

# Eigenschaften des Farbenraumes nach DIN 6176 (DIN99-Formel) und seine Bedeutung für die industrielle Anwendung

Dipl.-Ing. Hendrik Büring

*Institut für Technische Elektronik  
RWTH Aachen  
Templergraben 55, D 52056 Aachen*

e-Mail: [bueing@ite.rwth-aachen.de](mailto:bueing@ite.rwth-aachen.de)

url: <http://www.ite.rwth-aachen.de>

## Kurzfassung

Der CIELAB-Raum [1] ist weithin akzeptiert als geräteunabhängiger Farbenraum, allerdings weist er eine ungenügende Gleichabständigkeit auf, wodurch die Festlegung von Farbtoleranzen erst mit Hilfe einer komplexen Farbabstandsformel wie der CMC- [2], CIE94- [3] oder der CIEDE2000-Formel [4] möglich wird. Eine elegantere und anschauliche Möglichkeit besteht darin, den CIELAB-Raum in einen gleichabständigen Farbraum zu transformieren und wieder auf die ursprüngliche  $\Delta E$ -Abstandsformel [1] zurückzugreifen. Die vom Arbeitsausschuss FNF/FNL 2 "Farbmetrik" entwickelte Farbraumtransformation in Kombination mit der euklidischen Abstandsformel wird als DIN99-Formel bezeichnet und ist als DIN 6176:2001-03 [5] genormt.

## 1 Einleitung

Der CIELAB-Raum ist weithin akzeptiert als geräteunabhängiger Farbenraum, obwohl das eigentliche Ziel, einen der Wahrnehmung angepaßten, visuell gleichabständigen Farbenraum zu schaffen, nur eingeschränkt erreicht wurde. Um die Unzulänglichkeiten zu kompensieren, wurde die Formel zur Bestimmung des Farbabstandes schrittweise erweitert, ausgehend vom euklidischen Abstand  $\Delta E$  über die CMC- und CIE94- bis hin zur komplexen CIEDE2000-Formel.

Abweichend davon wurde vom Arbeitsausschuss FNF/FNL 2 "Farbmetrik" ein weiterer, aus dem CIELAB-Raum fortentwickelter, nichtlinear transformierter Farbenraum für Körperfarben ausgearbeitet, der die CIE94-Formel annähert; als Farbabstandsmetrik wird analog zur ursprünglichen CIELAB-Formel der euklidische Abstand verwendet. Abweichend zur CIE94-Formel beinhaltet die Farbraumtransformation auch eine Modifikation der Helligkeit und eine Abminderung der Gelb-Blau-Komponente.

Die DIN99-Formel soll ebenso wie die CIE94-Formel nur für kleine Farbabstände verwendet werden. Näheres zu dieser Problematik wurde von Völz [6] dargelegt.

In diesem Vortrag werden die Grundlagen, die zur DIN99-Formel führen, anhand der CIE94-Formel vorgestellt und die Eigenschaften des neuen Farbenraumes visualisiert, indem zunächst die Auswirkungen der Transformationsformeln auf das Koordinatensystem erläutert werden. Daran anschließend werden bekannte Farbkörper wie der Optimalfarben- und der sRGB-Farbkörper sowohl im CIELAB- als auch im DIN99-Farbenraum dargestellt, wodurch sich ein interessanter Einblick in die Chromatransformation ergibt. Außerdem werden die Gemeinsamkeiten bzw. Abweichungen der DIN99-Formel zu den CIE94- und CIEDE2000-Formeln anhand von Diagrammen aufgezeigt.

## 2 Entwicklung der Farbabstandsformeln

Der CIELAB-Raum wurde als näherungsweise empfindungsangepaßt konstruiert; demzufolge sah die erste Definition eines Farbabstandsmaßes  $\Delta E$  den euklidischen Abstand im CIELAB-Raum vor, also die geometrische Entfernung zweier zu vergleichender Punkte. Im weiteren Verlauf der Entwicklung stellte sich jedoch heraus, daß der CIELAB-Raum in Verbindung mit dieser einfachsten Farbabstandsformel die empfindungsgemäß wahrgenommenen Farbunterschiede nur eingeschränkt wiedergibt. So werden Farbunterschiede mit gleichem Farbabstandsmaß  $\Delta E$  im Bereich gesättigter Farben als weniger stark empfunden, verglichen mit denjenigen im unbunten Bereich (Grauachse).

Um die Unzulänglichkeiten zu kompensieren, wurde die Formel zur Bestimmung des Farbabstandes schrittweise erweitert, ausgehend vom euklidischen Abstand  $\Delta E$  über die CMC- und CIE94- bis hin zur komplexen CIEDE2000-Formel. In diesen Formeln wird zunächst von der kartesischen in eine zylindrische Farbdarstellung übergegangen, also von der Rot-Grün- und Gelb-Blau-Buntheit  $a^*$  bzw.  $b^*$  zur radialen Buntheit  $C^*$  (Chroma) und dem Bunttonwinkel  $h^*$ . Auf diese Weise kann der genannten Unempfindlichkeit im Bereich gesättigter Farben Rechnung getragen werden, indem dort die Chroma- und Bunttondifferenzen geeignet abgemindert werden.

## 3 Neuer Ansatz: Farbraumtransformation

Abweichend von der bisherigen Praxis, mit immer komplexeren Farbabstandsformeln die nur eingeschränkte Anpassung des Farbraumes an die visuelle Wahrnehmung zu kompensieren, wurde vom Arbeitsausschuss FNF/FNL 2 "Farbmetrik" ein weiterer Farbenraum für Körperfarben ausgearbeitet. Dieser ist aus dem CIELAB-Raum fortentwickelt und nähert durch eine nichtlineare Chroma-Transformation die CIE94-Formel an; als Farbabstandsmetrik wird analog zur ursprünglichen CIELAB-Formel der euklidische Abstand verwendet.

Abweichend zur CIE94-Formel beinhaltet die Farbraumtransformation auch eine Modifikation der Helligkeit und eine Abminderung der Gelb-Blau-Komponente. Demgegenüber wird in der neueren CIEDE2000-Formel die Rot-Grün-Komponente verstärkt, das Gewichtungsverhältnis zwischen den genannten Komponenten ist allerdings mit 0,7 ( $b_{99}/a_{99}$ ) bzw. 1/1,5 (CIEDE2000) annähernd gleich; Unterschiede ergeben sich nur in der Größe der Toleranzellipsen, die bei Rücktransformation der DIN99-Formel im Bereich der Grauachse um den Faktor 1/0,7 größer ausfallen.

Weitere Verfeinerungen der CIEDE2000-Formel wurden bei der Entwicklung der DIN99-Formel nicht berücksichtigt; gleichwohl wurde in einer jüngst veröffentlichten Untersuchung [7] nachgewiesen, daß die DIN99-Formel mit ihrer deutlich geringeren Komplexität auch so schon durchaus vergleichbar gute Resultate wie die CIEDE2000-Formel liefert; die Ergebnisse konnten durch Parametervariationen in der DIN99-Formel weiter angeglichen werden.

### 3.1 Transformationsformeln

Die Farbraumtransformation, also der Hauptteil der DIN99-Formel, ist separierbar in eine Helligkeitsmodifikation und eine Chromatransformation, dementsprechend wird in den Folgeabschnitten auf beide Teilformeln getrennt eingegangen.

Anschließend an die Transformation können aus den neuen Koordinaten die Größen  $C_{99}$  (Chroma),  $h_{99}$  (Bunttonwinkel) sowie der Farbabstand  $\Delta E_{99}$  mit den gleichen Formeln wie im ursprünglichen CIELAB nach gewohnter Weise berechnet werden.

### 3.2 Helligkeitsmodifikation

Die CIELAB-Helligkeit  $L^*$  wird durch die logarithmische Transformation

$$L_{99} = 105,51 \cdot \ln(1 + 0,0158 \cdot L^*) \quad (1)$$

in die DIN99-Helligkeit  $L_{99}$  überführt. Dies ist in grober Näherung vergleichbar mit der Anwendung einer Potenzfunktion bei Wahl des Exponenten („Gamma“) von etwa 3/4. So wird der besseren visuellen Unterscheidbarkeit in dunkleren Farbtönen Rechnung getragen: Die numerische Repräsentation der Mitteltöne wird angehoben, wodurch im Bereich der Tiefen eine Streckung und im Bereich der Lichter eine Stauchung erfolgt.

Diese Helligkeitsmodifikation ist einer der beiden Gründe, weswegen die nach der DIN99-Formel ermittelten Farbabstände von denjenigen abweichen, die nach der CIE94-Formel im CIELAB-Raum bestimmt werden.

### 3.3 Chromatransformation

Die CIELAB-Rot-Grün- und -Gelb-Blau-Komponenten  $a^*$  und  $b^*$  bzw. die CIELAB-Buntheit  $C^*$  (Chroma) und der Bunttonwinkel  $h^*$  werden in drei Schritten in die DIN99-Koordinaten transformiert:

1. Drehung der Buntheitskoordinaten(-achsen) um  $16^\circ$
2. Abminderung der Gelb-Blau-Komponente um den Faktor 0,7
3. Logarithmische, radiale Chroma-Kompression

Dabei ist es im allgemeinen programmiertechnisch günstiger, die in der Norm vorgesehene Berechnung des Bunttonwinkels  $h_{99}$  erst bei Bedarf durchzuführen; zur Berechnung des Farbabstandes oder auch nur der DIN99-Koordinaten ist die Kenntnis des Winkels – anders als bei den genannten komplexen Farbabstandsformeln – jedenfalls nicht erforderlich. Auf diese Weise können mindestens zwei trigonometrische Funktionsberechnungen eingespart werden; stattdessen ist es ausreichend, im letzten Schritt die Rot-Grün- und Gelb-Blau-Komponenten mit dem Chroma-Kompressionsfaktor, hier benannt als  $k$ , abzumindern.

Unter Berücksichtigung dieser Optimierung entstehen folgende Transformationsformeln:

$$e = a^* \cdot \cos 16^\circ + b^* \cdot \sin 16^\circ \quad (2)$$

$$f = 0,7 \cdot (b^* \cdot \cos 16^\circ - a^* \cdot \sin 16^\circ) \quad (3)$$

$$g = 0,045 \cdot \sqrt{e^2 + f^2} \quad (4)$$

$$k = \ln(1+g)/g \quad (5)$$

$$a_{99} = k \cdot e \quad (6)$$

$$b_{99} = k \cdot f \quad (7)$$

(im Sonderfall  $a^* = b^* = 0$  gilt stattdessen  $a_{99} = b_{99} = 0$ .)

Die Abminderung der Gelb-Blau-Komponente  $f$  bzw.  $b_{99}$  ist die zweite Ursache für Abweichungen von mit der CIE94-Formel bestimmten Farbabständen.

### 3.4 Einfluß auf den Bunttonwinkel

Alle Farben, die im CIELAB-Raum denselben Bunttonwinkel  $h^*$  aufweisen, liegen auch im DIN99-Farbenraum in einer Halbebene mit konstantem Bunttonwinkel  $h_{99}$ . Diese Tatsache folgt unmittelbar aus den im vorigen Abschnitt vorgestellten Formeln zur Chromatransformation: Zunächst wird der Winkel, verglichen mit  $h^*$ , durch Anwendung der Drehmatrix gleichförmig um  $16^\circ$  verringert; die nachfolgende Abminderung der Gelb-Blau-Komponente  $f$  bzw.  $b_{99}$  bewirkt allerdings eine weitere, ungleichförmige Modifikation um bis zu  $\pm 10^\circ$ . Die abschließende nichtlineare, radiale Kompression beläßt den so gewonnenen Winkel  $h_{99}$  unverändert. Die Differenz zwischen den Winkeln  $h^*$  und  $h_{99}$  variiert also im Bereich von  $6^\circ$  bis  $26^\circ$ .

## 4 Visualisierung

Zur Visualisierung der in den vorigen Abschnitten vorgestellten Formeln werden nachfolgend einige anschauliche Beispiele dargestellt; auf der linken Seite der Abbildungen 1 bis 3 ist die – bekanntere – Darstellung im CIELAB-Raum angeordnet, auf der rechten die entsprechende im transformierten DIN99-Raum.

### 4.1 Koordinatensystem

Die Auswirkungen der Transformationsformeln auf das Koordinatensystem werden am Beispiel einer Ebene konstanter Helligkeit in Abbildung 1 dargestellt. Außer der im Abschnitt 3.4 beschriebenen Drehung der Buntheitskoordinaten im Uhrzeigersinn – oder, alternativ gesehen, der entgegengerichteten Drehung der Achsen – wird die Abminderung der Gelb-Blau-Komponente um den Faktor 0,7 an den abgebildeten konzentrischen Kreisen deutlich, die zu Ellipsen werden. Weiterhin ist zu beachten, daß der rechte Teil der Abbildung 1 um den Faktor 2 vergrößert wurde, um Details besser darstellen zu können.

### 4.2 Optimalfarbkörper

Ein Optimalfarbkörper umfasst alle Körperfarben bei gegebenem Beleuchtungsspektrum [8], wobei etwaige Lumineszenzeffekte nicht berücksichtigt werden. In Abbildung 2 wird also der Umfang der – nur theoretisch erzeugbaren – buntesten Farben in Graustufen angedeutet. Eine farbrichtige Wiedergabe ist demgegenüber weder mit einem Monitor noch mit einem herkömmlichen Druckprozeß möglich, dazu würden beispielsweise Pigmente mit rechteckförmigem Reflexionsspektrum separat für jede darzustellende Farbe benötigt.

Der linke Teil der Abbildung ist gegenüber der Abbildung 1 um den Faktor 1,5 verkleinert, sodaß zwischen beiden Teilen der Abbildung 2 ein Faktor von 3 resultiert.

### 4.3 sRGB-Farbkörper

Das standardisierte RGB, kurz sRGB [9,10], verwendet die in ITU-R BT.709 spezifizierten Farbkoordinaten der Phosphore und D65 als Weißpunkt. Weiterhin wird bei der Transformation von XYZ nach sRGB außer der durch obige Angaben bestimmten Matrix – analog zur Transformation nach  $L^*a^*b^*$  – eine aus zwei Teilen zusammengesetzte Funktion benutzt, die näherungsweise mit einer Potenzfunktion bei Wahl des Exponenten („Gamma“) von 2,2 übereinstimmt. In Abbildung 3 ist der Farbumfang eines sRGB-konformen Monitors dargestellt, die Vergrößerungsfaktoren sind wie bei Abbildung 1 gewählt.

## 5 Vergleich mit optimierten Farbabstandsformeln im CIELAB-Raum

Als Abschluß werden die Gemeinsamkeiten der DIN99-Formel zu den CIEDE2000- und CIE94-Formeln anhand von Farbabständen synthetischer Farbkeile aufgezeigt. Dazu werden radial verlaufende Chromakeile angenommen, die jeweils von Feld zu Nachbarfeld im Abstand von  $1 \Delta E$  (CIELAB) gestuft sein sollen. Mit zunehmendem Radius (Chroma) wird bei allen betrachteten Formeln der ermittelte Farbabstand immer stärker abgemindert, um der menschlichen Wahrnehmung zu entsprechen. Die resultierenden Farbabstände können in Abbildung 4 abgelesen werden.

Grundsätzlich ist der Verlauf der Abminderung gleich, allerdings wird der Farbabstand kleiner Chromawerte  $C^*$  bei CIEDE2000 in Richtung der  $a^*$ -Achse ( $h=0^\circ$  &  $180^\circ$ ) um den Faktor 1,5 größer bewertet, wogegen in diesem Bereich bei DIN99 in Richtung der  $b_{99}$ -Achse ( $h_{99}=90^\circ$  &  $270^\circ$ ) um den Faktor 0,7 abgeschwächt wird (vergleiche dazu auch Abbildung 1 rechts, innerste Ellipse). Die Farbabstände in der jeweils orthogonalen Richtung, also  $b^*$  bzw.  $a_{99}$  werden identisch zur CIE94-Formel bewertet; das Verhältnis (Gelb-Blau-Buntheit zu Rot-Grün-Buntheit) wird also in beiden Formeln zu etwa 0,7 gewählt.

## 6 Zusammenfassung

Der DIN99-Farbenraum stellt offensichtlich eine gute Näherung der CIE94-Formel dar; darüberhinaus sind weitere Verbesserungen eingeflossen, die eine Vergleichbarkeit mit der CIEDE2000-Formel durchaus als gerechtfertigt erscheinen lassen.

Der Aufbau des neuen Farbenraums ist vollständig kompatibel zum CIELAB-Raum, sodaß Datenformate und Methoden problemlos übernommen werden können. Der einzige Unterschied zum vertrauten CIELAB ist nur, daß die visuelle Gleichabständigkeit nun perfektioniert worden ist; die Zahlenwerte der Messungen sind verändert, die Interpretation als Helligkeit und Rot-Grün- bzw. Gelb-Blau-Buntheit jedoch ist unverändert geblieben.

Der größte Vorteil des DIN99-Farbenraums ist zweifellos die simple, intuitive euklidische Abstandsformel, wodurch eine einfache Anwendung auch in der Industrie gewährleistet ist und somit eine hohe Akzeptanz zu erwarten sein wird.

## 7 Literatur / Veröffentlichungen

- [1] DIN 6174, Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel
- [2] ISO 105-J03: Textiles - Tests for Color Fastness, 1st Ed., Geneva, 1995
- [3] CIE Publication No. 116, Industrial Colour-Difference Evaluation, Vienna, 1995
- [4] CIE Publication No. 142, Improvement to Industrial Colour-Difference Evaluation, Vienna, 2001
- [5] DIN 6176:2001-03, Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der DIN99-Formel
- [6] Völz HG, Die Berechnung großer Farbabstände in nichteuklidischen Farbräumen, Die Farbe 44, 1998
- [7] Cui G, Luo MR, Rigg B, Roesler G, Witt K. Uniform Colour Spaces Based on the DIN99 Colour-Difference Formula, Color Res Appl 2002;27:282-290
- [8] Wyszecki G, Stiles WS, Color Science, John Wiley & Sons, New York, 1982
- [9] IEC 61966-2-1: Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Default RGB colour space – sRGB, Geneva, 1999
- [10] <http://www.srgb.com>

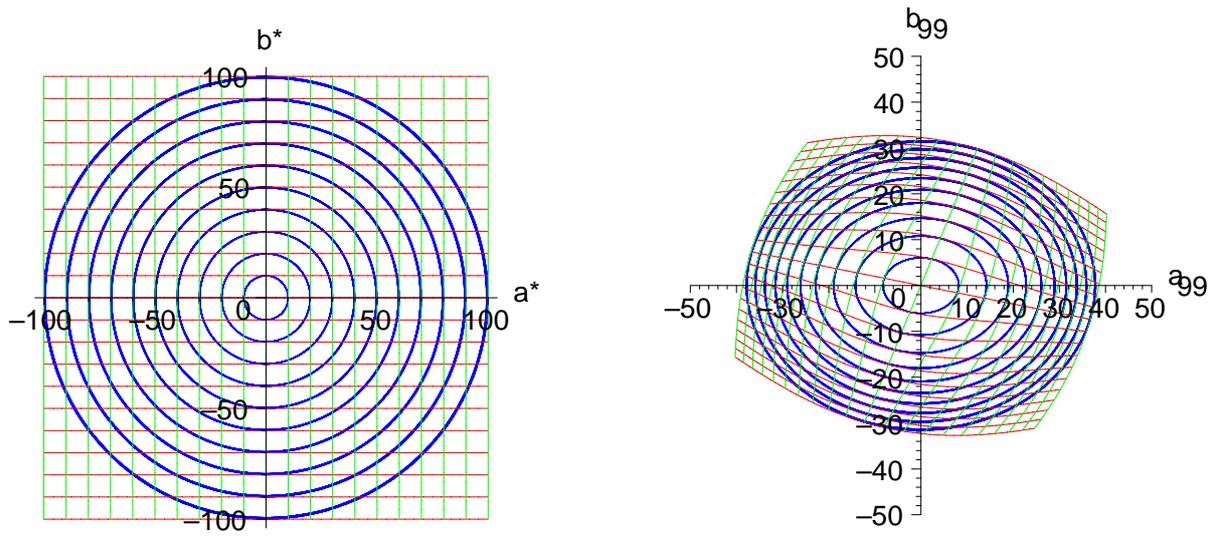


Abb. 1:  $a^*b^*$ -Ebene ( $L^*=const.$ , links), sowie deren DIN99-Transformierte (rechts)

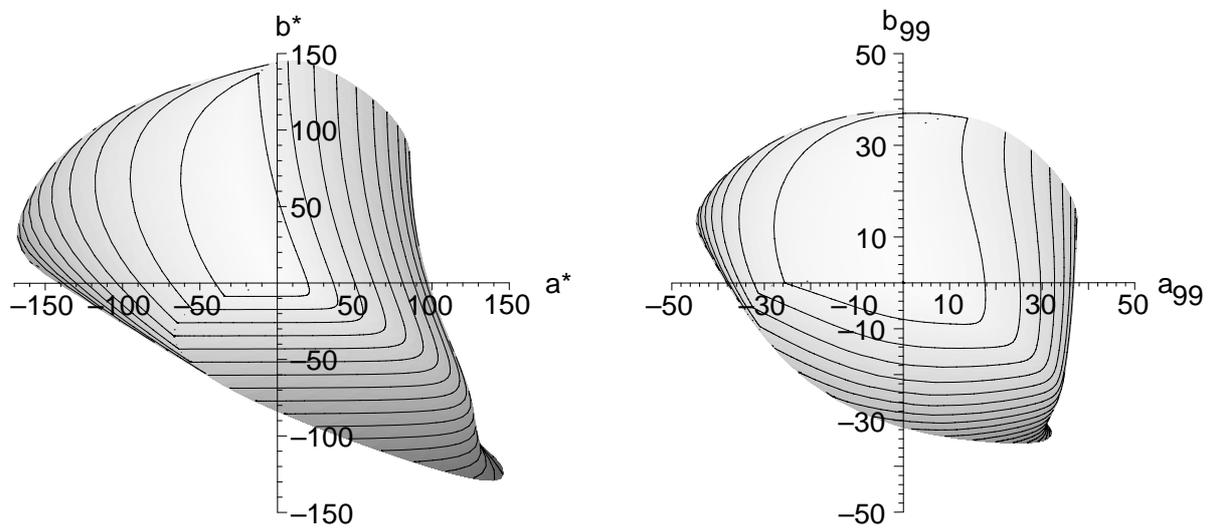


Abb. 2: Optimalfarbkörper im CIELAB (links) bzw. DIN99-Farbenraum (rechts)

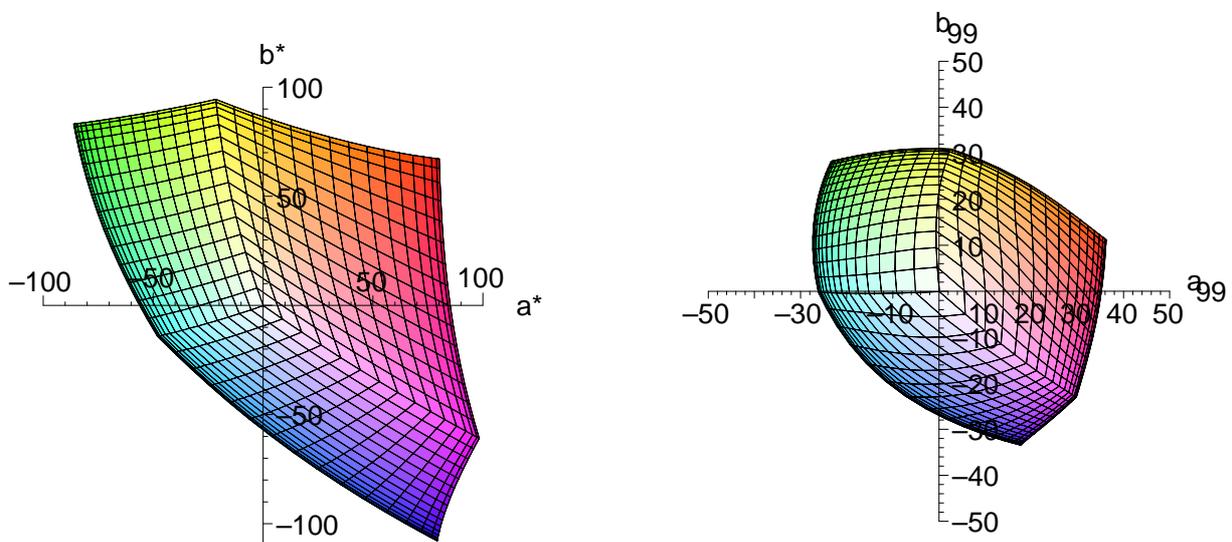
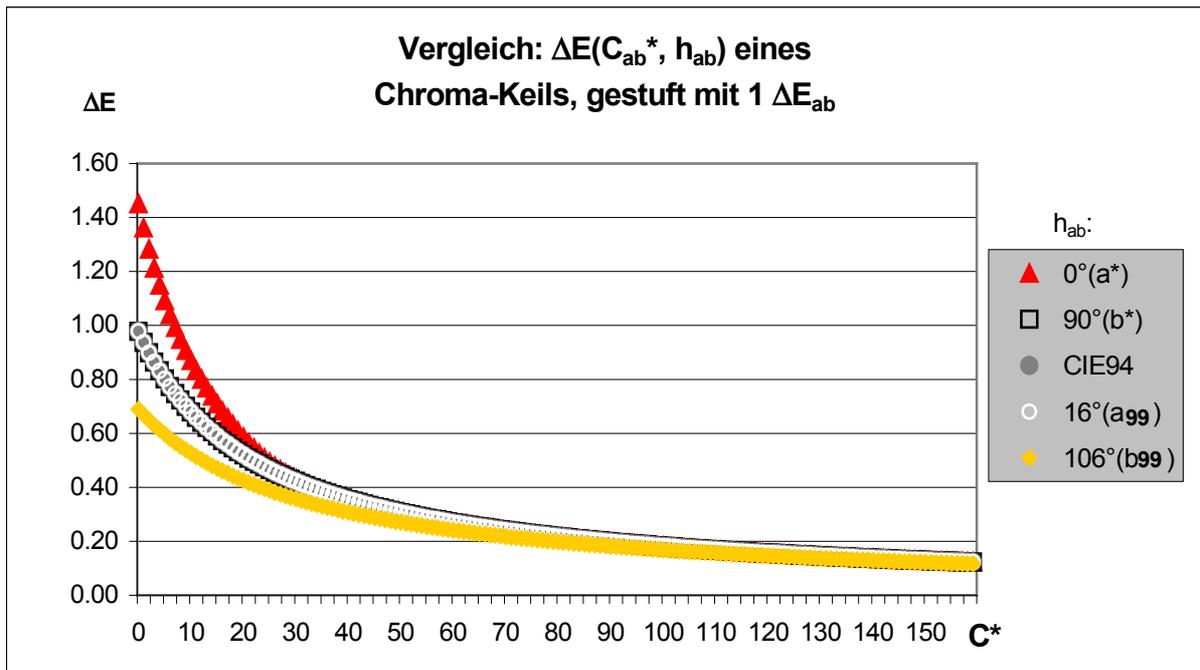


Abb. 3: sRGB-Farbkörper im CIELAB (links) bzw. DIN99-Farbenraum (rechts)



**Abb. 4: Vergleich der Farbabstände nach CIEDE2000, CIE94 und DIN99 eines linear gestuften Chroma-Keils in Richtung der Hauptachsen**