

FARB- TOLERANZEN

Und die CIELAB-
Farbdifferenzformel

Ein farbwissenschaftlicher Beitrag von

Oliver Korten
Color Intelligence, ORONTEC

FARBBEWERTUNG IN DER INDUSTRIE

Trotz neuerer Entwicklungen in der Farbmeterik ist in der Industrie noch immer die Farbdifferenzbewertung mittels der CIELAB-Farbdifferenzformel weit verbreitet.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Hierbei wird der euklidische Abstand der beiden CIELAB-Farb-Orte für Probe und Bezug berechnet. Das bedeutet, es wird pro kartesische Koordinate (L^* , a^* , b^*) jeweils die Differenz (spezifische Farbdifferenz ΔL^* , Δa^* , Δb^*) berechnet, diese dann quadriert und aus der Summe dieser 3 Quadrate dann die Quadratwurzel gezogen. Das Resultat dieser Operationen ist dann der Farbabstand oder die Farbdifferenz (ΔE_{ab}^*).

Das Rechenverfahren ist einfach und bei Kenntnis der spezifischen Farbdifferenzen pro kartesischer Koordinate ist es auch leicht, korrigierende Maßnahmen (z.B. Tönen) abzuleiten.

Leider ist der CIELAB-Farbraum nicht visuell gleichabständig und somit die CIELAB-Farbdifferenzformel aus farbmeterischer Sicht qualitativ nicht gut.

QUALITÄTSKRITERIEN FÜR FARBDIFFERENZFORMELN

Eine aus farbmeterischer Sicht qualitativ gute Farbdifferenzformel leistet Folgendes:

Visuell gleichabständige Probenpaare werden bei instrumenteller Bewertung mittels der Farbdifferenzformel auf sehr ähnliche Farbdifferenzwerte abgebildet. Das gilt überall im Farbraum und in alle Richtungen der spezifischen Farbdifferenzen. Falls dies nicht Beides der Fall ist, spricht man von Missweisungen.

Was bedeutet im obigen Fall „überall“?

Ist zum Beispiel ein graues und ein rotes Probenpaar gegeben, deren jeweilige Farbunterschiede visuell als gleich groß empfunden werden, dann sollten auch die abgeleiteten Farbdifferenzwerte bei instrumenteller Bewertung sehr ähnlich sein. Dies sollte allgemein für zwei beliebige Probenpaare (beliebige Positionen im Farbraum) mit dieser Eigenschaft (gleich groß empfundener Farbunterschied) gelten.

Was bedeutet im obigen Fall „in alle Richtungen“?

Sind zum Beispiel 3 gelbe Proben gegeben, wobei die erste als Bezug angesehen wird, die zweite dazu nur chromatischer (also die Farbe intensiver) ist und die dritte dazu nur eine Bunttonverschiebung (also bei gleichem Chroma zum Beispiel für ein Gelb grünlicher oder rötlicher ist) aufweist, die Farbunterschiede beider Proben jeweils zum Bezug aber als gleich groß empfunden werden, dann sollten auch die abgeleiteten Farbdifferenzwerte bei instrumenteller Bewertung sehr ähnlich sein. Das sollte allgemein an jeder beliebigen Position im Farbraum für 2 beliebige Richtungen des Unterschieds im Farbraum mit dieser Eigenschaft (gleich groß empfundener Farbunterschied) gelten.

DIN 6175 TEIL 1 (1986)

In der DIN 6175 Teil 1 in der Version von 1986 wurde abhängig von der Position im Chromatizitäts-Diagramm (Abbildung 1) festgelegt, wie groß eine CIELAB-Farbdifferenz für verschiedene Anwendungen in der Automobilindustrie sein durfte. Dabei wurde abhängig vom Farbort als x und y Normfarbwertanteile ein Grund-Toleranzwert für die CIELAB-Farbdifferenz vorgegeben, der mit einem für den Anwendungsfall spezifischen Faktor zu dem tatsächlichen Toleranzwert skaliert wurde.

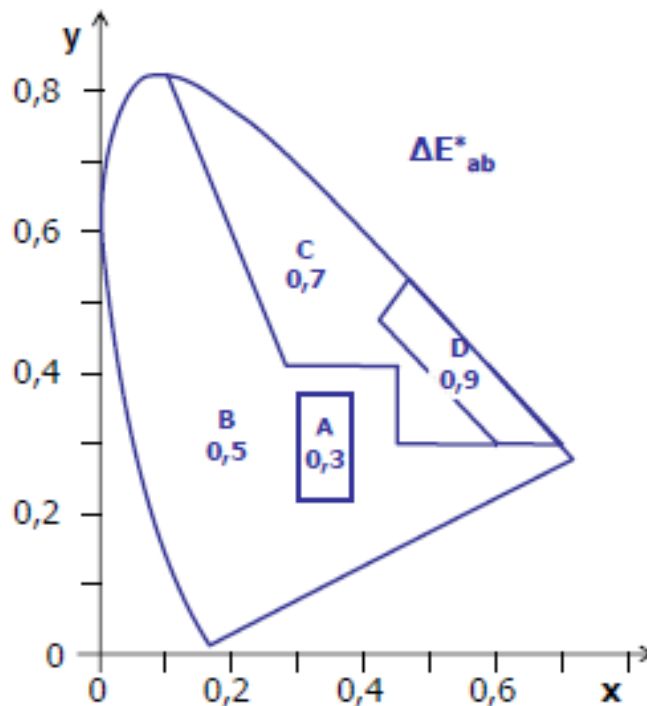


Abbildung 1: Farbortabhängige CIELAB-Farbtoleranzen für Lacke (Grund-Toleranzwert) im Chromatizitätsdiagramm gemäß DIN 6175 Teil 1 von 1986 (aus R. Hiesgen und G. Meichsner, Farbortstreuung und Akzeptierbarkeit der Farbe von Lacken, www.farbenlabor.de/app/download/JIOT_Farbortstreuung_Akzeptierbarkeit.pdf)

Diese anwendungsfall-spezifischen Faktoren sind in diesem Zusammenhang irrelevant. Relevant sind jedoch die farbortabhängigen Grund-Toleranzwerte und mehr noch deren farbortabhängigen Verhältnisse. Geht man von einem einheitlich empfundenen Farbunterschied als Toleranz aus, weist demnach die CIELAB-Farbdifferenzformel im Unbuntbereich (Bereich A: unbunte oder unchromatische Farben sind Weiß und Schwarz und alle Grautöne dazwischen) die größte Sensitivität aus. Das heißt, kleinere instrumentelle Farbdifferenzwerte korrelieren mit größeren visuell empfundenen Farbunterschieden. Im chromatischen Rot-Orange-Gelb-Bereich (Bereich D) weist die CIELAB-Farbdifferenzformel die kleinste Sensitivität aus. Das heißt, größere instrumentelle Farbdifferenzwerte korrelieren mit kleineren visuell empfundenen Farbunterschieden.

Folgerung

Bei Verwendung der CIELAB-Farbdifferenz als Toleranz sollte man unbedingt farbort-spezifische Toleranzwerte nehmen, um visuell empfindungsgemäß ähnliche Farbtoleranzen definieren zu können. Der Vorteil des Ansatzes der DIN 6175 Teil 1 von 1986 ist, dass er veröffentlicht und somit klar definiert ist. Der Nachteil ist sicherlich, dass in zwei Farbräumen operiert wird: im Raum der Normfarbwertanteile (x,y) zur Bestimmung der Grund-Toleranz, und im CIELAB-Farbraum zur Bestimmung der Farbdifferenz.

Um auf eine für alle Farborte einheitliche Farbtoleranz zu kommen, könnte man den errechneten CIELAB-Farbdifferenzwert jeweils mit dem Kehrwert der farbortabhängigen Grund-Toleranz multiplizieren und das Ergebnis als die Farb-Toleranz ansehen. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass sich für benachbarte Farborte erhebliche Sprünge (bis zu Faktor 1,8) ergeben können, wie sie durch die Definition der Grund-Toleranzwerte vorgeben sind.

Das Grundproblem, dass die Bewertung von Farbunterschieden mittels der CIELAB-Farbdifferenzformel nicht richtungsunabhängig ist, bleibt zusätzlich ebenfalls bestehen.

DIN6175 Teil 1 (2009)

Bei der Überarbeitung der DIN 6175 Teil 1 im Jahr 2009 wurde die farbortabhängige Bestimmung des Grund-Toleranzwertes für die CIELAB-Farbdifferenz durch eine farbortunabhängige einheitliche Festlegung des Grund-Toleranzwertes für die DIN99-Farbdifferenz ersetzt. In der DIN 6176 wurde der DIN99-Farbraum und die DIN99-Farbdifferenzformel (als euklidischer Abstand zweier DIN99-Farborte) definiert.

CMC- und CIE94 – Farbdifferenzformel

Die Missweisungen der CIELAB-Farbdifferenzformel war Anlass zu diversen Verbesserungsversuchen. Die in der Industrie erfolgreichsten und zum Teil noch immer gebräuchlichen Farbdifferenzformeln sind CMC und CIE94. Beide basieren weiterhin auf dem CIELAB-Farbraum, berechnen die Farbdifferenz mittels zusätzlicher, zum Teil farbortabhängiger Skalierungsfaktoren für die spezifischen Farbdifferenzen in Zylinderkoordinaten.

Beide Farbdifferenzformeln werden von der CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) inzwischen nicht mehr empfohlen.

DIN99 (siehe DIN6176 von 2001)

Bei der DIN99 Entwicklung wurde versucht, einen neuen euklidischen Farbraum, in dem Farbdifferenzen als euklidische Abstände definiert sind, zu generieren. Das Ziel war eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen den CIE94-Farbdifferenzwerten und den euklidischen Abständen in diesem Farbraum für den vorhandenen Datensatz, auf dem die Entwicklung der CIE94 basierte.

Das Resultat war der DIN99-Farbraum und die DIN99-Farbdifferenzformel.

Dieser Ansatz war so erfolgreich, dass die CIE im technischen Report 15 zur Farbmatrik von 2004 die DIN99-Farbdifferenzformel als Option anerkannte.

CIEDE2000 - Farbdifferenzformel

Die Farbdifferenzformeln CIE94 und CMC werden spätestens seit 2004 von der CIE nicht mehr empfohlen. Stattdessen die CIEDE2000-Farbdifferenzformel, die aber weiterhin auf dem CIELAB-Farbraum basiert und wiederum zusätzliche, zum Teil farbortabhängige Skalierungsfaktoren für die spezifischen Farbdifferenzen in Zylinderkoordinaten, als auch einen weiteren Rotationsterm zur Berechnung heranzieht.

Die Qualität der CIEDE2000-Farbdifferenzformel wird allgemein anerkannt. Die Formel findet, wenn auch zögerlich, Verbreitung in der Industrie. Insbesondere aus der Druckindustrie, Lichttechnik kommen vermehrt Untersuchungen, die diese Differenzformel benutzen. Andererseits ist sie recht kompliziert, und das Ableiten korrigierender Maßnahmen (z.B. Tönen) ist ohne erheblichen rechnerischen Aufwand kaum möglich.

DIN99o (siehe DIN6176 von 2018)

Aufgrund der Qualität der CIEDE2000-Farbdifferenzformel und der vorhandenen und veröffentlichten Datensätze, auf denen ihre Entwicklung beruhte, hat man beim DIN (Deutsches Institut für Normung) das grundsätzliche Modell für einen Farbraum leicht modifiziert bzw. ergänzt und erneut die Optimierung entsprechender Modellparameter angestoßen. Allerdings mit der Maßgabe, dass sich eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen den CIEDE2000-Farbdifferenzwerten und den euklidischen Abständen in diesem Farbraum für den vorhandenen Datensatz ergeben. Das resultierende Modell wurde DIN99o (o für optimiert) genannt, und mit der Version der DIN 6176 von 2018 wurde DIN99 durch DIN99o ersetzt.

EMPFEHLUNG

Die Frage, auf welcher Basis, also mittels welcher Farbdifferenzformel, man eine Farbtoleranz im eigenen Umfeld definieren sollte, ist nicht eindeutig zu beantworten. Allerdings gibt es Argumente, die man bei der Wahl berücksichtigen sollte, sofern die eigenen Randbedingungen entsprechend sind.

Punkt 1: Aktuell: Falls die Chance besteht, dass mit dem Kunden bzw. Lieferanten eine Farbtoleranz basierend auf einer modernen, aktuell in der Normung empfohlenen Farbdifferenzformel zu vereinbaren ist, sollte man diesen Weg aus meiner Sicht unbedingt gehen (siehe dazu CIEDE2000, DIN99, DIN99o)

Punkt 2: Euklidisch: Ist die gewählte Farbdifferenzformel als euklidischer Abstand in einem Farbraum gegeben, so kann man mit den spezifischen Farbdifferenzen entlang der kartesischen oder auch Zylinder-Koordinaten leicht argumentieren und auch gegebenenfalls korrigierende Schritte ableiten (siehe dazu CIELAB, DIN99, DIN99o)

Punkt 3: Einheitlich: Um zu Aussagen über die Gesamtheit verschiedener Farborte zu kommen, braucht man einen einheitlichen Farbtoleranzwert. Farbortspezifische Farbtoleranzen sind in diesem Kontext nicht praktikabel (siehe dazu CIEDE2000, DIN99, DIN99o)

Je näher man mit seiner Farbabstandsformelwahl an den aktuellen Standards liegt, desto fortschrittlicher agiert man; desto näher ist man am Stand der Technik; und desto länger hat man hoffentlich Ruhe vor der nächsten Überarbeitung. Dies ist aus meiner Sicht auch ein Ausdruck der farbmtrischen Kompetenz in einem Unternehmen und somit des Unternehmens selbst.

FAZIT

Als Gesamtfazit unter Berücksichtigung des Punkt 2 der Empfehlung fällt die Wahl somit auf die DIN99, wenn man sich eher an den Empfehlungen der CIE orientiert.

Andernfalls auf die DIN99o, wenn man sich eher gemäß der deutschen Normung bewegt. Es gibt aktuell Bestrebungen, auch DIN99o als Farbraum UND Farbdifferenzformel in Form einer internationalen Norm zu standardisieren.

Geht es ausschließlich um die EINE Bewertungszahl, die auch stets von einem spezifischen Computer-System ermittelt wird, dann ist wahrscheinlich die CIEDE2000-Farbdifferenzformel die richtige Wahl.

NACHTRAG FÜR DIE AUTOMOBILINDUSTRIE

Effektlackierungen und Mehrwinkel-Farbmessungen

In der Automobilindustrie werden seit Jahrzehnten auch solche Pigmente verwendet, die je nach Lichteinfall und Beobachtungsrichtung unterschiedlich farblich empfunden werden. Diese Pigmente werden Effektpigmente genannt, ihre Funktionsweise basiert auf den physikalischen Phänomenen Spiegelung (Metalleffektpigmente) oder Interferenz (Interferenzpigmente). Um auch instrumentell solche mit diesen Pigmenten formulierten Effektlackierungen bewerten zu können, wurden spezielle Mehrwinkel-Farbmessgeräte entwickelt.

DIN6175 Teil 2 (2001)

Darüber hinaus hat man beobachtet, dass je nach Winkelkombination Lichteinfall und Beobachtungsrichtung das Toleranzempfinden für Farbunterschiede bei Beschichtungen, in denen solche Effektpigmente Verwendung finden, unterschiedlich ist. Um dem Rechnung zu tragen, hat man unter anderem bei Audi spezielle Farbdifferenzformeln für diesen Fall entwickelt (Audi 95-Farbtoleranz).

Die Performanz dieser von Audi entwickelten Farbdifferenzformel war so zufriedenstellend, dass man sie als Grundlage für die Normung genommen und daraus eine DIN-Farbdifferenzformel für Effektlacke abgeleitet und in der DIN 6175 Teil 2 von 2001 definiert hat.

DIN6175 (2019)

Neuere Effektlacke, die mit feineren Pigmenten hergestellt und Uni-Lackierungen sehr ähnlich waren, zeigten die Grenzen obiger Farbdifferenzbewertung auf. Das inzwischen gesammelte Datenmaterial und Modifikationen an dem grundsätzlichen Farbdifferenz-Modell erlaubten, die Optimierung von entsprechenden Modellparametern anzustoßen, um daraus eine neue, Audi 2000 genannte, Farbdifferenzformel herzuleiten. Der Vorteil dieser Formel ist, sie setzt sich additiv aus verschiedenen Termen zusammen, wovon nur einer, Flop-Term genannt, speziell für die Bewertung von Effektlackierungen ist. Das bedeutet, durch Weglassen dieses Terms hat man somit auch eine Farbdifferenzformel für Uni-Lackierungen.

Die Performanz dieser neuen Formel war wiederum so überzeugend, dass man hierauf basierend erneut eine DIN- Farbdifferenzformel abgeleitet hat. Da diese sowohl für Effekt- als auch für Uni-Lackierungen gilt, konnte man somit die Zweiteilung der Norm DIN 6175 wieder aufheben.