Messfläche über das gesamte Spektrum (von infrarot bis ultra-

violett) des sichtbaren Lichtes die Remissionswerte. Dadurch kann der genaue Farbort der Farbe definiert und Farbabweichungen von einem Messpunkt zum nächsten berechnet werden.

Im Gegensatz zu Kolorimetern oder Densitometern wird nicht durch die Dreifiltermethode sondern über das gesamte Spektrum mittels mathematischer Filter gemessen.

Man unterscheidet bei der Messmethode zwischen zwei Arten: Zum einen die Winkelgeometrie (z.B. 45/0) und zum anderen die Kugelgeometrie (z.B. D/8°).

Beide haben ihre Berechtigung

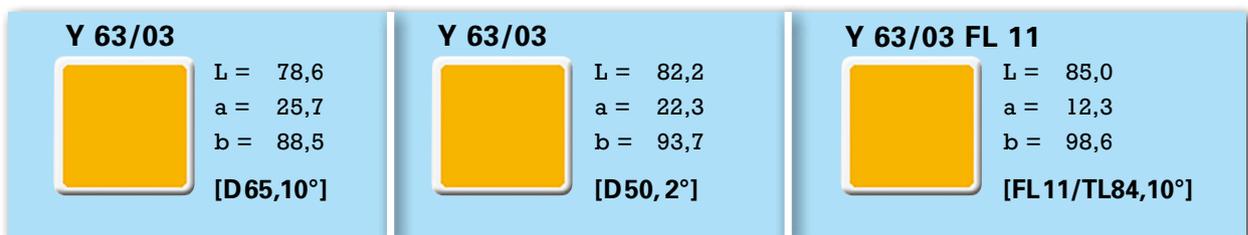
und Einsatzgebiete. Es ist daher zu berücksichtigen, dass nur Lab-Werte, welche mit der gleichen Methode ermittelt wurden, miteinander vergleichbar sind.

Die Angabe von Messwerten hat nur im Zusammenhang mit Nennung von Geräteart, Messgeometrie, Normlicht und Normalbeobachter Aussagekraft.

Im Idealfall wird zusätzlich die Blenden-, sprich Messöffnung mit angegeben.

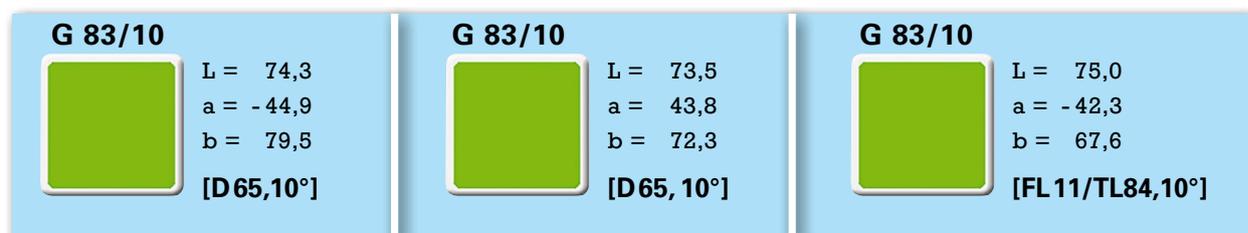
Diese Werte können auch nicht ohne Weiteres von einem zum anderen System „umgerechnet“ werden!

## Absolutwerte in Abhängigkeit von Lichtart und Normalbeobachter



X-Rite eXact 45/0 - CQ6

## Absolutwerte in Abhängigkeit von Messgeometrie:



[D65,10°,DIN,M0 (No),Abs]

X-Rite eXact 45/0 - CQ6

[D65,10°,DIN,D8e,Abs]

X-Rite Ci62 D/8e  
exklusive Glanz (mit Glanzfalle)

[D65,10°,DIN,D8i,Abs]

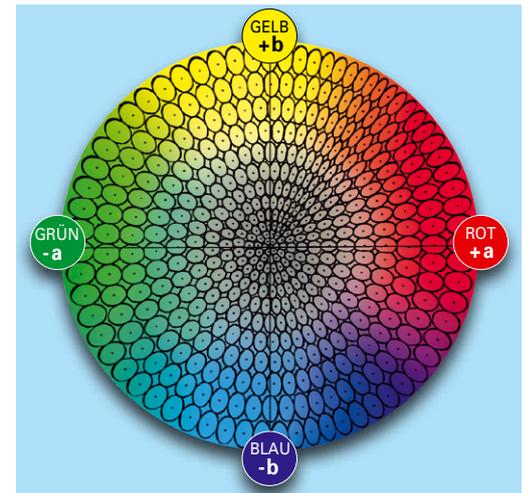
X-Rite Ci62 D/8i  
inklusive Glanz (ohne Glanzfalle)

In der Praxis hat sich gezeigt, dass der mathematisch gleichwertige CIELABCH Farbraum das eigentliche Ziel, einen visuell gleichabständigen Farbraum zu erschaffen, leider nicht vollständig erfüllt. Farbörter, die im CIE Farbdigramm (x,y) gleich weit voneinander entfernt sind, lösen beim Beobachter unterschiedlich starke Empfindungen bezüglich des Farbunterschieds aus. Durch die Beschreibung von Dr. David MacAdam wurden Ellipsen der Farbabschnitte definiert, welche beim Menschen keinen Farbunterschied

mehr erkennen lassen. Während bei CIEDE diese Farbabschnitte als Kugeln gleicher Größe definiert sind, verändert sich die Größe dieser "wahrnehmungsechten" Ellipse je nach Lage im Farbraum. So ist ein DE 1,0 für ein Gelb bereits überspezifiziert, während dies bei einem Grau zu einem ungenügenden Ergebnis führen kann.

**Die Wertigkeit des Gesamtfarbabstandes DE ist abhängig vom Farbton!**

Toleranzellipsen sind im orangen Bereich enger gepackt.



Toleranzellipsen sind im grünen Bereich größer

## WELCHE FORMEL IST DIE BESTE?

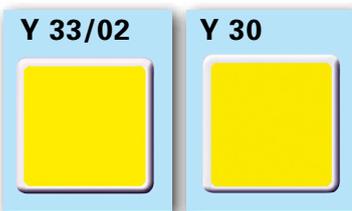
Um diesem Problem zu begegnen, kann man nun unterschiedliche DE-Wertigkeiten für verschiedene Farbgruppen (Grau, Rot, etc.) definieren, oder man verwendet ein Toleranzsystem, welches diesen Unterschieden mathematisch entgegenwirkt. Die CIEDE 2000 Formel ist eine Weiterentwicklung, die auf experimentellen Versuchen basiert. Diese Formel stellt z.Zt. die am besten an die visuelle Wahrnehmung angepasste Formel dar. Dabei bleiben die L\*a\*b (C\*h\*) Werte unverändert, somit auch die Abstandswerte DL\*, Da\* und Db\*, bzw. DC\* und DH\*. Lediglich der Gesamtfarbabstand DE00 wird mathematisch je nach Farbton angepasst. Diverse Mängel werden durch einen sogenannten Rotationsterm ausgeglichen. Somit erhält man eine komplexe Farbabstandsformel, welche versucht die Gleichabständigkeit im kompletten Farbraum zu erzielen.

CIEDE 2000 Formel

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}}$$

Zur visuellen Veranschaulichung haben wir eine kleine Vergleichsfarbkarte erstellt, in der die C-MIX 2000 Farbtöne aus unserem Farbatlas gegenübergestellt wurden. Diese Farbkarte können Sie gerne bei uns in der Farbmetriekabteilung anfordern oder Sie vergleichen die beiden Grau- und Gelbtöne selbst in unserem C-MIX 2000 Fächer. Dabei werden Sie feststellen, dass bei einer „normalen“ DE-Wert Messung der Abstand zwischen den beiden Gelbtönen (Y33/02 und Y30) größer ist als zwischen den beiden Grautönen (N53/02 und N53/09). Visuell lässt sich dies allerdings nicht bestätigen, denn der Abstand zwischen den Gelbtönen ist visuell wesentlich geringer als bei den Grautönen.

Die Wertigkeit von DE\* geht nicht konform mit der visuellen Wahrnehmung. Wiederholt man die Messungen mit DE00, wird man dagegen zwischen den beiden Gelbtönen einen geringeren Abstand als zwischen den beiden Grautönen erhalten. Die Wertigkeit entspricht dem Visuellen!



Name	L*	a*	b*	C*	h*	dL*	da*	db*	dc*	dH*	dE*	dE 2000
Y 33/02	90,13	-4,94	107,48	107,59	92,63							
Y30	90,19	-5,19	114,05	114,16	92,61	0,06	-0,25	6,57	6,57	-0,05	6,57	1,10

Messtechnisch mit CIEDE:

Der Farbabstand zwischen den beiden Gelb ist größer als zwischen den beiden Grau

→ ① Messtechnik mit CIE DE entspricht nicht dem visuellen Eindruck!



Messtechnisch mit CIEDE 2000:

Der Farbabstand zwischen den beiden Gelb ist kleiner als zwischen den beiden Grau

→ ② Messtechnik mit CIE DE 2000 entspricht dem visuellen Eindruck!

Name	L*	a*	b*	C*	h*	dL*	da*	db*	dc*	dH*	dE*	dE 2000
N 53/02	56,23	-1,01	-5,50	5,60	259,57							
N 53/09	55,57	-2,16	-2,17	3,07	225,13	-0,66	-1,15	3,33	-2,53	-2,45	3,59	3,36

Visuelle Beurteilung: Der Farbabstand zwischen den beiden Gelb ist geringer als zwischen den beiden Grau