



Alfred Eichler
Leiter Farbmetrik

FARBABSTÄNDE IN DER INDUSTRIELLEN FARBMESSUNG

Farbabstände spielen sowohl bei der Farbnachstellung, wie auch bei der Farbkontrolle die entscheidende Rolle. Um die Abhängigkeit vom individuellen Betrachter wie bei der rein visuellen Farbmusterung zu minimieren, wurden Messtechniken und Berechnungsformen entwickelt, um Farbunterschiede in mathematische Zahlen auszudrücken. Nach DIN 5033-1 ist der Farbabstand die Größe des empfindungsgemäßen Unterschieds zwischen zwei Farben unter definierten Beleuchtungsbedingungen. Zur Berechnung des Farbabstandes sind verschiedene Farbabstandsformeln, die sich von den Farbmaßzahlen (z.B. Normfarbwerte) ableiten, im Gebrauch.

Bisher ist keine Formel bekannt, die Farbabstände **exakt** empfindungsgemäß bewertet.

Im Allgemeinen ist der geräteunabhängige **CIELAB Raum** akzeptiert, wenn auch das eigentliche Ziel einen visuell gleichabständigen Farbraum zu erschaffen nicht vollständig erfüllt wurde. Beim **CIELAB System** wird der Farbraum durch eine Kugel dargestellt. Diese Kugel wird durch drei Achsen definiert:

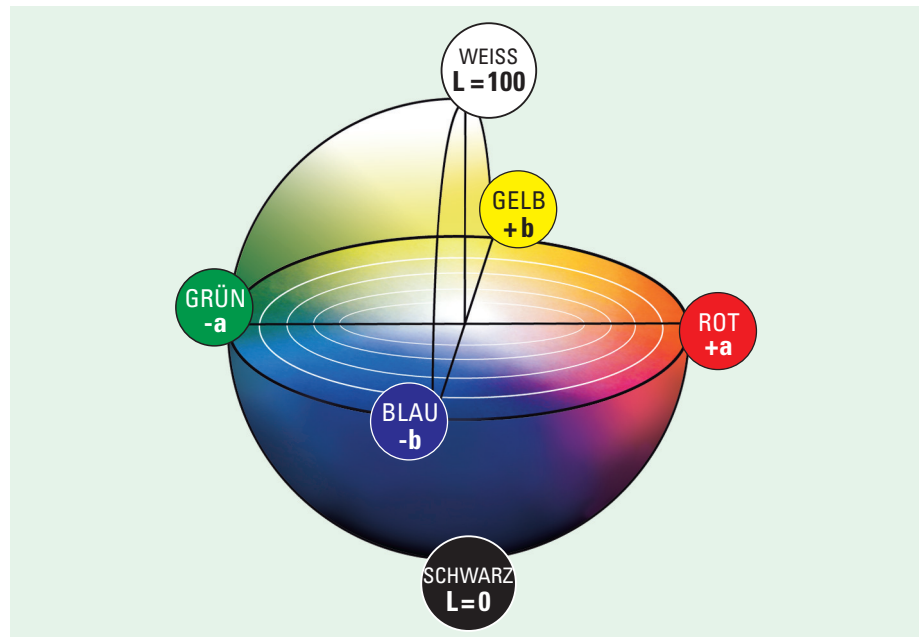
- L*** Die Helligkeitsachse
- a*** Die Grün-Rot-Achse
- b*** Die Gelb-Blau-Achse

Nach diesem System erhält jeder Farbton seine Koordinaten L^*, a^*, b^* .

Im Zentrum dieser Kugel befindet sich der sogenannte „Unbuntpunkt“, bzw. achromatische Punkt. Sozusagen das grauuest mögliche Grau. Einzig die Helligkeitsachse L^* ist durch einen festgelegten Anfangs- und Endpunkt eindeutig definiert. Dabei entspricht das absolute Weiß einem Wert von $L^*=100$ und das absolute Schwarz von $L^*=0$. Der achromatische Punkt befindet sich genau in der Mitte, also bei einer Helligkeit von $L^*=50$.

Ausgehend von den L^*, a^*, b^* - Koordinaten wird der mittlere Gesamtfarbabstand ermittelt:

$$dE^* = \sqrt{(dL^*)^2 + (da^*)^2 + (db^*)^2}$$

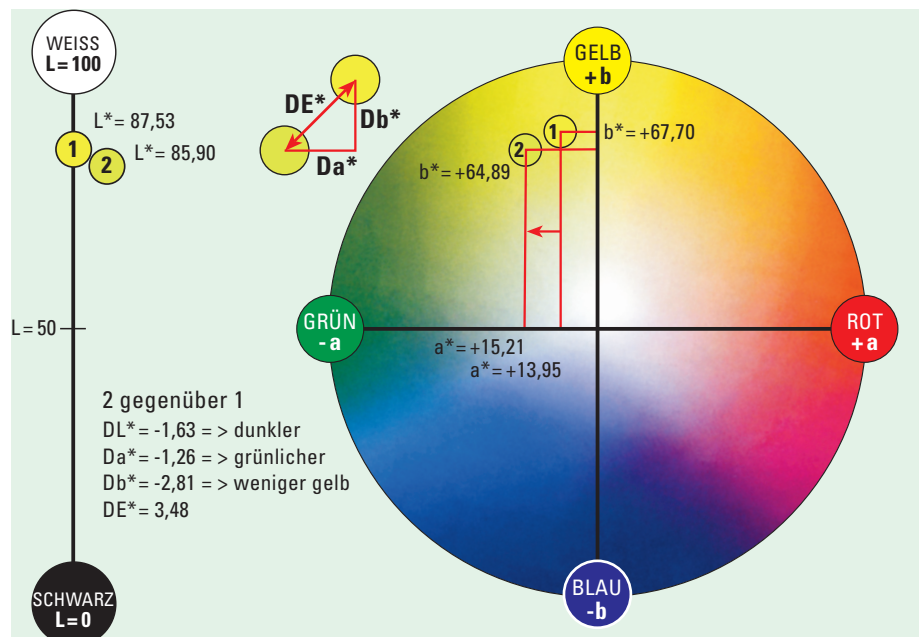


Auf einem üblichen Prüfprotokoll sind daher folgende Werte angezeigt:

- dE*** Gesamtfarbabstand
- dL*** Helligkeitsunterschied (- = dunkler; + = heller)
- da*** Farbunterschied Grün <> Rot (- = grüner; + = röter)
- db*** Farbunterschied Gelb <> Blau (- = blauer; + = gelber)

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

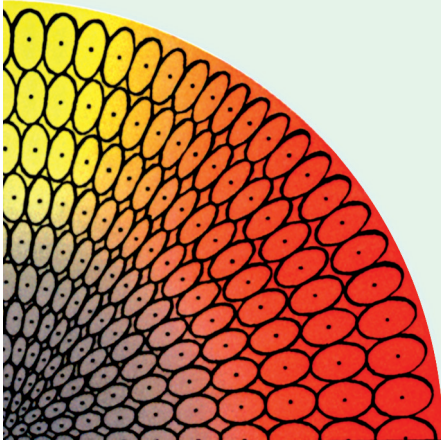
BEISPIEL:



Warum wurde nun mit dem CIELAB Raum das eigentliche Ziel einen visuell gleichabständigen Farbraum zu erschaffen nicht vollständig erfüllt?

Der visuelle Eindruck ist abhängig vom Betrachter und damit vornehmlich vom Auge. Das menschliche Auge empfindet Farbabstände in Farbton (Grün, Rot, Gelb, Blau) nicht im gleichen Maße wie Unterschiede in Buntheit (Sättigung) und Helligkeit. Üblicherweise wird man zuerst Abweichungen im Farbton, dann in der Buntheit und schließlich in der Helligkeit wahrnehmen. Also können die mathematischen Werte der verschiedenen Achsen nicht als reell/visuell gleichwertig angesehen werden. Anders ausgedrückt, im Gegensatz zum theoretischen $L^*a^*b^*$ -System verhalten sich die Farben im tatsächlichen Farbwahrnehmungsraum nicht linear zueinander. Stellt man die tatsächlich visuelle Farbakzeptanz oder Farbtoleranz graphisch dar, ergibt sich eine Ellipse (dreidimensional Ellipsoid), während durch das CIELAB-System für den Gesamtfarbabstand DE^* eine Kugel und für die Definition der einzelnen Achsen ein Quadrat (Würfel) bzw. Rechteck (Quader) dargestellt wird.

In der folgenden Darstellung befindet sich im Zentrum der Zielfarbbort. Um diesen herum kann durch Festlegung von Farbabstandswerten, bei CIELAB sind dies entweder der Gesamtfarbabstand DE^* oder die einzelnen Achsen DL^* , Da^* und Db^* , ein Toleranzraum definiert werden, in dem der Farbton als gleichwertig akzeptiert wird. Gegenüber steht diesem der tatsächlich visuelle Toleranzraum, welcher experimentell ermittelt wurde. Deutlich kann man erkennen, dass durch den CIELAB Toleranzraum lediglich eine grobe Annäherung, aber keine komplette Übereinstimmung erzielt werden kann.



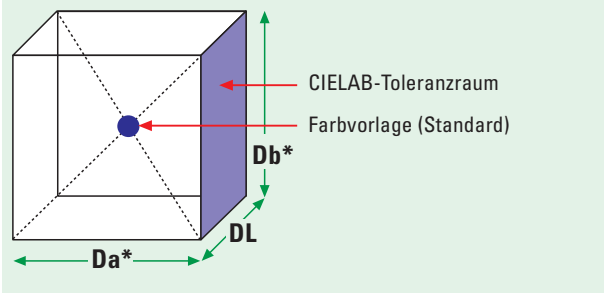
Ein Gesamtfarbabstand DE^* hat je nach Farbton also eine unterschiedliche Wertigkeit.

Die DE Toleranz bildet eine **kugelförmige Hülle** um den Farbort. Unabhängig von der Sättigung wie dem Farbton ist diese Hülle bei gleicher Toleranzvorgabe **für jeden Farbort gleich groß**. Eine Festlegung von z.B. $DE = 1$ wäre im bunten Bereich eine Überspezifikation, während es im unbunten Bereich (grau) ungenügend wäre.

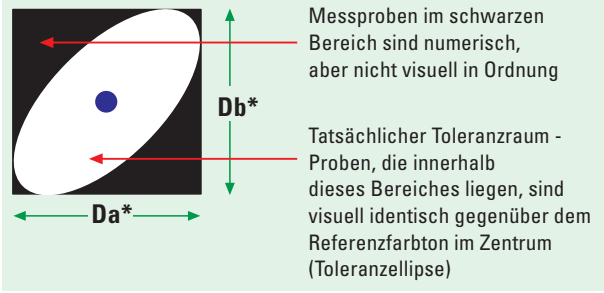
Toleranzraum im CIELAB-System durch DE^*
(Zweidimensionale Darstellung)



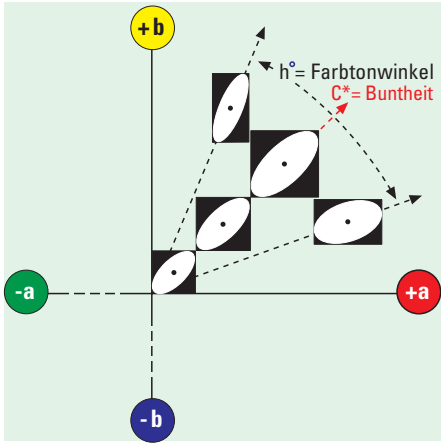
Toleranzraum im CIELAB-System mit Achsendefinition



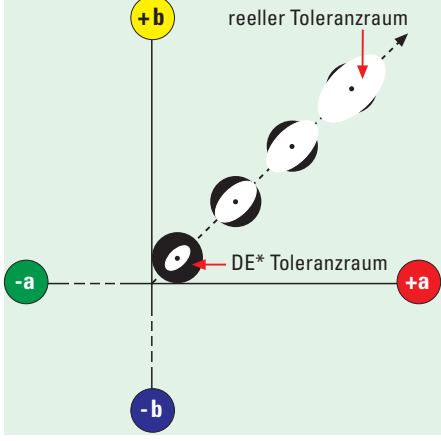
Tatsächlicher Toleranzraum gegenüber CIELAB mit Achsendefinition
(Zweidimensionale Darstellung)



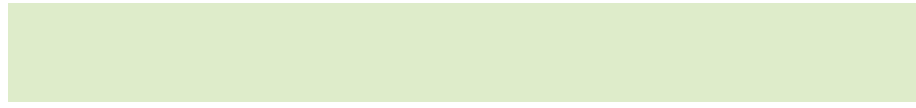
Toleranzellipsen sind abhängig vom Farbton



Tatsächlicher Toleranzraum gegenüber DE^* in Abhängigkeit zur Farbsättigung
(Zweidimensionale Darstellung)



Ferner hat man festgestellt, dass diese Toleranzräume (Ellipsoide) zum Zentrum, dem „Unbuntpunkt“ des CIELAB Systems hin kleiner werden. Damit kann durch die Definition von DL^* , Da^* und Db^* kein gleichmäßig reeller Farbabstand für zentrumsnahe (Grautöne) und zentrumsferne (satte Bunttöne) herangezogen werden. Ein $DE^*=1$ ist beim Vergleich zweier Gelbtöne visuell identisch, während bei Grau dies nicht akzeptabel ist. Darüber hinaus sind die Toleranzellipsen nicht in jedem Bereich des Farbkreises gleich. Auch dies wird im CIELAB-System nicht berücksichtigt.



Die Wertigkeit von DE* (CIELAB) ist abhängig vom Farbton

C-MIX 2000
Farbton:

	N53/02	N53/09	Y33/02	Y33/09
Zusammensetzung:				
W50	92,4	89,4	Y30	90,0
N50	7,6	7,6	W50	10,0
Y30		3,0		4,5
Farbabstand DE* (45/0; D50/10°)		3,33		4,07

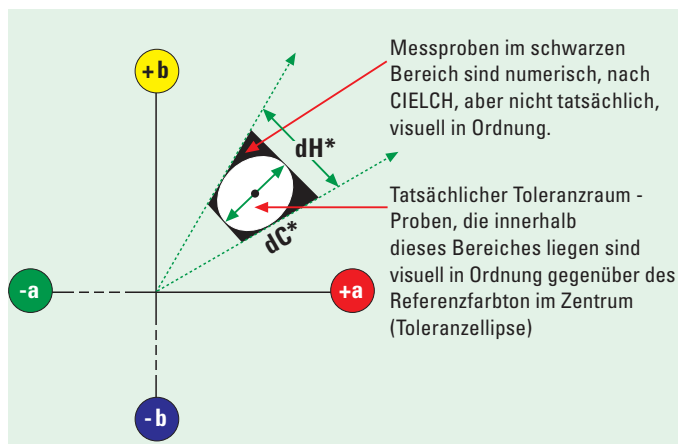
Im „unbunten“ Bereich steht mit dem **CIELCH** Raum eine Alternative zur Verfügung. In der räumlichen Darstellung ergibt sich beim CIELCH-Raum auf Grund der Polarkoordinaten eine Trapezform anstatt eines Rechtecks, sprich Würfel wie beim CIELAB. Der Toleranzrahmen kann in Abhängigkeit des Farbtonwinkels kreisförmig verschoben werden, dies führt zu einer besseren Übereinstimmung bei der visuellen Bewertung mit den Ellipsen.

L* Die Helligkeitsachse **C*** Chroma (Buntheit)
H° Farbton(winkel)

$$dE^* = \sqrt{(dL^*)^2 + (dC^*)^2 + (dH^\circ)^2}$$

Tatsächlicher Toleranzraum gegenüber CIELCH

(Zweidimensionale Darstellung)



Betrachtet man die „Ungenauigkeit“ bei der Definition der Toleranzen mit $L^*a^*b^*$, bzw. $L^*C^*h^\circ$ -Werten bzgl. der Toleranzgrenzen im reellen Farbraum, so wird ersichtlich, wie problematisch eine Vorgabe mittels Gesamtfarbabstand DE^* ist.

Eine Weiterführung zur besseren Übereinstimmung mit dem tatsächlich, visuellen Toleranzraum ist die insbesondere im Textildbereich verwendete **DE CMC Formel**.

Dabei handelt es sich nicht um einen neuen Farbraum, sondern lediglich um eine mathematische Lösung für ein Toleranzmodell. Es wurde 1988 in Großbritannien erstmals veröffentlicht. Mittels CMC wird graphisch eine Ellipse erzeugt, sehr ähnlich des tatsächlich wahrgenommenen Toleranzraums. Je nach Position des Farbabstands im Farbraum verändern sich Form und Größe.



Diese verändern sich in Abhängigkeit von variierenden Buntheits- und Helligkeitswerten. In der Regel toleriert das menschliche Auge größere Abweichungen in der Helligkeit als in der Buntheit, sprich Sättigung. Dies wird in Form von Faktoren (l=Helligkeit, c=Sättigung) l=2 und c=1 berücksichtigt.

Das Verhältnis von 2:1 ist zwar am gebräuchlichsten, aber nicht zwingend vorgeschrieben.

$$dECMC = \sqrt{(dL^*/l)^2 + (dC^*/c)^2 + (dH^\circ/SH)^2}$$

- l** Lichtfaktor
- c** Sättigungsfaktor
- SL** Funktion von L
- SC** Funktion von C
- SH** Funktion von H und C

Auch wenn mit der DE CMC Formel erhebliche Verbesserungen erzielt wurden, stellte man in der Praxis Mängel fest. So werden unterschiedliche Methoden zur Bestimmung von Helligkeits- wie auch der Farbtendifferenzen benötigt. Bei CMC ergeben sich außerdem große Fehler bei der Berechnung von gesättigten blauen Farben. Ferner stellte man eine schlechte Berechnung der chromatischen Abweichungen bei neutralen Farben fest.

Diese Probleme konnte auch eine weitere Modifikation unter der Bezeichnung DE94 von der CIE nicht beheben.

Als momentan am besten an die visuelle Wahrnehmung angepasste Formel wird die **CIEDE 2000 Formel** (alternativ **DE00**) bezeichnet.

Wie auch bei CMC wird durch eine komplexe Farbabstandsformel versucht die Gleichabständigkeit im kompletten Farbraum zu erzielen. Im Gegensatz zu CMC werden diverse Mängel durch einen „Rotationsterm“ (RT) ausgeglichen.

$$DE00 = \sqrt{\left(\frac{DL}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{DC}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{DH}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{DC}{K_C S_C}\right) \left(\frac{DH}{K_H S_H}\right)}$$

Mit CIEDE 2000 ist man dem Ziel einen gleichwertigen Farbabstand für alle Farbtöne zu erhalten sehr nahe gekommen. Einziger Nachteil, neben des noch geringen Verbreitungsgrades, liegt in der Komplexität der Formel. Sowohl CMC, wie auch DE00 gehen von den CIELCH festgelegten $L^* C^* h^\circ$ -Werten aus. Die sehr gebräuchlichen und insbesondere anschaulichen Da^* und Db^* Werte werden ignoriert.

In einer Arbeitsgruppe wurde daraufhin die Norm **DIN 6176** erstellt. Dabei wurde nicht eine rein rechnerische Lösung für einen empfindungsgemäß gleichabständigen Farbraum gesucht, sondern der Farbraum an sich „angeglichen“. Dadurch ergeben sich zu $L^*a^*b^*$ unterschiedliche Farbwerte mit den Bezeichnungen L99, a99 und b99 (alternativ auch C99 und H99). Der Vorteil dieses mit **DIN99** bezeichneten Farbraums liegt in der Beibehaltung der relativ einfachen CIELAB Formel.

$$DE99 = \sqrt{(dL99)^2 + (da99)^2 + (db99)^2}$$

$$DE99 = \sqrt{(dL99)^2 + (dC99)^2 + (dH99)^2}$$

Die Aussagen von CIEDE 2000 und DIN99 in ihrer Gültigkeit gegenüber den reell wahrgenommenen Farbabständen sind in etwa vergleichbar.

International scheint sich CIEDE 2000 zu etablieren. Wer sich näher mit diesem Thema auseinandersetzen möchte, sei die Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V. empfohlen.

Munsell Color Tree Farbraummodell



Alfred Eichler



(09 11) 64 22-258 (09 11) 64 22-219
alfred.eichler@sunchemical.com

FESTLEGUNG VON TOLERANZGRENZEN

Farbtoleranzen müssen anhand mehrerer Faktoren zwischen Kunde und Lieferant vereinbart werden. Der Kunde fordert in der Regel enge Toleranzen, der Lieferant wünscht sie sich gerne etwas weiter gefasst. Lieferzeit, Fertigungsprozesse, Kosten und Konkurrenzdruck beeinflussen häufig die Festlegung gewerblicher Farbtoleranzen.

Entschließt man sich Toleranzgrenzen mittels Farbwerte festzulegen, so sind vorher einige Punkte zu beachten. Es gibt keine Universallösung für alle Anwendungsgebiete. Die Vereinbarung wird immer eine individuelle sein. Im Idealfall werden vorab verschiedene Toleranzmuster erstellt, um die visuell zulässige Abweichung in Farbton, Helligkeit und Sättigung festzulegen. Häufig ist dies aus Zeitgründen allerdings nicht möglich. Dennoch sollte man sich zumindest im Klaren sein, dass die Toleranzgrenzen in einem sinnvollen Kontext zum Produktionsprozess und Anwendungsgebiet stehen. Eine „Überspezifikation“ kostet Zeit und somit Geld.

Bevor ein Produkt ausgeliefert wird, sollte vom Lieferanten ein Farbmuster vorgestellt werden. Dieses sollte repräsentativ für das Endprodukt sein (gleiches Material, gleiche Färbemittel, gleiche Oberflächenstruktur, gleiche Druckparameter). Nach Genehmigung durch den Kunden wird dieses dann als Referenzmuster für zukünftige Lieferungen festgelegt. Im Regelfall kann Ihnen der Lieferant lediglich eine Lieferstabilität ausgehend von seinem Farbmuster garantieren, aber nicht gegenüber der einst gewünschten Farbvorlage, wie z.B. einem Pantone Farbton, da prozessbedingt meist Kompromisse eingegangen werden müssen.

Zur Kommunikation mittels Farbwerten sind zunächst Lichtart (D50, D65, F11, o.ä.), Normalbeobachter (2°, 10°) und Messgeometrie (D/8°, 45/0) festzulegen. Ferner sollte man auch den Messgerätetyp und die Messblendenöffnung mit angeben. Anschließend sollten sich beide Parteien auf das zu verwendende Farbtoleranzsystem einigen (CIELAB, CIELCH, CMC, CIE2000). Unterschiedliche Toleranzsysteme führen zu unterschiedlichen „Pass/Fail“-Ergebnissen, wie bereits näher beschrieben wurde.

Entscheidet man sich für die Angabe eines DE-Wertes im CIELAB Farbraum, so sollte der individuell auf den Farbton abgestimmt sein. Unbunte Farbtöne benötigen einen geringeren Farbabstandswert wie bunte. Spezifischer wird es bereits, wenn man nicht den Gesamtfarbabstand, sondern die einzelnen Farbwertabstände, wie dL^* , da^* , db^* definiert. Somit kann man vermeiden, dass eine Lieferung plötzlich an Stelle eines Grünstiches einen Rotstich aufweist. Insbesondere bei variabler Auftragsstärke empfiehlt sich die Arbeit mit dL^* , dC^* und dH^* . Abweichungen bei der Sättigung können häufig durch die Schichtdicke geregelt werden.*

CMC hat sich bereits in der Textilindustrie bewährt, aber im Sieb- und Tamponbereich nicht wirklich durchgesetzt. Trägt man sich mit dem Gedanken ein genaueres Toleranzsystem als CIELAB oder CIELCH einzusetzen, so sollte man direkt mit DE2000 oder DIN99 einsteigen. Der Vorteil ist ein in etwa gleicher Farbabstand im gesamten Farbraum. Zu Beginn ist es ratsam, die Farbwerte DE00 oder DE99 vorerst bei der Qualitätskontrolle „mitlaufen“ zu lassen.

Anzumerken sei noch, dass die Grundlage eines gut funktionierenden Toleranzsystems eine detaillierte Dokumentation ist. Sowohl Lieferant wie auch Kunde sollten diese im Schriftwechsel verwenden. Ein Analysenzertifikat ist ein Beispiel für eine solche Dokumentation.

