

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Prof. Dr. Klaus Richter, BAM und TU Berlin
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), VIII.1
Unter den Eichen 87, D-12200 Berlin
Tel. +49 30 8104 1834; Fax +49 30 8104 1807
klaus.richter@bam.de

Version 1.5: 2007-09-12

Siehe die Webseite der Projektgruppe VIII.34, Visuelle Methoden und Farbwiedergabe

<http://www.ps.bam.de>

Für die deutsche Version dieser Veröffentlichung, siehe (1,3 MByte, 39 Seiten)

http://www.ps.bam.de/D33872_A.PDF

Für die *PS*- und *PDF*-Prüfdateien in deutsch und englisch zum Entwurf (D=Draft) der Normenreihe DIN 33872, siehe

<http://www.ps.bam.de/33872D>

<http://www.ps.bam.de/33872DE>

Zum Inhalt der Normenreihe E DIN 33872-1 bis -6

Die mehrteilige Normenreihe E DIN 33872 "Informationstechnik – Büro- und Datentechnik – Verfahren zur Kennzeichnung der relativen Farbwiedergabe mit JA/NEIN Kriterien" gilt für Farbwiedergabesysteme „digital – analog“. Das Farbwiedergabesystem beinhaltet z. B. das Rechnerbetriebssystem und die Anwendersoftware für eine analoge Ausgabe einer digitalen Datei auf den Geräten

- Drucker;
- Multifunktionsgeräte;
- Displays;
- Datenprojektoren.

Die Normenreihe beschreibt Verfahren zur Kennzeichnung der relativen Farbwiedergabe der Ausgabe nach definierten JA/NEIN Kriterien. Ziel ist die visuelle Beurteilung der Ausgabeeigenschaften dieser Farbwiedergabesysteme.

Die Normenreihe E DIN 33872 "Informationstechnik – Büro- und Datentechnik – Verfahren zur Kennzeichnung der relativen Farbwiedergabe mit JA/NEIN Kriterien" besteht aus:

- *Teil 1: Einteilung, Begriffe und Grundlagen*
- *Teil 2: Prüfdateien für Ausgabeeigenschaften – Prüfung der 5 und 16stufigen Farbreihen*
- *Teil 3: Prüfdateien für Ausgabeeigenschaften – Prüfung der vier äquivalenten Graudefinitionen und Unterscheidbarkeit der 16 Graustufen*
- *Teil 4: Prüfdatei für Ausgabeeigenschaften – Prüfung der Gleichheit für zwei äquivalente Farbdefinitionen mit 5 und 16stufigen Farbreihen*
- *Teil 5: Prüfdatei für Ausgabeeigenschaften – Prüfung der Elementarbusnton-Übereinstimmung und der Busnton-Unterscheidbarkeit*
- *Teil 6: Prüfdateien für Ausgabeeigenschaften: Prüfung der äquivalenten Stufung und der regulären chromatischen Stufung*

ANMERKUNG: Für **Prüfvorlagen** von DIN 33872-2 bis -6 im *PS*- und *PDF*-Format sowie mit *rgb*- und *cmy0*-Eingabedaten siehe die folgende URL

<http://www.ps.bam.de/RLAB00>

Teil 1 enthält Einteilung, Begriffe und Grundlagen, die durch die vorliegende farbmetrische Ergänzung weiter erläutert werden. Der DIN Normenausschuß Informationstechnik „Bürosysteme“ hat auf seiner Sitzung im März 2007 beschlossen, diese farbmetrische Ergänzung in einer separaten Veröffentlichung im Internet auf dem obigen BAM-Server zu publizieren.

Hierdurch ist eine kostenlose langfristige Bereitstellung der farbmetrischen Ergänzung mit vielen Farbbildern als *PDF*-Datei mit kleiner Dateigröße möglich. Mit dieser Methode können zusätzlich alle Farbbilder in skalierbarer Vektorgrafik bereit gestellt und direkte Links in der *PDF*-Datei zu Prüfdateien und zu farbmetrischen Beispielrechnungen realisiert werden, die auf dem oben angegebenen BAM-Server verfügbar sind.

Zusammenfassung

Die farbmetrische Ergänzung zum Entwurf DIN 33872 enthält in Abschnitt 1 Hinweise auf andere Normdokumente des Bereichs Farbbildwiedergabe. In den Abschnitten 2 und 3 werden die von Benutzern verwendeten Farben im Fernsehen und Druck sowie in Farbordnungssystemen und der Informations-Technologie beschrieben. In den Abschnitten 4 bis 6 sind farbmetrische *Norm*-, *adaptierte* und *relative* CIELAB-Daten aus diesen Bereichen

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

angegeben. Abschnitt 7 enthält Berechnungsbeispiele. Abschnitt 8 bis 10 enthält Grundlagen des CIELAB-Farbsystems, der Farben gleicher Schwarzheit und der vier visuellen Elementarfarben *RJGB* sowie ihrer besonderen Bedeutung für benutzerfreundliche Koordinaten in der Informationstechnologie. Abschnitt 11 betrachtet in Bunttendreiecken die *affine* Ausgabestrategie von DIN 33872 und andere Möglichkeiten zur Reproduktion von 16stufigen Farbreihen auf verschiedenen Ausgabegeräten. Abschnitt 12 ergänzt die farbmetrischen Kennzeichnungen vieler Ausgaben in DIN 33872 durch eine zusätzliche Kennzeichnung für D50 und D65 mit *cmy*-Eingabedaten bei gleichem Drucker.

1. Normdokumente Farbbildwiedergabe

Tabelle 1 – Normenreihe DIN 33866 und Anwendungsbereich

Eingabe	Ausgabe	Ein- und Ausgabemedien sowie Anwendungen			Norm
		Eingabemedium	Ausgabe	Anwendung	
–	–	–	–	Grundlagen	DIN 33866–1
analog	analog	DIN-Prüfvorl. (Hardcopy)	Hardcopy	Kopierer	DIN 33866–2
analog	digital	DIN-Prüfvorlage (Hardcopy)	Datei	Scanner	DIN 33866–4
digital	analog	DIN-Prüfvorlage (Datei)	{ Hardcopy Softcopy	Drucker Monitor	DIN 33866–3 DIN 33866–5

YG900-3

Table 2 – Internationale Normen und Technische Berichte, die DIN 33866 entsprechen

Eingabe	Ausgabe	Ein- und Ausgabemedien sowie Anwendungen			Technischer Bericht (TR) oder Norm
		Eingabemedium	Ausgabe	Anwendung	
–	–	–	–	Grundlagen	ISO/IEC TR 24705
analog	analog	ISO/IEC-Prüfvorl. (Hardcopy)	Hardcopy	Kopierer	ISO/IEC 15775
analog	digital	ISO/IEC-Prüfvorlage (Hardcopy)	Datei	Scanner	ISO/IEC TR 24705
digital	analog	ISO/IEC-Prüfvorlage (Datei)	{ Hardcopy Softcopy	Drucker Monitor	ISO/IEC TR 24705 ISO/IEC TR 24705

YG900-7

Die Tabellen 1 und 2 zeigen Normen und Technische Berichte in denen die gleichabständige visuelle und farbmetrische Ausgabe für gleichabständige digitale Eingabedaten definiert ist. Die Tabellen 1 und 2 zeigen den Zusammenhang zwischen DIN 33866-1 bis 5, ISO/IEC 15775 und ISO/IEC TR 24705.

DIN 33866 legt *PS*- und *PDF*-Prüfdateien mit digitalen *cmy0*-Eingabedaten für die Druckerausgabe fest. Zunehmend werden jedoch *rgb*-Eingabedaten verwendet. Diese zeigen verschiedene Ausgaben, da die Soft- und Hardware zunehmend nicht mehr die linearen „1-Minus-Beziehungen“ zwischen *cmy0*- und *rgb*-Daten verwendet. Diese „1-Minus-Beziehungen“, zum Beispiel $c = 1 - r$, werden visuell gefordert und sind in *PostScript* linear definiert. Die Ausgaben von diesen äquivalenten digitalen Farbdaten sind auf manchen Gerätesystemen farbmetrisch um bis zu 30 CIELAB verschieden bei einem Unterschied von 75 CIELAB zwischen Schwarz und Weiß.

In ISO/IEC 15775 wird eine farbmetrische Ausgabeteranz von 3 CIELAB definiert. Mit vielen Ausgabegeräten wird die Standardabweichung von 1 CIELAB erreicht. Das entspricht der visuellen Unterscheidbarkeit. Ausgabeunterschiede bis zu 30 CIELAB können unter anderem durch die folgenden Quellen entstehen: Betriebssystem, Anwendersoftware, Gerätetreiber, Druckersoftware und Lichtart bei der Farbbeurteilung.

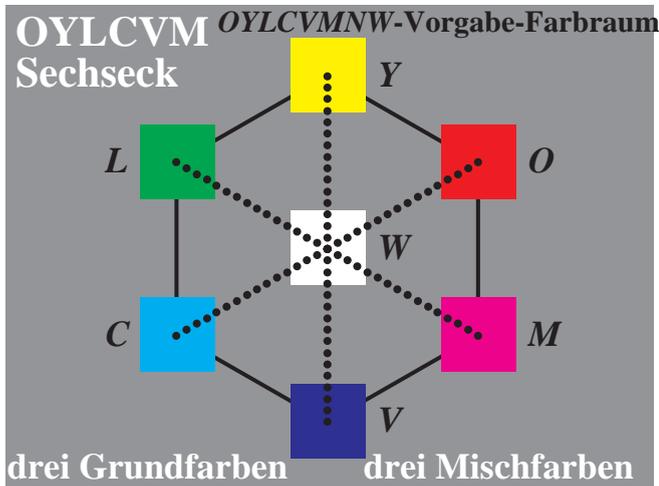
Die Ausgabe der Prüfdateien nach DIN 33872-2 bis -6 ergibt Gerätesystemfarben, die sich durch das Zusammenwirken der fünf Quellen ergeben. Die Ausgabe wird visuell beurteilt und/oder farbmetrisch gekennzeichnet. Diese Prüfung ist sowohl für den Anwender als auch den Gerätehersteller von Vorteil. Ändern sich bei der Ausgabe die

Gerätesystemfarben, so kann oft die mögliche Quelle der Änderung ermittelt werden.

Die Prüfung kann zu einer stabilen Speicherung und Ausgabe von digitalen Farbdaten für den Anwender beigetragen. Der Anwender erhält eine Hilfe für die Auswahl von Betriebssystem, Anwendersoftware, Gerät, Gerätetreiber und Beleuchtung. Eine linearisierte Ausgabe ist die Voraussetzung für die Sicherheit der Erkennung von definierten Farbunterschieden, die in den *rgb*- oder *cmj*-Prüfdateien nach DIN 33872-2 bis -6 enthalten sind.

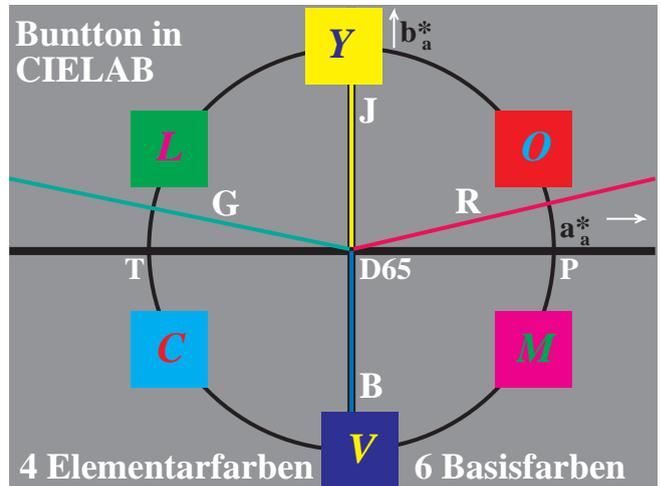
2. Farben im Druck und Fernsehen

Dieser Abschnitt stellt schematisch die im Druck und Fernsehen verwendeten Farben dar.



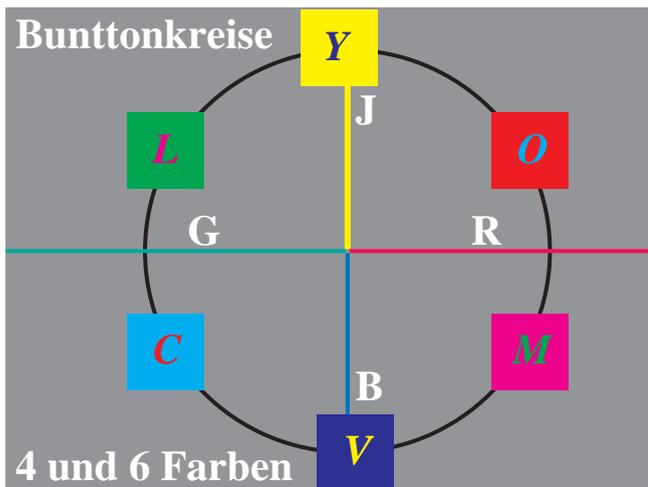
Teil 1

YG720-1



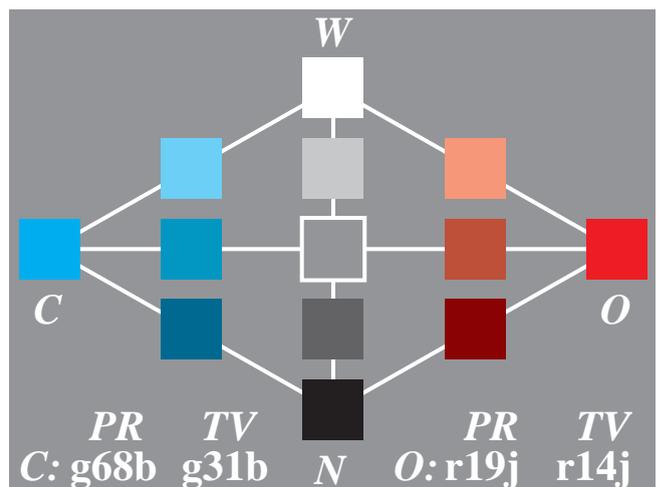
Teil 2

YG720-2



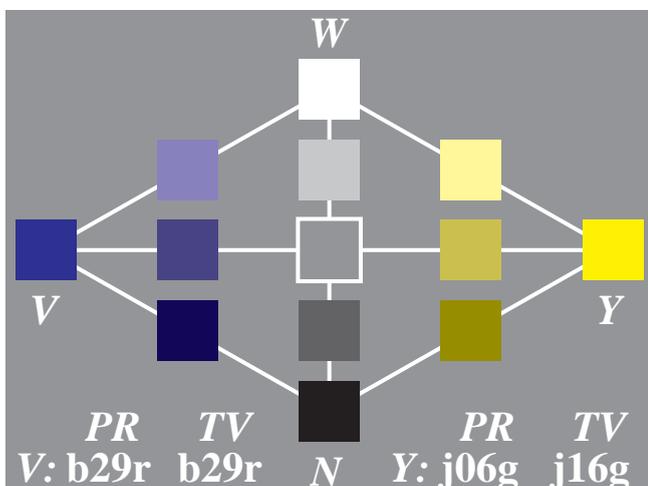
Teil 3

YG720-3



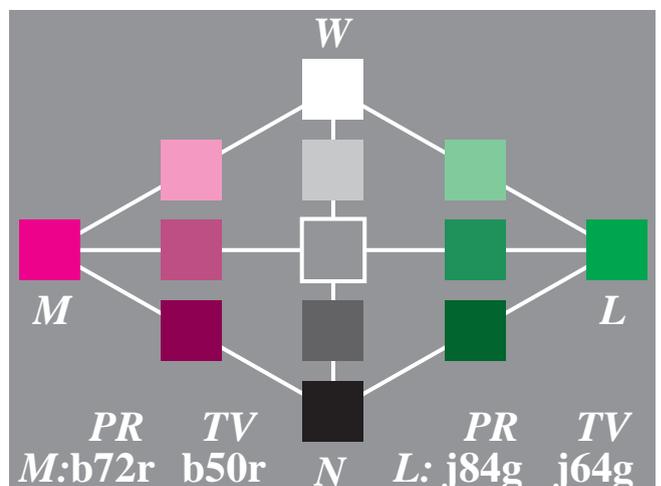
Teil 4

YG720-4



Teil 5

YG720-5



Teil 6

YG720-6

Bild 1 – Farben OLV und CMY von Fernsehen (TV) und Druck (PR) und Vergleich mit Elementarfarben RJGB

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Bild 1 Teil 1 (*oben links*) zeigt die sechs Farben *OYLCVM* von Fernsehen (TV) und Druck (PR) nach ISO/IEC 15775. Die Bunttonfolge der sechs bunten Farben $X = OYLCVM$ ist entweder in einem *Farbensechseck* oder einem *Bunttonkreis* darstellbar. Für einen konstanten Buntton werden die Farben gewöhnlich in einem *Farbdreieck* mit Schwarz N und Weiß W auf der vertikalen Achse dargestellt. Die Darstellung im Bunttondreieck entspricht der Erfahrung im Umgang mit Farbmitteln, da in der Anwendung die Farben meist aus Schwarz N und Weiß W , oder aus Bunt X und Weiß W , oder aus Bunt X und Schwarz N anteilig gemischt werden. Die Winkel wurden hier schematisch beginnend mit 30 Grad und jeweils um 60 Grad verschoben angenommen und zwar gleich für TV (=Television) und PR (= Print). Die Winkel sind in der Anwendung je nach Monitor und Drucker verschieden und sind in Bild 7 von Abschnitt 6 für die Standardprozesse CRT-Monitor (TV) und Offsetdruck (PR) dargestellt.

Die sechs bunten Gerätefarben $X = OYLCVM$ sind *geräteabhängig*. Das visuelle menschliche Farbsehensystem benutzt vier *geräteunabhängige* Elementarfarben *RJGB* zur Beschreibung aller Bunttöne. Um die zunehmende Geräteabhängigkeit der Farbausgabe zu beschränken, wünschen viele Benutzer eine *geräteunabhängige* Bunttonausgabe. Diese Benutzer erwarten, daß bei Eingabe von *rgb*-Daten mit den Werten (1,0,0), (0,1,0) und (0,0,1) die drei Elementarfarben Rot R , Grün G und Blau B bei der Geräteausgabe entstehen. Die Elementarfarbe Gelb J soll mit den Daten (1,1,0) entstehen. Daher wird in DIN 33872 Teil 5 geprüft, ob eine Buntton-Übereinstimmung mit den Elementarfarben vorliegt.

Die Winkellage im *adaptierten* CIELAB-Buntheitsdiagramm (a^*_a, b^*_a) der vier Elementarfarben Rot R , Gelb J , Grün G und Blau B im Vergleich zu den bunten Gerätegrundfarben $X = OYLCVM$ ist im Bild1 oben rechts angegeben. Oft werden die Elementarfarben $R - G$ und $J - B$ auf die horizontale und vertikale Achse gelegt (siehe Bild1, *Teil 3 Mitte links*). Die visuelle Lage wird oft in Prozent angegeben, zum Beispiel Orangerot O (86%R) und Gelb J (14%J) das in der Kurzform $r14j$ geschrieben wird (siehe Bild1, *Teil 4 Mitte rechts für TV*). Bild1 zeigt in den Teilen 3 bis 6 buntongleiche Schnitte der Gerätefarbpaare $O - C$, $V - Y$ und $M - L$ und enthält den Elementarfarb-Bunttontext u^* für den Norm-Druckprozeß (PR) und den Norm-Fernsehmonitor (TV).

Die Farbe O des Druckprozesses liegt entsprechend Bild 1 in der Mitte rechts für PR bei $r19j$ und für TV bei $r14j$. Orangerot O von PR enthält daher visuell 81% Rot und 19% Gelb. Für Orangerot O von TV gilt entsprechend visuell 86% Rot und 14% Gelb. Große Unterschiede ergeben sich für Cyanblau C mit $g68b$ für PR und $g31b$ für TV. Die Differenz im *adaptierten* CIELAB-Buntheitsdiagramm (a^*_a, b^*_a) entspricht einer Winkelverschiebung um ungefähr 30 Grad. Ein kleinerer Bunttonunterschied (20 Grad) zwischen PR und TV ergibt sich für die Farbe Magentarot M (siehe Bild1 Teil 6, *unten rechts*). Die Bunttonunterschiede von PR und TV bei den Farben C und M sind wesentlich größer als die Standardabweichung der Buntton-Unterscheidbarkeit bei realen Bunttonkreisen von Farbsystemen, die etwa 4 Grad beträgt.

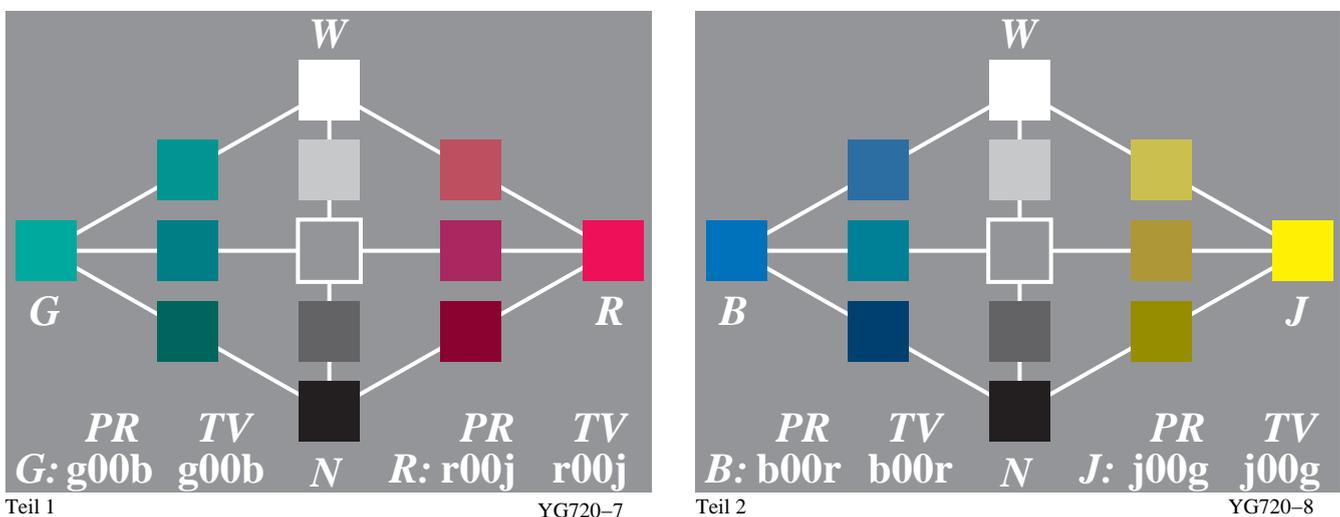


Bild 2 – Elementarfarben Rot R und Grün G sowie Gelb J und Blau B

Bild 2 zeigt Bunttonschnitte in den Ebenen der Elementarfarben Rot R und Grün G sowie Gelb J und Blau B mit der Unbuntachse $N - W$.

Die Elementarfarben spielen im visuellen menschlichen System eine besondere Rolle. Jeder Beobachter kann sie leicht benennen und insbesondere auch **ohne** Vergleichsfarbe identifizieren (zum Beispiel Elementargelb J als weder rötlich noch grünlich). Das Schwedische Natürliche Farbsystem *NCS* (siehe Schwedische Normen SS 01 91 00 bis 02) benutzt die Bunttonkennzeichnung Elementarfarb-Bunttontext u^* (zum Beispiel $r14j$) mit den vier Elementarfarben sowie die Farbmerkmale relative Schwarzheit n^* und relative Buntheit c^* zur eindeutigen Kennzeichnung der Farben. Das *NCS*-System enthält ca. 1500 Farbmuster. Für ihre Koordinaten relative Schwarzheit n^* , relative Buntheit c^* und relativer Elementar-Bunttontext u^* sind in den Schwedischen Normen

Beziehungen zum farbmetrischen Normvalenzsystem CIEXYZ definiert.

Das wichtigste und auffälligste Farbmerkmal der drei Farbmerkmale von NCS ist der Elementarbusnton. Ein 20teiliger symmetrischer Bunttonkreis mit den Elementarfarben auf der horizontalen und vertikalen Achse wird in DIN 33872-5 benutzt, um die Ausgabe auf Elementarfarb-Buntton-Übereinstimmung zu prüfen.

Diese Eigenschaft ist von besonderer Bedeutung für den Benutzer. In den letzten Jahren sind immer mehr Farbgeräte mit unterschiedlichen Grund- und Sekundärfarben auf den Markt gekommen. Bei CRT-Monitoren liegt die Standard-Grundfarbe Violettblau V bei 330 Grad anstelle von 272 Grad für Elementarblau im *adaptierten* CIELAB Buntheitsdiagramm (a^*_a, b^*_a) und erscheint stark rötlichblau. Bei vielen LCD-Monitoren liegt die Grundfarbe Violettblau V oft bei 250 Grad und erscheint grünlichblau. Die Bunttonwinkel-Differenz beträgt in diesem Fall 80 Grad und ist 20fach größer als die Standardabweichung der Buntton-Unterscheidbarkeit von 4 Grad.

3. Benutzerfreundliche Farbinformations-Technologie

Die Farbinformations-Technologie muß zunehmend die visuellen Eigenschaften des Farbsehens berücksichtigen, um die Benutzerakzeptanz zu erhöhen. Benutzerfreundlichkeit wird unter anderem durch Berücksichtigung der CIELAB-Bunttonwinkel der Elementarfarben und eine einfache und effiziente Kodierung mit linearen Beziehungen zwischen farbmetrischen Koordinaten rgb^* und L^*, a^*, b^* oder L^*, C^*_{ab}, h_{ab} , von CIELAB erreicht.

Anwendung von Farbe im täglichen Leben oder in Farbinformations-Technologie	
Design, Architektur, Kunst, Industrieprodukte Messung für CIE Normlichtart D65	Farbinformations-Technologie Messung für CIE Lichtarten D65 und D50
Farbordnungssystem; Name und Koordinaten: <i>RAL Design System (CIELAB)</i> $L^*C^*_{ab}h_{ab}$, Helligkeit, Buntheit, Bunttonwinkel <i>Munsell-Farbsystem</i> <i>VCH</i> , Helligkeit, Buntheit (Chroma), Bunttontext <i>Natürliches Farbsystem (NCS)</i> <i>ncu</i> *: relative Schwarzheit, relative Buntheit relativer Elementarbunttontext	Gerätesystemname und Koordinaten: Drucker-System (Lichtarten D50 oder D65): <i>cmy</i> , Menge an "Cyan", "Magenta", "Gelb" Monitor-System (Normlichtart D65): <i>rgb/sRGB</i> , Menge an "Rot", "Grün", "Blau" <i>Keine benutzerfreundlichen Farbkoordinaten</i> <i>Nahezu keine Verbindung zu Farbsystemen</i>
Ziel: definiere benutzerfreundliche Verbindung Neu: Interpretation der rgb-Farbdaten im Wertebereich 0 bis 1 als Elementarfarbdaten rgb^*_3 Lineare Beziehungen zwischen <i>relativen</i> und <i>absoluten</i> Koordinaten lab^* – LAB^* (CIELAB) $rgb^*_3 - L^*a^*b^*C^*_{ab}h_{ab}$ (CIELAB) $rgb - cmy, rgb^*_3 - cmy^*_3$ ("1-Minus"-Beziehung) $rgb^*_3 - nce^*, rgb^*_3 - ncu^*$ Relative Koordinaten lab^* : Elementar-Rotheit r^*_3 , -Grünheit g^*_3 , -Blaueit b^*_3 , Schwarzheit n^* Buntheit c^* , Elementarbuntton e^* , Elementar-Bunttontext u^*	

YG921-3

Bild 3 – Farbordnungssysteme und Farbinformations-Technologie

Bild 3 zeigt die Anwendung von Farbe im täglichen Leben und in der Farbinformations-Technologie. Es besteht nahezu keine Verbindung zwischen den Koordinaten rgb und cmy der Farbinformations-Technologie und den Farbkoordinaten der Farbsysteme *RAL*, *Munsell* und *NCS*. Im IT-Bereich gibt es viele rgb -Definitionen, die sich an Gerätesystemen und nicht an farbmetrischen Farbordnungssystemen orientieren. Auch die rgb -Daten von *sRGB* und *AdobeRGB* basieren wesentlich auf Eigenschaften von Fernseh-Monitoren und nur teilweise auf visuellen und farbmetrischen Farbsystemen. Die im Bild 3 dargestellte Interpretation der rgb -Farbdaten der Informationstechnologie als Elementarfarbdaten rgb^*_3 definiert eine *lineare* und daher besonders einfache und effiziente Verbindung.

Die farbmetrischen *relativen* Koordinaten ncu^* (relative Schwarzheit n^* , relative Buntheit c^* und der Elementar-Bunttontext u^*) sind für jeden Bunttontext definiert als *lineare* Funktion (F_{lin} oder f_{lin}) zu den *adaptierten* CIELAB-Koordinaten LCH^*_a ($= L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a}$; Helligkeit, *adaptierte* Buntheit und Bunttonwinkel) und den *relativen* CIELAB-Koordinaten lch^* ($= l^*, c^*, h^*$; *relative* Helligkeit, *relative* Buntheit und *relativer* Bunttonwinkel $h^* = h_{ab,a} / 360$).

$$ncu^* = F_{lin}(L^*, C^*_{ab}, h_{ab,a}) \tag{1}$$

$$ncu^* = f_{lin}(l^*, c^*, h^*) \tag{2}$$

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Wenn das Anwendungsprogramm die Eingabe der anschaulichen und benutzerfreundlichen Farbkoordinaten ncu^* ermöglicht, wird die Farbinformations-Technologie auf neue Weise mit den in Design, Kunst und Architektur verwendeten Farbkoordinaten verbunden. Für jeden Elementar-Buntpontext u^* werden die Koordinaten rgb der Farbinformations-Technologie als Koordinaten rgb^*_3 interpretiert, die durch die einfachen und linearen Beziehungen

$$n^* = 1 - \max(r^*_3, g^*_3, b^*_3) \quad (3)$$

$$c^* = \max(r^*_3, g^*_3, b^*_3) - \min(r^*_3, g^*_3, b^*_3) \quad (4)$$

mit den neuen benutzerfreundlichen Koordinaten ncu^* verbunden sind. Entsprechende Koordinaten werden im Natürlichen Farbsystem NCS (*Natural Colour System*) der Schwedischen Normen SS 01 91 00 bis 03 verwendet. In Übereinstimmung mit NCS sind die relative Schwarzheit n^* und die relative Buntheit c^* farbmetrisch definiert. Diese Farbmerkmale sind im Farbsystem NCS nach visuellen Experimenten *geräteunabhängig* definiert.

Im folgenden Abschnitt 4 werden die rgb -Daten der Informations-Technologie entweder als Gerätesystemdaten olv^*_3 oder als Elementarfarben rgb^*_3 interpretiert. Das folgende Bild 5 Teil 1 bis 4 im Abschnitt 4 erläutert anschaulich die beiden obigen Gleichungen zur Berechnung der *relativen* Schwarzheit n^* und der *relativen* Buntheit c^* .

4. Farbmetrische Norm-, adaptierte und relative CIELAB-Daten

In Abschnitt 3.1 von DIN 33872-1 sind viele Koordinaten angegeben, die für ein gegebenes Ausgabegerät alle miteinander durch *lineare* Beziehungen verknüpft sind. Diese Beziehungen werden durch einige Bilder im folgenden erläutert. Als Beispiel werden insbesondere für die Elementarfarbe Rot R die $lab^*rgb^*_3$ -Koordinaten und die Verknüpfung mit den *relativen* Farbmerkmalen Weißheit w^* , Schwarzheit n^* , Buntheit c^* , Farbtiefe d^* und Brillantheit i^* dargestellt.

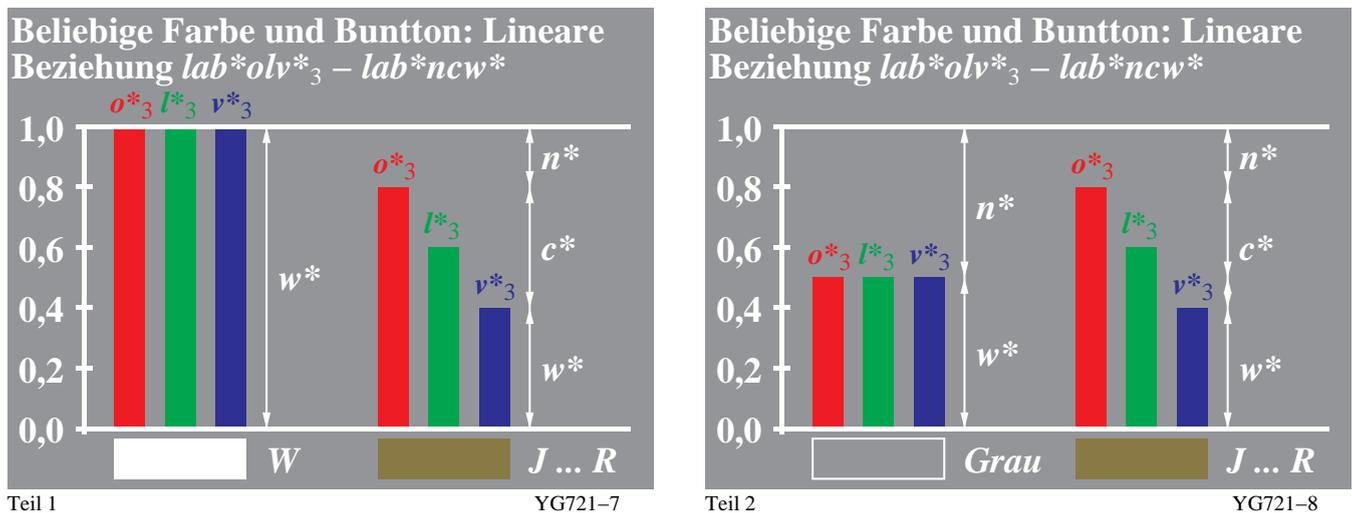


Bild 4 – Relative Gerätekoordinaten olv^*_3 und die Farbmischung von Weiß W , Grau Z und Gelbrot $J \dots R$.

Bild 4 zeigt die *relativen* Gerätekoordinaten olv^*_3 und die Farbmischung von Weiß W , Zentralgrau Z und Gelbrot $J \dots R$ aus diesen *relativen* Gerätekoordinaten olv^*_3 . In dieser Arbeit wird zwischen *absoluten* CIELAB-Koordinaten LAB^* und *relativen* CIELAB-Koordinaten lab^* unterschieden. Die Koordinaten olv^*_3 sind *relative* Koordinaten was durch den Zusatz $lab^*olv^*_3$ beschrieben wird. Ihr Wertebereich liegt im Bereich 0 bis 1. Der Index 3 beschränkt den Satz der Koordinaten auf 3 Werte im Gegensatz zum Beispiel zu $cmyn^*_4$ mit vier Werten.

Der Stern (*) legt eine *lineare* Beziehung zwischen $olv^*_3 = lab^*olv^*_3$ und $LCH^*_a = LAB^*_a LCH^*_a$ von CIELAB fest. Der Stern definiert daher farbmetrische Koordinaten ähnlich wie z. B. die rgb -Koordinaten des Farbenraums $sRGB$, die eine definierte Beziehung zu CIELAB haben (siehe IEC 61966-7-1:2006 für Farbdrucker).

Die Koordinaten rgb der Farbinformations-Technologie werden als Gerätekoordinaten olv^*_3 interpretiert, die durch die einfachen und linearen Beziehungen

$$n^* = 1 - \max(o^*_3, l^*_3, v^*_3) \quad (1)$$

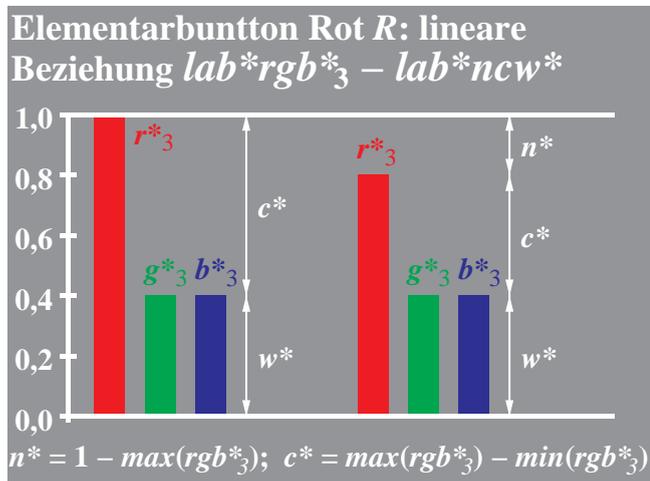
$$c^* = \max(o^*_3, l^*_3, v^*_3) - \min(o^*_3, l^*_3, v^*_3) \quad (2)$$

mit den neuen benutzerfreundlichen Koordinaten relative Schwarzheit n^* und relative Buntheit c^* verbunden sind. Diese Verbindung ist im Bild 4 durch Pfeile dargestellt. Im Falle der Gleichheit der drei Koordinaten $o^*_3 = l^*_3 = v^*_3$ bzw. $r=g=b$ der Farbinformations-Technologie ist das Maximum und Minimum identisch. Dann ist die relative Buntheit c^* gleich Null. Die relative Schwarzheit n^* nimmt ab vom Wert 1 bei Schwarz N zum Wert 0 bei Weiß W . Der Benutzer erwartet nach diesen Überlegungen, daß die Ausgabe für alle Gerätesysteme im Sonderfall von $r=g=b$

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

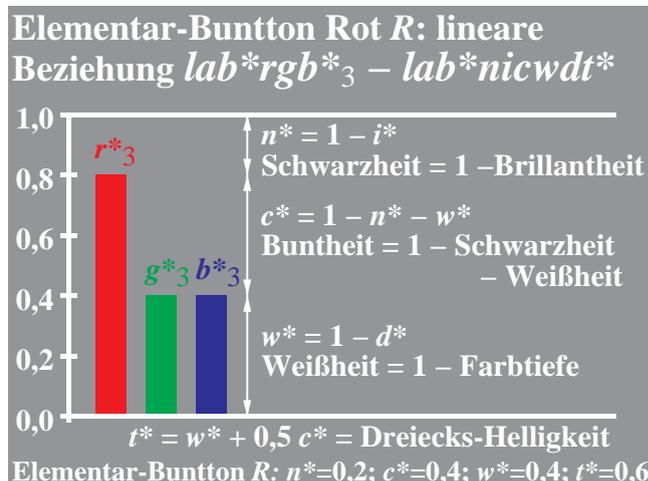
($0 \leq r, g, b \leq 1$) die Buntheit Null besitzt und daher visuell unbunt erscheint.

Viele IT-Softwareprodukte verlangen bisher, daß sich der Benutzer an die Geräte-Eigenschaft anpaßt. Ein Beispiel ergibt sich aus der Eigenschaft, daß sich im Standard-Offsetdruck die Farbmittel C, M und Y bei einem Mischungsverhältnis von etwa 30 : 30 : 45 zu Mittelgrau mischen. Diese Eigenschaft benutzen die meisten PC-Versionen von Photoshop. Der Benutzer muß hier die Daten $cmY = (0,3, 0,3, 0,45)$ eingeben, um ein Mittelgrau in der Ausgabe zu erhalten, also eine spezielle Eigenschaft eines Geräteprozesses lernen. Immer mehr sind Benutzer wegen der Vielfalt der Geräteeigenschaften überfordert und bevorzugen daher Versionen der Software *Photoshop*, die zum Beispiel auf *Unix* mit Display PostScript für die Werte $cmY = rgb = (0,5, 0,5, 0,5)$ ein *neutrales* Grau sowohl am Bildschirm darstellen als auch am Drucker ausgeben.



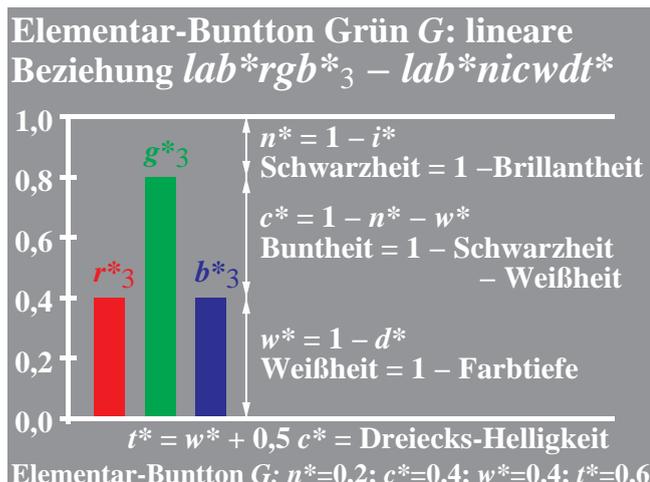
Teil 1

YG721-1



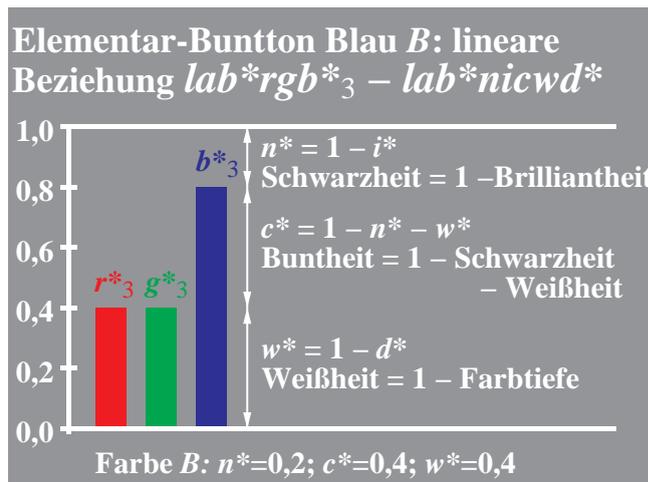
Teil 2

YG721-2



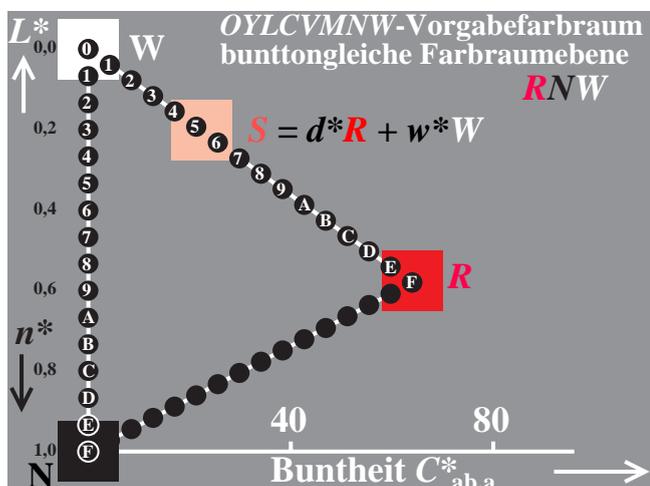
Teil 3

YG721-3



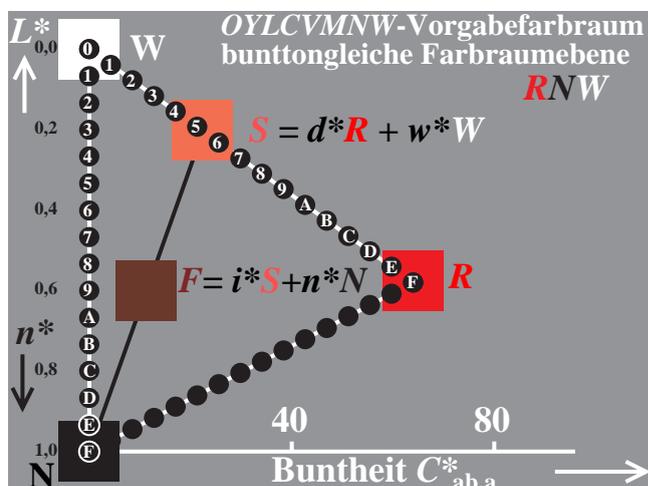
Teil 4

YG721-4



Teil 5

YG721-5



Teil 6

YG721-6

Bild 5 – Beziehungen der Koordinaten rgb^*_3 mit Koordinaten w^*, d^*, n^*, i^* und der relativen Buntheit c^* .

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Bild 5 Teile 1 bis 4 zeigen die Beziehungen der Elementarfarb-Koordinaten rgb^*_3 mit den Koordinaten relative Weißheit w^* , relative Farbtiefe d^* , relative Schwarzheit n^* , relative Brillantheit i^* und relative Buntheit c^* .

Die größte der drei Koordinaten r^*_3, g^*_3, b^*_3 bestimmt in den Bildteilen 1 bis 4 den Buntton. Da in den Teilen 1 bis 4 die beiden restlichen Koordinaten gleich sind, ergeben sich nur Bunttöne der Elementarfarben Rot R (Bild 5, Teile 1 und 2) sowie Grün G und Blau B (Bild 5, Teile 3 und 4).

In den Teilen 5 und 6 sind Dreiecke mit dem Elementarbuntton Rot R angegeben, die durch das farbmetrische *adaptierte* CIELAB-Diagramm ($C^*_{ab,a}, L^*$) definiert sind. Beide Teilbilder zeigen jeweils 16 Stufen zwischen Schwarz N und Weiß W sowie zwischen Schwarz N und Bunt X sowie zwischen Bunt X und Weiß W .

Im Bild 5 Teil 5 ist die Farbe S aus Rot R und Weiß W gemischt. Die anteiligen Mischverhältnisse werden durch die *relative* Farbtiefe d^* und die *relative* Weißheit w^* definiert, deren Wertebereich zwischen 0 und 1 liegt.

Im Bild 5 Teil 6 ist zusätzlich die Farbe F aus der Mischfarbe S und Schwarz N gemischt. Die anteiligen Mischverhältnisse werden durch die *relative* Brillantheit i^* und die *relative* Schwarzheit n^* definiert, deren Wertebereich zwischen 0 und 1 liegt.

Durch Variation der drei Koordinaten r^*_3, g^*_3, b^*_3 oder zum Beispiel durch die relative Schwarzheit n^* , die relative Buntheit c^* und den Elementarbuntton R , kann ein Benutzer jede Farbe seiner Vorstellung leicht definieren und zum Beispiel als Farbe für eine CAD-Zeichnung oder ein Design benutzen.

Die Koordinaten rgb^*_3 haben unter anderen **vier wesentliche Vorteile** gegenüber den rgb -Koordinaten des Farbenraums $sRGB$, siehe IEC 61966-2-1:

1. Die Koordinaten rgb^*_3 sind **geräteunabhängig** und entsprechen dem visuellen System;
2. 16stufige **gleichabständige Digitalwerte** ergeben visuell **gleichabständige Farbreihen** in CIELAB;
3. Die Koordinaten rgb^*_3 haben einfache *lineare* Beziehungen zu visuellen Farbmerkmalen w^*, d^*, n^*, i^* und c^* ;
4. Die Koordinaten rgb^*_3 haben einfache *lineare* Beziehung zum Elementarfarb-Bunttoncontext u^* .

Im Bild 5 Teile 5 und 6 ist die lineare Beziehung dieser visuellen Farbmerkmale zu den *adaptierten* CIELAB-Daten $L^*_a = L^*$ und $C^*_{ab,a}$ dargestellt. Die Farbe S wird *linear* im CIELAB-Farbenraum aus Elementarrot R und Weiß W gemischt und die Farbe F *linear* aus dieser Mischfarbe S und Schwarz N .

Im Bild 4 Teil 1 hat Weiß W die drei Koordinaten $olv^*_3 = rgb^*_3 = (1, 1, 1)$ und in Bild 4 Teil 2 hat Mittelgrau Z die drei Koordinaten $olv^*_3 = rgb^*_3 = (0, 5, 0, 5, 0, 5)$. Eine Farbe F läßt sich unter anderem aus der *relativen* Weißheit w^* und der *relativen* Schwarzheit n^* sowie der *relativen* Farbtiefe $d^* = 1 - w^*$ und *relativen* Brillantheit $i^* = 1 - n^*$ berechnen. Die Zusammenhänge der Koordinaten rgb^*_3 mit den verschiedenen *relativen* Koordinaten w^*, d^*, n^*, i^* und der *relativen* Buntheit c^* sind linear und im Bild 5 Teil 1 bis 4 dargestellt.

In der Normenreihe DIN 33872 werden vorzugsweise die rgb -Eingabedaten als rgb^*_3 -Elementarfarbdaten interpretiert. Es entstehen dann in der Ausgabe die Bunttöne der vier Elementarfarben. Diese Interpretation wird mit einem Pfeil in folgender Weise dargestellt ($rgb \rightarrow rgb^*_3$).

Eine andere sinnvolle Interpretation wird durch ($rgb \rightarrow olv^*_3$) dargestellt. In diesem Fall werden für rgb -Eingabedaten olv^*_3 -Gerätedaten angenommen, es entstehen dann die Bunttöne der sechs bunten Gerätefarben.

Bei Eingabe den Daten für Cyanblau $rgb = (0, 1, 1)$ wird nach Bild 9 in Abschnitt 7 die Maximalfarbe mit dem Bunttonwinkel 306 Grad im System TSL00 und dem Bunttonwinkel 305 Grad im System ORS18 ausgegeben. Diese Ausgaben ergeben in beiden Fällen ein rötliches Blau. Der Benutzer bevorzugt eine benutzerfreundliche und geräteunabhängige Bunttonausgabe von Elementarblau mit dem Bunttonwinkel 272 Grad.

DIN 33872-2 bis -6 prüft nach JA/NEIN-Kriterien, ob die von den Benutzern gewünschten Ausgabe-Eigenschaften erfüllt sind oder nicht. Eine Wertung der Gerätesysteme ist damit nicht verbunden. Für den einen Benutzer kann eine Eigenschaft wichtig und für einen anderen ohne Bedeutung sein.

Wenn ein Benutzer Ausgabeeigenschaften fordert, die in DIN 33872 Teile 2 bis 6 definiert sind, so gibt es eine Vielzahl von Gerätesystemen, die diese Eigenschaften erfüllen oder durch geeignete Vorgabeeinstellungen erfüllen können.

Im vielen Fällen wünscht der Benutzer auch alternative Steuerungenmöglichkeiten, z. B. entweder die Ausgabeeigenschaft „Gerätesystemfarben-Ausgabe“ oder die „Elementarfarben-Ausgabe“ durch geeignete Vorgabe-Parameter (vergleiche ORS18, TLS00, NRS18 und SRS18 in Bild 9 von Abschnitt 7).

Unter der Rubrik „Bemerkungen zu den Prüfergebnissen“ sind Hinweise auf diese Steuerungsmöglichkeiten erwünscht (vergleiche DIN 33872-2 bis -6).

5. Lineare Farbmetrik im Bunttdreieck und Relativhelligkeit I*

Farbe F und 9 andere	Farbmetrische Koordinaten im Farbdreieck mit CIELAB-Buntton h_{ab} Formeln benutzen gegebene Daten von <i>relativer</i> Buntheit c^* und Schwarzheit n^*					
$(c^*, n^*) = (0.3, 0.35)$ 	Schwarzheit n^* $n^* = 0.35$ 	Buntheit c^* $c^* = 0.30$ 	Weißheit w^* $= 1 - n^* - c^*$ $w^* = 0.35$ 	Farbtiefe $d^* = 1 - w^*$ $= n^* + c^*$ $d^* = 0.65$ 	Brillantheit $i^* = 1 - n^*$ $i^* = 0.70$ 	Dreiecks-Helligkeit $t^* = 1 - n^* - 0.5 c^*$ $t^* = 0.50$
Farbe 1 Farbe 2=S Farbe 3	0 0 0	c^* $c^*/(1-n^*)$ n^*+c^*	$1-c^*$ $1-c^*/(1-n^*)$ $1-n^*-c^*$	c^* $c^*/(1-n^*)$ n^*+c^*	1 1 1	$1-0.5c^*$ $1-0.5c^*/(1-n^*)$ $1-0.5(n^*+c^*)$
Farbe 4 Farbe 5=Q Farbe 6	n^* $n^*/(n^*+c^*)$ $1-c^*$	$1-n^*$ $c^*/(n^*+c^*)$ c^*	0 0 0	1 1 1	$1-n^*$ $c^*/(n^*+c^*)$ c^*	$0.5(1-n^*)$ $0.5c^*/(n^*+c^*)$ $0.5c^*$
Farbe 7 Farbe 8 Farbe 9	$1-n^*$ $1-n^*-0.5c^*$ $1-n^*-c^*$	0 0 0	n^* $n^*+0.5c^*$ n^*+c^*	$1-n^*$ $1-n^*-0.5c^*$ $1-n^*-c^*$	n^* $n^*+0.5c^*$ n^*+c^*	n^* $n^*+0.5c^*$ n^*+c^*

YG760-7

Bild 6 – Farbmetrische Koordinaten bei gegebener *relativer* Buntheit c^* und *relativer* Schwarzheit n^*

Bild 6 zeigt farbmetrische Koordinaten einer Farbe F bei gegebener *relativer* Buntheit c^* und *relativer* Schwarzheit n^* . Diese Daten werden in die *relative* Weisheit w^* , die *relative* Farbtiefe d^* , die *relative* Brillantheit i^* und die *relative* Dreiecks-Helligkeit t^* in der ersten Bildzeile umgerechnet. Diese Zeile definiert gleichzeitig 6 Farben mit roten Parallelen zu den drei Dreiecksseiten durch F und drei weitere durch die Verbindungen 2– F – N , 5– F – W und 8– F – M . Für diese 9 Farben werden ihre Koordinaten aus den gegebenen Koordinaten c^* und n^* ausgerechnet.

In der Anwendung können zwei beliebige dieser 6 Farbmerkmale gleichberechtigt benutzt werden, zum Beispiel auch die *relative* Dreiecks-Helligkeit t^* und die *relative* Buntheit c^* . Zusammen mit dem Bunttonwinkel h^* ergeben sich in diesem Fall zylindrische Koordinaten tch^* anstelle von Dreieckskoordinaten nch^* . Die folgende Seite zeigt die farbmetrischen Koordinaten einer Farbe F bei gegebener *relativer* Buntheit c^* und *relativer* Dreiecks-Helligkeit t^* .

<http://www.ps.bam.de/YG76>

In der Anwendung hat sich ergeben, daß die Farbkoordinaten *relative* Buntheit c^* und *relative* Schwarzheit n^* von Beobachtern am einfachsten zu beurteilen und zu schätzen sind. Daher wurden diese im Schwedischen Natürlichen Farbsystem NCS ausgewählt, siehe *Hard* und *Sivik* (1980). Die Berechnung aus den *adaptierten* CIELAB-Daten LCH^*_a erfordert die Helligkeit und Buntheit der Maximalfarbe M von gleichem Buntton. Die Maximalfarbe M hat die Buntheit $C^*_{ab,a,M}$ und die Helligkeit L^*_{M} . Die Farbe F hat die Buntheit $C^*_{ab,a}$ und die Helligkeit L^* . Dann gelten die Gleichungen:

$$c^* = C^*_{ab,a} / C^*_{ab,a,M} \tag{1}$$

$$I^* = [L^* - L^*_N] / [L^*_W - L^*_N] \tag{2}$$

$$t^* = I^* - c^* \{ [L^*_M - L^*_N] / [L^*_W - L^*_N] - 0.5 \} \tag{3}$$

$$n^* = 1 - t^* - 0.5 c^* \tag{4}$$

Mit diesen Gleichungen werden die *relative* Buntheit c^* , die *relative* Helligkeit I^* , die *relative* Dreiecks-Helligkeit t^* und *relative* Schwarzheit n^* aus den *adaptierten* CIELAB-Daten einer Farbe F und ihrer bunttongleichen Maximalfarbe M berechnet. Für die Ermittlung der CIELAB-Daten der Maximalfarbe M aus *adaptierten* CIELAB-Daten einer Farbe F dienen ebenfalls *lineare* Gleichungen. Die CIELAB-Daten von M hängen vom CIELAB-Bunttonwinkel $h_{ab,a}$ von F und den *adaptierten* CIELAB-Daten der sechs Buntfarben $X=OYLCVM$ ab.

6. Farbmetrische adaptierte CIELAB-Daten im Buntton-Sechseck

Die farbmetrischen Daten der Fernseh-, Druck- und Elementarfarben in einem *adaptierten* und *relativen* CIELAB-Buntheitsdiagramm sind von besonderer Bedeutung für die Ausgabe-Linearisierung auf einem Ausgabegerät. Die sechs Buntfarben $X=OYLCVM$ und ihre linearen Mischungen bilden die Maximalfarben M . Für jeden adaptierten CIELAB-Buntonwinkel $h_{ab,a}$ gibt es eine Maximalfarbe M mit definierten CIELAB-Daten L^* , $C^*_{ab,a}$ und $h^*_{ab,a}$. Die Linearisierung, zum Beispiel nach ISO/IEC TR 19797, erzeugt 16stufige gleichabständige Farbreihen in der Ausgabe.

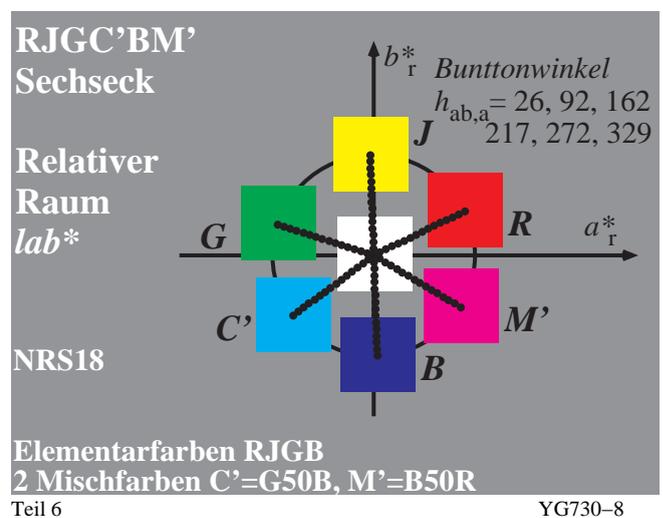
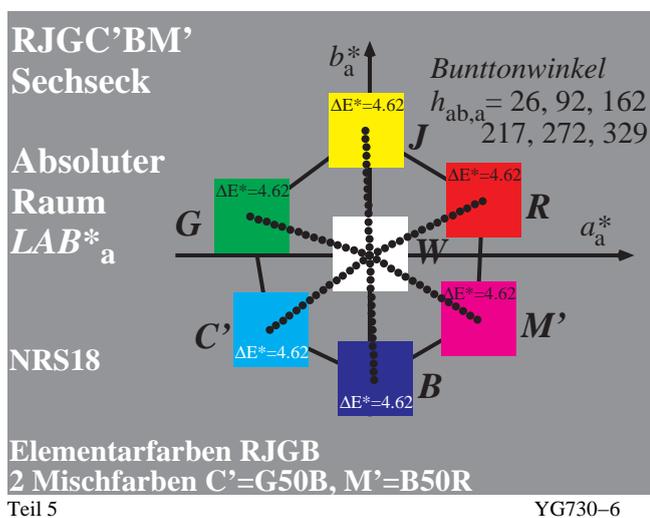
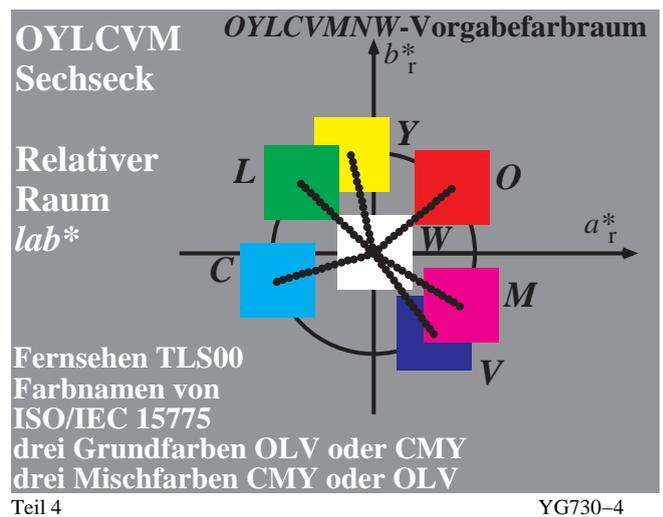
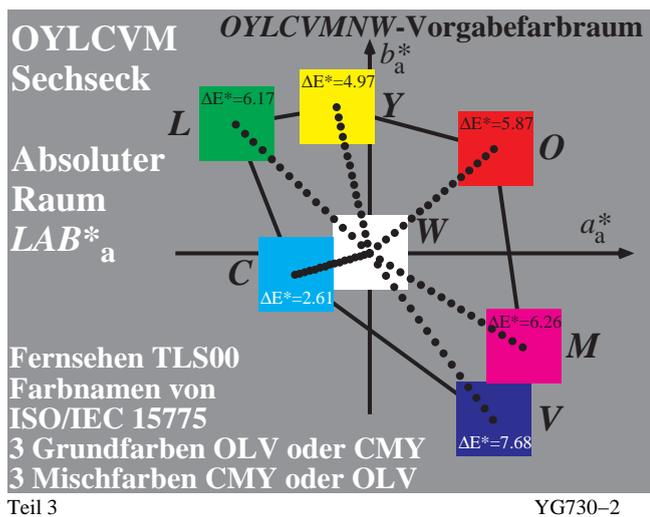
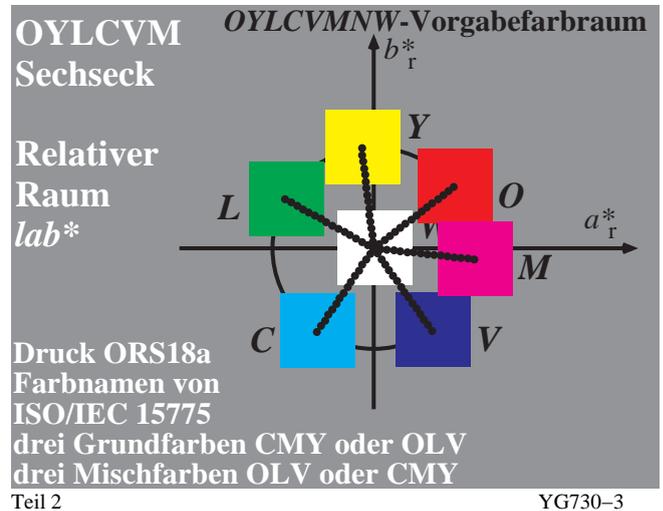
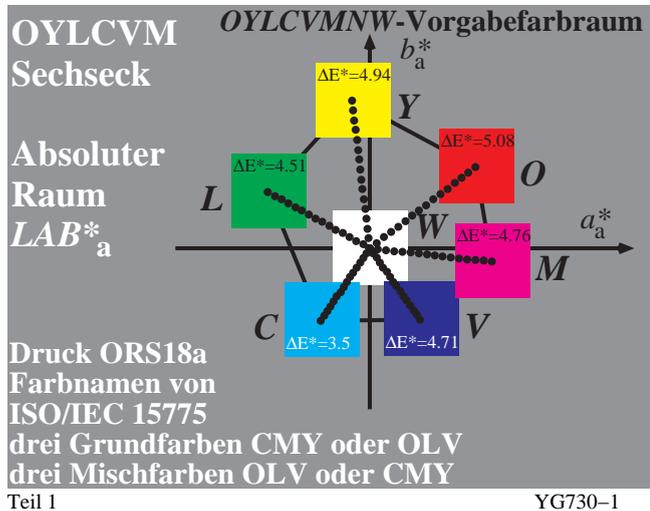


Bild 7 – Fernseh- und Druckfarben im *adaptierten* und *relativen* CIELAB-Buntheitsdiagramm

Bild 7 Teile 1, 3 und 5 (*alle links*) zeigen die Offsetdruckfarben ORS18 (Offset-Reflektiv-System mit Helligkeit $L^*=18$)

für Schwarz N), die Fernsehfarben TLS00 (Fernseh-Licht-System mit Helligkeit $L^* = 0$ für Schwarz N) und ein Elementarsystem NRS18 (Colour Natural System mit Helligkeit $L^* = 18$ für Schwarz N) im farbmetrischen *adaptierten* CIELAB-Buntheitsdiagramm (a^*_a, b^*_a). Für die Buntheiten (a^*_a, b^*_a) gilt $a^*_a = LAB^*_a a^*_a$ und $b^*_a = LAB^*_a b^*_a$.

Bild 7 Teile 2, 4 und 6 (*alle rechts*) zeigt die gleichen Farben im farbmetrischen *relativen* CIELAB-Buntheitsdiagramm (a^*_r, b^*_r). Für die relativen Buntheiten (a^*_r, b^*_r) gilt $a^*_r = lab^*_r a^*_r$ und $b^*_r = lab^*_r b^*_r$.

Die Bunttonwinkeldifferenz zwischen Cyanblau C und Violettblau V beträgt für das System TLS00 etwa 110 (= 306–196) Grad und für das System OLS18 etwa 68 (=304 -236) Grad. Das System TLS00 ergibt eine Winkelabweichung von 83% im Vergleich zum mittleren Abstand von 60 Grad für die sechs bunten Gerätefarben OYLCVM. Nach dieser Betrachtung sind die Grundfarben von ORS18 viel regelmäßiger als die Grundfarben von TSL00, die heute überwiegend zur Codierung und Übertragung der Farbinformation verwendet werden, zum Beispiel im Farbenraum sRGB (siehe IEC 61966-2-1).

Noch regelmäßiger sind die farbmetrischen *adaptierten* CIELAB-Bunttonwinkel im System NRS18. Dieses System ist zusätzlich **geräteunabhängig** und basiert auf den Elementarfarben RJGB, die viele Eigenschaften des visuellen menschlichen Farbsehensystems enthalten. Die farbmetrischen *adaptierten* CIELAB-Bunttonwinkel liegen für die vier Elementarfarben RJGB in grober Näherung bei 30, 90, 150 und 270 Grad. Zwischen Rot R, Gelb J und Grün G beträgt die Verschiebung jeweils 60 Grad und zwischen Grün G, Blau B und Rot R jeweils 120 Grad. Die genaue Lage im farbmetrischen *relativen* CIELAB-Buntheitsdiagramm (a^*_r, b^*_r) ist ebenfalls im Bild 7 und in Bild 8 von Abschnitt 7 enthalten. Mit Definition der „Mittelbunttöne“ Cyanblau $C' = G50B$ und Magenta $M' = B50R$, jeweils in der Mitte zwischen $G - B$ und $B - R$ entsteht wieder ein Farbsechseck. Betrachtet man die sechs Farben $X = RJGC'BM'$, welche die vier Elementarfarben RJGB und die Mittelbunttöne $C'M'$ enthalten, so betragen die Bunttonwinkel-differenzen angenähert jeweils 60 Grad.

Die farbmetrische Verbindung der *rgb*-Koordinaten der Informationstechnik mit 16stufigen Farbreihen und den $L^*a^*b^*$ -Koordinaten von CIELAB wird in vielen Arbeiten behandelt. Einige behandeln das Thema auf farbmetrischer und visueller Basis und deshalb werden sie im folgenden aufgeführt.

Eine multispektrale CIELAB-Kamera, welche die Ausgabefarben der Informationstechnik und auch retroreflektierende und fluoreszierende Farben messen kann, hat S. Jaeger (2005, 2006) beschrieben.

Die CIELAB-Daten für die Normlichtart D65 und die Lichtart D50 von Ausgabefarben der Informationstechnik benutzte H. Wagenknecht (2005, 2006) zur Berechnung von *rgb*-Daten und ihrer speziellen Transformation, um Scanner und Drucker zu kalibrieren.

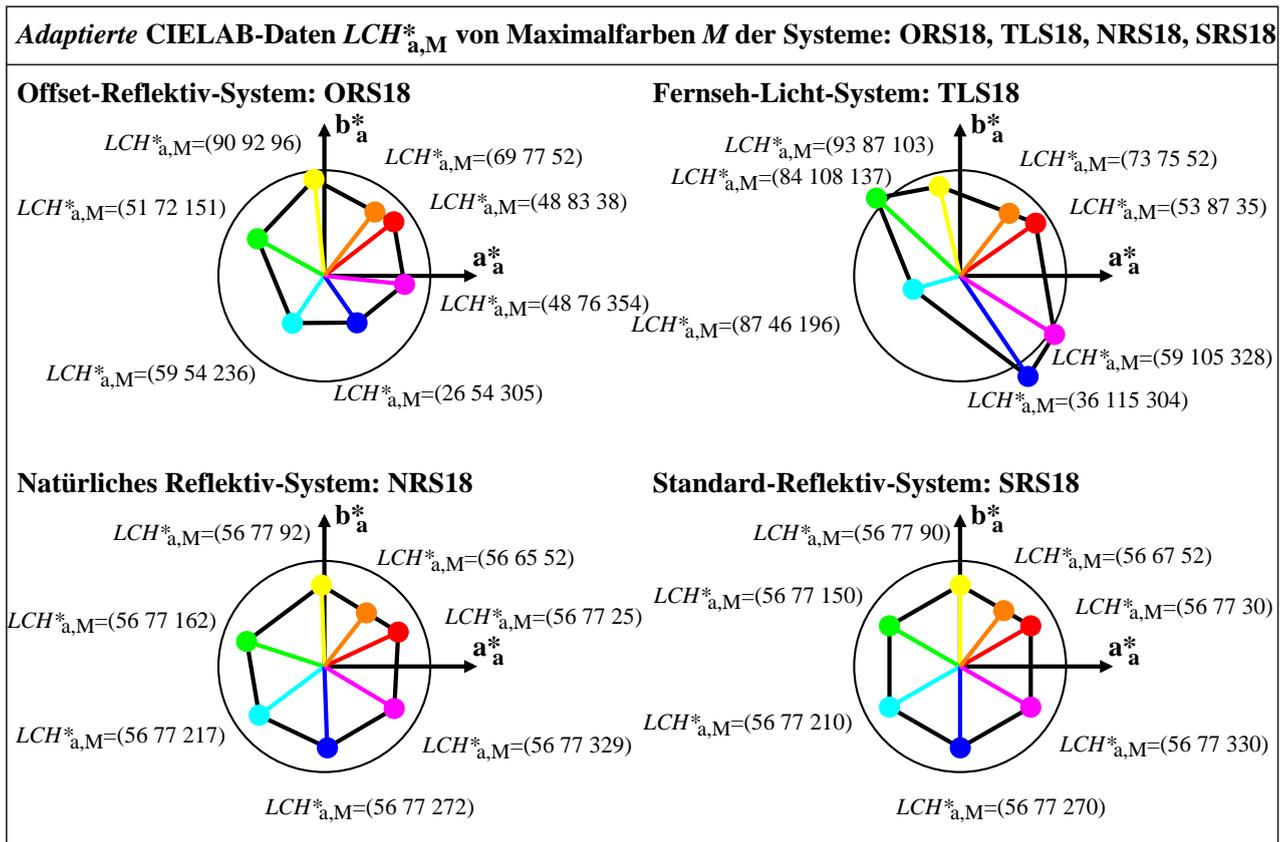
Neue Methoden zur Herstellung von Prüfvorlagen nach DIN 33866, ISO/IEC 15775 und ISO/IEC TR 24705 mit farbmetrisch gleichabständigen 16stufigen Farbreihen hat Witt (2005, 2006) entwickelt.

Alle Arbeiten dienen dazu, die Farbinformations-Technologie besser mit den Farbkoordinaten des täglichen Lebens zu verbinden, vergleiche auch Bild 3 im Abschnitt 3.

7. Farbmetrische Berechnungsbeispiele für vier Gerätesysteme

Die sechs Gerätefarben $X = OYLCVM$ oder $X = RJGC'BM'$ der verschiedenen Gerätesysteme von Abschnitt 6 haben verschiedene Bunttonwinkel. Vier Gerätesysteme werden im folgenden betrachtet: ORS18, TLS18, NRS18 und SRS18. Die ersten beiden sind reale Norm-Gerätesysteme, die beiden anderen sind ideale Gerätesysteme. NRS18 basiert auf den Bunttonwinkeln der Elementarfarben in CIELAB und SRS18 auf Bunttonwinkeln der sechs Gerätefarben mit jeweils 60 Grad Abstand.

Die Helligkeitsdifferenz $\Delta L^* = L^*_W - L^*_N$ (= 95-18 = 77) zwischen Weiß und Schwarz von ORS18 wird auch für NRS18 und SRS18 gewählt. Die Buntheit der sechs (idealen) Grundfarben $X = OYLCVM$ hat ebenfalls den Wert 77. Wegen dieser symmetrischen Struktur des Farbenraums und seiner LAB^* - und RGB^* -Farbkoordinaten erwartet man für die komplementären Farben des Monitors, zum Beispiel O und C, gleiches Farbunterscheidungsvermögen. Diese Eigenschaft wurde zum Beispiel von *Holtsmark* und *Valberg* (1971) durch experimentelle Messungen an komplementären Optimalfarben nachgewiesen. Die CIELAB-Metrik steht mit diesen experimentellen Ergebnissen teilweise im Widerspruch, die weiter zu entwickelnde Hexagon-Metrik beinhaltet eine Struktur, welche direkt die experimentellen Ergebnisse beschreibt, siehe auch *Richter* (2007).



YG771-3

Bild 8 – Adaptierte CIELAB-Daten LAB^*_a von vier Gerätesystemen ORS18, TLS18, NRS18 und SRS18

Bild 8 zeigt die *adaptierten* CIELAB-Daten L^*_M , $C^*_{ab,a,M}$ und $H^*_{a,M}$ der sechs Grundfarben $X=OYLCVM$. Die vier Gerätesysteme haben unterschiedliche Helligkeiten, Buntheiten und Bunntonwinkel. Für ORS18 und TLS18 sind die *adaptierten* CIELAB-Daten L^*_M und $C^*_{ab,a,M}$ sehr verschieden und für die (theoretischen) Systeme SRS18 und NRS18 gleich. Die Bunntonwinkel sind bei TLS18 sehr ungleich und bei SRS18 exakt regelmäßig und um jeweils 60 Grad verschoben. Die Systeme SRS18 und NRS18 haben die gleiche Helligkeits- und Buntheits-Differenz mit dem Wert 77. Das System NRS18 besitzt die drei visuellen Elementarbunntonwinkel 25, 162 und 272 Grad und SRS18 die Bunntonwinkel 30, 150 und 270 Grad mit jeweils 120 Grad Differenz. Elementar gelb J liegt im Bunntonwinkel bei $93 [= (162+25)/2]$ Grad bzw. $90 [= (30+150)/2]$ Grad in der Mitte zwischen den Bunntonwinkeln von Rot R und Grün G . Entsprechend werden der Bunntonwinkel von Cyanblau C' in der Mitte zwischen Grün G und Blau B und Magentarot M' in der Mitte zwischen Blau B und Rot R definiert.

In Bild 8 wird die Maximalfarbe M mit dem CIELAB-Bunntonwinkel $h_{ab} = 52$ Grad für die vier Beispiel-Gerätesysteme gezeigt. Zur Berechnung dienen die folgenden Gleichungen:

$$b^*_a = a^*_a \tan(h_{ab,a}) \tag{1}$$

$$b^*_a = b^*_{a,i0} + m [a^*_a - a^*_{a,i0}] \tag{2}$$

mit

$$m = [b^*_{a,i0+1} - b^*_{a,i0}] / [a^*_{a,i0+1} - a^*_{a,i0}] \tag{3} \quad (i0 = 0, 1, \dots, 5 \text{ für } OYLCVM)$$

Die Gleichung (1) mit dem *adaptierten* CIELAB-Bunntonwinkel $h_{ab,a}$ beschreibt zum Beispiel im Bild 8 die (orange) Gerade durch den Ursprung mit dem Winkel $h_{ab,a} = 52$ Grad. Die zweite Gleichung beschreibt die Gerade durch die Punkte der Gerätefarben O und Y . Der Schnittpunkt beider Geraden (Ball der Farbe Orange in Bild 8) ergibt die Buntheitskomponenten ($a^*_{a,M}$, $b^*_{a,M}$) der Maximalfarbe M , die sich aus den *adaptierten* CIELAB-Buntheiten der Farben O und Y ergeben. Es ist unbekannt wie das visuelle System derartige Berechnungen ausführt.

Wahrscheinlich ermittelt das visuelle System die Daten aus *relativen* Buntheiten und Helligkeiten von O und Y . Zur Berechnung der aus zwei benachbarten Gerätefarben gemischten Maximalfarbe M definieren wir den *relativen* CIELAB-Bunntonwinkelanteil α_M , die Buntheiten $a^*_{a,M}$ und $b^*_{a,M}$, und die Helligkeiten L^*_M der gemischten Maximalfarbe M . Alle werden aus dem *relativen* Bunntonwinkelanteil α_M von O und Y ermittelt.

Es gilt:

$$\alpha_M = [h_{ab,a,M} - h_{ab,a,O}] / [h_{ab,a,Y} - h_{ab,a,O}] \quad (4)$$

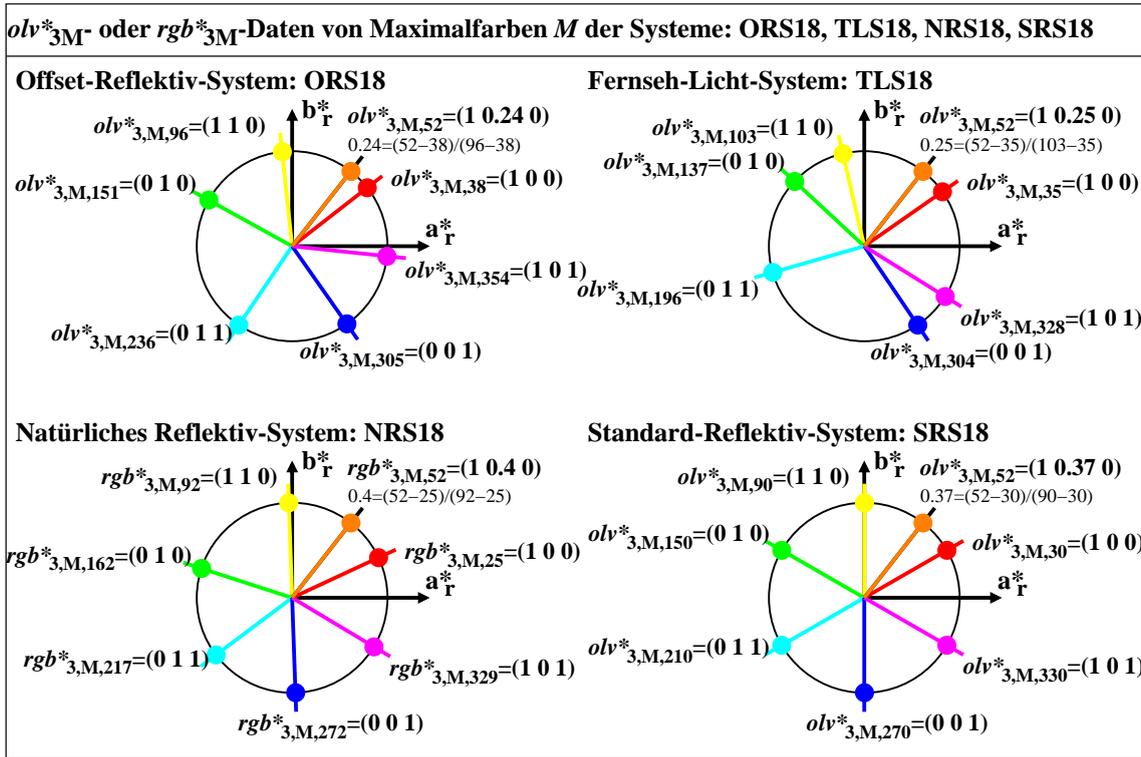
$$a_{a,M}^* = \alpha_M a_{a,Y}^* + (1 - \alpha_M) a_{a,O}^* \quad (5)$$

$$b_{a,M}^* = \alpha_M b_{a,Y}^* + (1 - \alpha_M) b_{a,O}^* \quad (6)$$

$$L_{a,M}^* = \alpha_M L_{a,Y}^* + (1 - \alpha_M) L_{a,O}^* \quad (7)$$

$$C_{ab,a,M}^* = [a_{a,M}^{*2} + b_{a,M}^{*2}]^{1/2} \quad (8)$$

Es ist zu beachten, daß die *adaptierte* CIELAB-Buntheit $C_{ab,a,M}^*$ aus den Komponenten $a_{a,M}^*$ und $b_{a,M}^*$ der Maximalfarbe M berechnet werden muß. In Bild 8 ist zum Beispiel für ORS18 die *adaptierte* CIELAB-Buntheit $C_{ab,a,M}^*$ kleiner (Wert = 77) sowohl als die Buntheit von O und Y (Wert = 83 und Wert = 92) und kann nicht direkt aus α_M berechnet werden.



YG770-7

Bild 9 – Relative CIELAB-Daten $lab^*olv^*_{3M}$ von vier Gerätesystemen ORS18, TLS18, NRS18 und SRS18

Bild 9 zeigt die *relativen* CIELAB-Daten olv^*_{3M} und rgb^*_{3M} der sechs Grundfarben $X=OYLCVWM$ und einer Maximalfarbe M . In Sektor $O-Y$ ändert sich die zweite Koordinaten von olv^*_{3M} linear mit dem *relativen* Bunttonwinkel α_M zwischen 0 und 1.

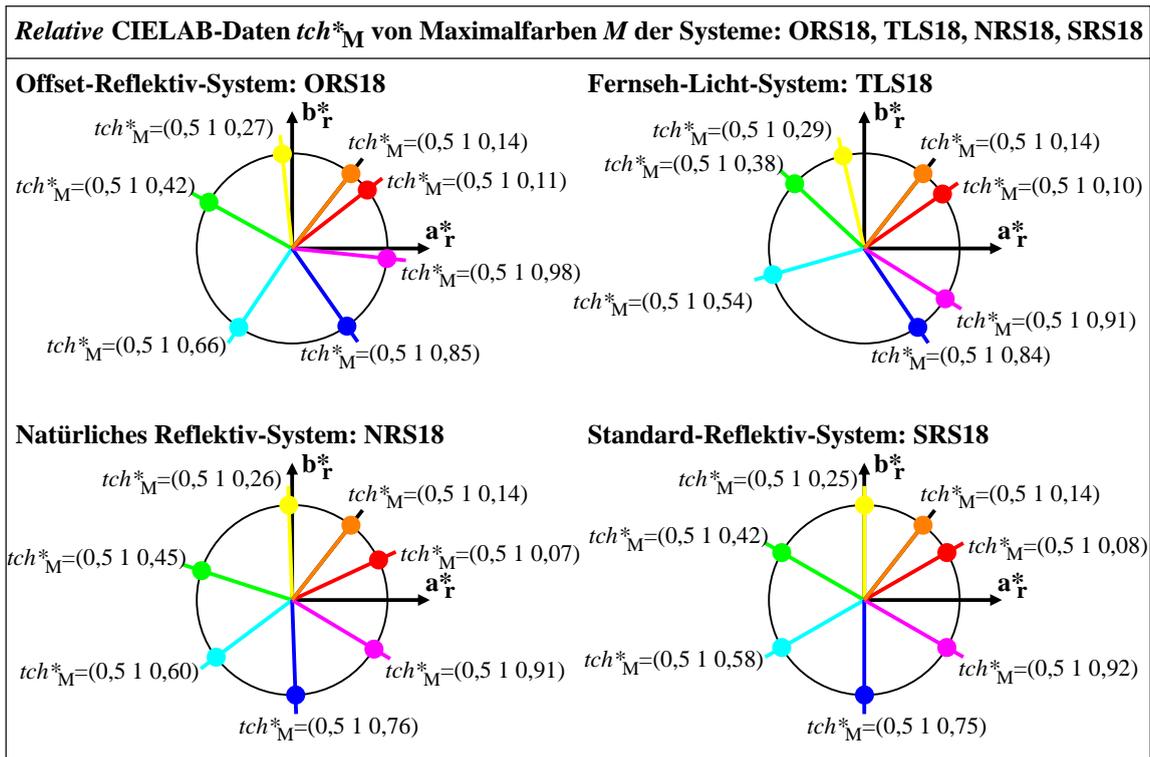
Die Berechnung des *relativen* Bunttonwinkels α_M ist in jedem der vier Teilbilder für den gleichen CIELAB-Bunttonwinkel $h_{ab,a,M} = 52$ Grad angegeben. In Bild 9 gelten unter Benutzung von Gleichung (4) für den relativen Bunttonwinkel α_M die folgenden drei Gleichungen für die *relativen* CIELAB-Daten $lab^*olv^*_{3,M}$ der Maximalfarben zwischen O und Y .

$$O_{3,M}^* = \alpha_M O_{3,Y}^* + (1 - \alpha_M) O_{3,O}^* \quad (9)$$

$$I_{3,M}^* = \alpha_M I_{3,Y}^* + (1 - \alpha_M) I_{3,O}^* \quad (10)$$

$$V_{3,M}^* = \alpha_M V_{3,Y}^* + (1 - \alpha_M) V_{3,O}^* \quad (11)$$

Im Sonderfall des Natürlichen Reflektiv-Systems NRS18 werden diese CIELAB-Daten anstelle von $lab^*olv^*_3$ $lab^*rgb^*_3$ genannt, siehe Bild 9 (unten links). Die Buchstaben rgb^* beinhalten die Definition nach drei visuellen Elementarfarben (RGB), die unabhängig von den vielen Definitionen für Gerätefarben (OLV) sind.



YG771-7

Bild 10 – Relative CIELAB-Daten lab^*tch^* von vier Gerätesystemen ORS18, TLS18, NRS18 und SRS18

Bild 10 zeigt die *relativen* CIELAB-Daten t^*_M und c^*_M der sechs Grundfarben $X=OYLCVWM$ und einer Maximalfarbe M . Für alle sechs Grundfarben und die Maximalfarbe M ist die *relative* Dreiecks-Helligkeit $t^* = 0,5$ und die *relative* Buntheit $c^* = 1$. Farben mit der *relativen* Buntheit $c^* = 1$ haben immer die Eigenschaft, daß mindestens eine der drei Komponenten von $lab^*olv^*_3M$ den Wert 1 und mindestens eine andere den Wert 0 hat. Dies ist in Bild 10 für alle sechs Gerätefarben und die Mischfarbe unter dem Bunttonwinkel 52 Grad erfüllt. Dann gilt für die *relative* Schwarzheit n^* und *relative* Buntheit c^* .

$$n^* = 1 - \max(o^*_3, l^*_3, v^*_3) \tag{12}$$

$$c^* = \max(o^*_3, l^*_3, v^*_3) - \min(o^*_3, l^*_3, v^*_3) \tag{13}$$

$$t^* = 1 - n^* - 0,5 c^* \tag{14}$$

$$w^* = 1 - n^* - c^* \tag{15}$$

Die *relative* Dreiecks-Helligkeit t^* und die *relative* Weißheit w^* berechnen sich nach Gleichung (14) und (15) aus der *relativen* Schwarzheit n^* und der *relativen* Buntheit c^* .

Bisher wurde der Fall betrachtet, daß der Bunttonwinkel $h_{ab,a,M}$ einer Maximalfarbe M gegeben ist. In der Regel suchen wir alle übrigen Koordinaten von allen vier Gerätesystemen, wenn ein Satz von drei Koordinaten einer beliebigen Farbe F gegeben ist. Wir betrachten im folgenden die Datensätze $LAB^*LCH^*_a$, $lab^*olv^*_3$ und lab^*nce^* . Im folgenden sollen bei einem gegebenen Datensatz die beiden anderen berechnet werden.

Gegebener Datensatz:

$LAB^*LCH^*_a$

$lab^*olv^*_3$

lab^*nce^*

Gesuchte Datensätze:

$lab^*olv^*_3$

$LAB^*LCH^*_a$

$LAB^*LCH^*_a$

lab^*nce^*

lab^*nce^*

$lab^*olv^*_3$

Im allgemeinen Fall werden zur Lösung dieser Aufgabe die Gleichungen (1) bis (15) und ihre Umkehrung benutzt. Bild 11 berechnet die Transformationen nach den Gleichungen (1) bis (15). Eine schnellere Lösung unter Benutzung der folgenden Tabellen 3 und 4 zeigen die folgenden Bilder 12 bis 14.

Tabelle 3 dient zur Ermittlung der Daten $lab^*olv^*_3,M$ und $LAB^*LCH^*_aM$ der Maximalfarbe M als Funktion des CIELAB-Bunttonwinkels $H^*_a = h_{ab,a}$ in Abständen von $\Delta H^*_a = 10$ Grad. Der Bunttonwinkelabstand $\Delta H^*_a = 10$ Grad ist für viele Anwendungen zu grob und daher wird eine Tabelle mit einem Abstand $\Delta H^*_a = 1$ Grad empfohlen, siehe Daten für 24 Gerätesysteme:

<http://www.ps.bam.de/ZE00>

Tabelle 3 – Tabelle zur Ermittlung der Daten $lab^*olv^*_{3,M}$ und $LAB^*LCH^*_{a,M}$ als Funktion von $H^*_a = h_{ab,a}$

Tabelle: Daten α_{aM} , olv^*_{3M} , LCH^*_{aM} , a^*_{aM} , b^*_{aM} des Systems NRS18 für CIELAB-Bunttonwinkel $h_{ab,a}$ und Transfer nach Standard- (s) und Elementar- (e) Buntton

$h_{ab,a}$	$h_{ab,s}$	$h_{ab,e}$	h^*	h^*_s	$h^*_e=e^*$	α_{aM}	o^*_{3M}	l^*_{3M}	v^*_{3M}	L^*_M	$C^*_{ab,aM}$	H^*_{aM}	a^*_{aM}	b^*_{aM}
0	3	340	0.0	0.009	0.944	0.552	1.0	0.0	0.448	56.71	68.15	0.0	68.15	0.0
10	14	348	0.028	0.038	0.966	0.728	1.0	0.0	0.272	56.71	69.84	10.0	68.78	12.13
20	24	356	0.056	0.067	0.988	0.904	1.0	0.0	0.096	56.71	73.91	20.0	69.46	25.28
30	34	6	0.083	0.095	0.016	0.068	1.0	0.068	0.0	56.71	73.79	30.0	63.9	36.89
40	43	19	0.111	0.12	0.054	0.217	1.0	0.217	0.0	56.71	68.28	40.0	52.31	43.89
50	52	33	0.139	0.144	0.091	0.367	1.0	0.367	0.0	56.71	65.39	50.0	42.03	50.09
60	61	46	0.167	0.169	0.129	0.517	1.0	0.517	0.0	56.71	64.62	60.0	32.31	55.96
70	70	60	0.194	0.194	0.166	0.666	1.0	0.666	0.0	56.71	65.84	70.0	22.52	61.87
80	79	73	0.222	0.219	0.204	0.816	1.0	0.816	0.0	56.71	69.25	80.0	12.03	68.2
90	88	87	0.25	0.244	0.241	0.966	1.0	0.966	0.0	56.71	75.46	90.0	0.0	75.46
100	97	100	0.278	0.268	0.277	0.11	0.89	1.0	0.0	56.71	71.36	100.0	-12.38	70.28
110	105	113	0.306	0.292	0.313	0.253	0.747	1.0	0.0	56.71	66.43	110.0	-22.71	62.42
120	114	126	0.333	0.316	0.349	0.396	0.604	1.0	0.0	56.71	63.95	120.0	-31.96	55.38
130	122	139	0.361	0.34	0.385	0.539	0.461	1.0	0.0	56.71	63.51	130.0	-40.81	48.65
140	131	151	0.389	0.364	0.421	0.682	0.318	1.0	0.0	56.71	65.04	140.0	-49.81	41.8
150	140	164	0.417	0.388	0.456	0.825	0.175	1.0	0.0	56.71	68.78	150.0	-59.56	34.39
160	148	177	0.444	0.411	0.492	0.968	0.032	1.0	0.0	56.71	75.42	160.0	-70.86	25.79
170	159	186	0.472	0.44	0.518	0.142	0.0	1.0	0.142	56.71	72.94	170.0	-71.83	12.67
180	169	195	0.5	0.471	0.541	0.325	0.0	1.0	0.325	56.71	69.69	180.0	-69.68	0.0
190	180	203	0.528	0.501	0.564	0.507	0.0	1.0	0.507	56.71	68.72	190.0	-67.66	-11.92
200	191	211	0.556	0.532	0.587	0.69	0.0	1.0	0.69	56.71	69.86	200.0	-65.64	-23.89
210	202	219	0.583	0.562	0.609	0.873	0.0	1.0	0.873	56.71	73.32	210.0	-63.48	-36.65
220	213	228	0.611	0.593	0.632	0.055	0.0	0.945	1.0	56.71	75.43	220.0	-57.77	-48.48
230	224	236	0.639	0.623	0.655	0.238	0.0	0.762	1.0	56.71	70.93	230.0	-45.58	-54.33
240	235	244	0.667	0.653	0.678	0.42	0.0	0.58	1.0	56.71	68.92	240.0	-34.45	-59.67
250	246	252	0.694	0.684	0.701	0.603	0.0	0.397	1.0	56.71	69.05	250.0	-23.61	-64.88
260	257	261	0.722	0.714	0.724	0.786	0.0	0.214	1.0	56.71	71.36	260.0	-12.38	-70.26
270	268	269	0.75	0.745	0.747	0.968	0.0	0.032	1.0	56.71	76.22	270.0	0.0	-76.21
280	279	277	0.778	0.774	0.769	0.145	0.145	0.0	1.0	56.71	72.5	280.0	12.59	-71.39
290	289	285	0.806	0.804	0.791	0.321	0.321	0.0	1.0	56.71	69.14	290.0	23.65	-64.96
300	300	292	0.833	0.833	0.812	0.497	0.497	0.0	1.0	56.71	68.05	300.0	34.02	-58.92
310	310	300	0.861	0.862	0.834	0.673	0.673	0.0	1.0	56.71	69.06	310.0	44.39	-52.89
320	321	308	0.889	0.891	0.856	0.849	0.849	0.0	1.0	56.71	72.34	320.0	55.41	-46.49
330	331	316	0.917	0.921	0.878	0.024	1.0	0.0	0.976	56.71	76.42	330.0	66.18	-38.2
340	342	324	0.944	0.95	0.9	0.2	1.0	0.0	0.8	56.71	71.19	340.0	66.89	-24.34
350	353	332	0.972	0.979	0.922	0.376	1.0	0.0	0.624	56.71	68.58	350.0	67.54	-11.9
0	3	340	0.0	0.009	0.944	0.552	1.0	0.0	0.448	56.71	68.15	0.0	68.15	0.0

ZG130-7

Tabelle 3 dient zur Ermittlung der Daten $lab^*olv^*_{3,M}$ und $LAB^*LCH^*_{aM}$ der Maximalfarbe M als Funktion des CIELAB-Bunttonwinkels $H^*_a = h_{ab,a}$ für den Bunttonwinkelabstand von $\Delta H^*_a = 10$ Grad.

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Tabelle 4 – Zusammenhang zwischen Elementarfarb-Bunttonwinkel $H^*_e=h_{ab,e}$ und $H^*_a=h_{ab,a}$ und umgekehrt.

Tabelle: CIELAB-Bunttonwinkel $h_{ab,a}$ des Systems NRS18 und Transfer nach Bunttonwinkel im Standard- (s) oder Elementar- (e) Farbsystem																	
$h_{ab,a}$	$h_{ab,s}$	$h_{ab,e}$	h^*_s	h^*_e	$h^*_{e=e^*}$	$h_{ab,s}$	$h_{ab,a}$	$h_{ab,e}$	h^*_s	h^*_e	$h^*_{e=e^*}$	$h_{ab,e}$	$h_{ab,a}$	$h_{ab,s}$	$h^*_{e=e^*}$	h^*_s	
0	3	340	0.0	0.009	0.944	0	357	337	0.0	0.992	0.937	0	26	30	0.0	0.071	0.001
10	14	348	0.028	0.038	0.966	10	7	345	0.028	0.018	0.959	10	33	37	0.028	0.092	0.028
20	24	356	0.056	0.067	0.988	20	16	352	0.056	0.044	0.979	20	40	43	0.056	0.112	0.054
30	34	6	0.083	0.095	0.016	30	25	359	0.083	0.071	0.999	30	48	50	0.083	0.133	0.084
40	43	19	0.111	0.12	0.054	40	37	15	0.111	0.102	0.043	40	55	57	0.111	0.154	0.11
50	52	33	0.139	0.144	0.091	50	48	30	0.139	0.133	0.084	50	63	64	0.139	0.174	0.14
60	61	46	0.167	0.169	0.129	60	59	45	0.167	0.164	0.125	60	70	70	0.167	0.195	0.166
70	70	60	0.194	0.194	0.166	70	70	60	0.194	0.195	0.166	70	78	77	0.194	0.215	0.196
80	79	73	0.222	0.219	0.204	80	81	75	0.222	0.225	0.207	80	85	83	0.222	0.236	0.222
90	88	87	0.25	0.244	0.241	90	92	89	0.25	0.256	0.249	90	92	90	0.25	0.257	0.249
100	97	100	0.278	0.268	0.277	100	104	105	0.278	0.289	0.292	100	100	97	0.278	0.278	0.277
110	105	113	0.306	0.292	0.313	110	116	120	0.306	0.321	0.335	110	108	103	0.306	0.3	0.306
120	114	126	0.333	0.316	0.349	120	127	135	0.333	0.354	0.374	120	116	110	0.333	0.321	0.335
130	122	139	0.361	0.34	0.385	130	139	150	0.361	0.386	0.417	130	123	116	0.361	0.343	0.36
140	131	151	0.389	0.364	0.421	140	151	166	0.389	0.418	0.46	140	131	123	0.389	0.364	0.388
150	140	164	0.417	0.388	0.456	150	162	180	0.417	0.451	0.499	150	139	130	0.417	0.386	0.417
160	148	177	0.444	0.411	0.492	160	171	187	0.444	0.476	0.52	160	147	137	0.444	0.407	0.446
170	159	186	0.472	0.44	0.518	170	180	195	0.472	0.501	0.541	170	154	143	0.472	0.429	0.471
180	169	195	0.5	0.471	0.541	180	190	203	0.5	0.527	0.564	180	162	150	0.5	0.45	0.499
190	180	203	0.528	0.501	0.564	190	199	210	0.528	0.552	0.584	190	174	163	0.528	0.484	0.527
200	191	211	0.556	0.532	0.587	200	208	218	0.556	0.577	0.605	200	186	176	0.556	0.518	0.554
210	202	219	0.583	0.562	0.609	210	217	225	0.583	0.603	0.625	210	199	190	0.583	0.552	0.584
220	213	228	0.611	0.593	0.632	220	226	233	0.611	0.628	0.646	220	211	203	0.611	0.585	0.612
230	224	236	0.639	0.623	0.655	230	235	240	0.639	0.653	0.667	230	223	217	0.639	0.619	0.639
240	235	244	0.667	0.653	0.678	240	244	247	0.667	0.679	0.687	240	235	230	0.667	0.653	0.667
250	246	252	0.694	0.684	0.701	250	253	255	0.694	0.704	0.708	250	247	243	0.694	0.687	0.694
260	257	261	0.722	0.714	0.724	260	263	263	0.722	0.729	0.731	260	259	256	0.722	0.72	0.721
270	268	269	0.75	0.745	0.747	270	272	270	0.75	0.755	0.751	270	271	269	0.75	0.754	0.749
280	279	277	0.778	0.774	0.769	280	281	277	0.778	0.781	0.771	280	284	283	0.778	0.789	0.777
290	289	285	0.806	0.804	0.791	290	291	285	0.806	0.807	0.793	290	297	297	0.806	0.825	0.806
300	300	292	0.833	0.833	0.812	300	300	292	0.833	0.834	0.812	300	310	310	0.833	0.86	0.834
310	310	300	0.861	0.862	0.834	310	310	300	0.861	0.86	0.834	310	322	323	0.861	0.895	0.861
320	321	308	0.889	0.891	0.856	320	319	307	0.889	0.886	0.854	320	335	337	0.889	0.93	0.889
330	331	316	0.917	0.921	0.878	330	329	315	0.917	0.913	0.876	330	348	350	0.917	0.966	0.918
340	342	324	0.944	0.95	0.9	340	338	322	0.944	0.939	0.896	340	0	3	0.944	0.001	0.944
350	353	332	0.972	0.979	0.922	350	348	330	0.972	0.965	0.918	350	13	17	0.972	0.036	0.972
0	3	340	0.0	0.009	0.944	0	357	337	0.0	0.992	0.937	0	26	30	0.0	0.071	0.001

ZG131-7

Tabelle 4 dient zur Ermittlung des Standard-Bunttonwinkel $H^*_s=h_{ab,s}$ und des Elementarfarb-Bunttonwinkels $H^*_e=h_{ab,e}$ als Funktion des adaptierten CIELAB-Bunttonwinkels $H^*_a=h_{ab,a}$ für den Bunttonwinkelabstand von $\Delta H^*_a=10$ Grad und umgekehrt.

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Der Bunttonwinkelabstand $\Delta H_a^* = 10$ Grad oder $\Delta H_e^* = 10$ Grad ist für viele Anwendungen zu grob und daher wird eine Tabelle mit einem Abstand $\Delta H_a^* = 1$ Grad oder $\Delta H_e^* = 1$ Grad empfohlen, siehe Daten für 24 Gerätesysteme:

<http://www.ps.bam.de/ZE13>

Insbesondere bei Anwendung auf Pixelgraphiken mit zum Beispiel 1 Million Bildpunkten (1000 x 1000 Bildmatrix) ist die Umrechnung mit Tabellendaten, vergleiche Bild 12 bis 14, viel schneller als die Methode in Bild 11. Für jeden Pixel sind ca. 5 bis 20 mathematische Operationen notwendig.

Anmerkung: Wir verwenden im folgenden für eine beliebige Farbe F keinen Index (nicht den Index F) im Gegensatz zum Index M für die Maximalfarbe M .

Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von LCH_a^* (CIELAB) nach nce^* und olv_3^*	
Gegeben: CIELAB-Daten einer beliebigen Farbe $L^*, C_{ab,a}^*, h_{ab,a} = LCH_a^* = LAB^*LCH_a^*$ oder L^*, a_a^*, b_a^*	
CIELAB-Daten $L^*, C_{ab,a}^*, h_{ab,a}, a_a^*, b_a^*$ von 8 Grundfarben $X = OYLCVMNW$	
Gesucht: nce^* und rgb-Gerätedaten olv_3^* der gegebenen Farbe (im Beispiel M gelegen zwischen O und Y)	
CIELAB-Bunttonwinkel von Farbe und Maximalfarbe M	$h_{ab,a} = h_{ab,a,M} \quad (0 \leq h_{ab,a} \leq 360)$ (1)
Relativer Geräte-Bunttonwinkelanteil von M	$\alpha_{a,M} = [h_{ab,a,M} - h_{ab,a,O}] / [h_{ab,a,Y} - h_{ab,a,O}]$ (2)
CIELAB-Helligkeit von M	$L_{a,M}^* = \alpha_{a,M} L_{a,Y}^* + (1 - \alpha_{a,M}) L_{a,O}^*$ (3)
CIELAB-Rot-Grün-Buntheit von M	$a_{a,M}^* = \alpha_{a,M} a_{a,Y}^* + (1 - \alpha_{a,M}) a_{a,O}^*$ (4)
CIELAB-Gelb-Blau-Buntheit von M	$b_{a,M}^* = \alpha_{a,M} b_{a,Y}^* + (1 - \alpha_{a,M}) b_{a,O}^*$ (5)
radiale CIELAB-Buntheit von M	$C_{ab,a,M}^* = [a_{a,M}^{*2} + b_{a,M}^{*2}]^{1/2}$ (6)
Relative Helligkeit der gegebenen Farbe	$l^* = [L^* - L_N^*] / [L_W^* - L_N^*]$ (7)
Relative Buntheit der gegebenen Farbe	$c^* = C_{ab,a}^* / C_{ab,a,M}^*$ (8)
Relative Dreiecks-Helligkeit der gegebenen Farbe	$t^* = l^* - [L_M^* - L_N^*] / [L_W^* - L_N^*] c^* + 0,5 c^*$ (9)
Relative Schwarzheit der gegebenen Farbe	$n^* = 1 - t^* - 0,5 c^*$ (10)
Relative Weißheit der gegebenen Farbe	$w^* = 1 - n^* - c^*$ (11)
Elementarfarb-Bunttonwinkel der gegebenen Farbe	$e^* = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$ (mit Tabelle/Gleichung) (12)
Relative $olv_{3,M}^*$ -Daten von M	$o_{3,M}^* = \alpha_{a,M} o_{3,Y}^* + (1 - \alpha_{a,M}) o_{3,O}^*$ (13)
	$l_{3,M}^* = \alpha_{a,M} l_{3,Y}^* + (1 - \alpha_{a,M}) l_{3,O}^*$ (14)
	$v_{3,M}^* = \alpha_{a,M} v_{3,Y}^* + (1 - \alpha_{a,M}) v_{3,O}^*$ (15)
Relative olv_3^* -Daten der gegebenen Farbe	$o_3^* = w^* + c^* o_{3,M}^*$ (16)
	$l_3^* = w^* + c^* l_{3,M}^*$ (17)
	$v_3^* = w^* + c^* v_{3,M}^*$ (18)

ZG120-3

Bild 11 – Transformation der gegebenen Daten $LAB^*LCH_a^*$ nach $lab^*olv_3^*$ und lab^*nce^*

Bild 11 enthält die Transformation der gegebenen Daten $LAB^*LCH_a^*$ nach $lab^*olv_3^*$ und lab^*nce^* . Hierzu werden außer zur Berechnung von e^* die Gleichungen (1) bis (15) benutzt. Im Beispiel wird angenommen, daß der Bunttonwinkel der (orangenen) Maximalfarbe M zwischen den Bunttonwinkeln der Farben Orangerot O und Gelb Y liegt

Die Berechnung mit dem relativen Bunttonwinkelanteil $\alpha_{a,M}$ nach Bild 11 erfordert für große Bildmatrizen, z. Beispiel 1000 x 1000 Punkte, mehr Rechenzeit verglichen mit der Methode von Bild 12 bis 14 unter Verwendung von Tabellendaten der Maximalfarben M als Funktion des CIELAB-Bunttonwinkels $h_{ab,a}$.

Deshalb wird die Tabellen-Methode im folgenden bevorzugt angewendet. Die hierzu notwendigen Tabellen 3 und 4 enthalten Daten für den CIELAB-Bunttonwinkel-Abstand von $\Delta h_{ab} = 10$ Grad. Für die Anwendung werden Tabellen mit dem CIELAB-Bunttonwinkel-Abstand von $\Delta h_{ab} = 1$ Grad empfohlen, siehe Tabellen für 24 Gerätesysteme (240 Seiten) in

<http://www.ps.bam.de/YG00>

In vielen Fällen wird man Farbprofile für die Ein- und Ausgabe berechnen. Auch zur Berechnung von Farbprofilen mit zum Beispiel 25x25x25 rgb -Daten und zugehörigen L^*, a_a^*, b_a^* -Daten eignen sich die Tabellen mit dem CIELAB-Bunttonwinkel-Abstand von $\Delta h_{ab} = 1$ Grad. Im folgenden wird die schnellere Berechnungsmethode mit Tabellendaten dargestellt. Die Methode von Bild 12 benutzt Tabellendaten und stellt eine Alternativ-Methode im Vergleich zu Bild 11 dar.

Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von LCH^*_a (CIELAB) nach nce^* und olv^*_3		
Gegeben: Adaptierte CIELAB-Daten einer beliebigen Farbe $L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a} = LCH^*_a = LAB^*LCH^*_a$		
Adaptierte CIELAB-Daten $L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a}, a^*_a, b^*_a$ von 8 Grundfarben $X = OYLCVMNW$		
Gesucht: nce^* und rgb-Gerätedaten olv^*_3 der gegebenen Farbe		
Buntonwinkel der gegebenen Farbe und von M	$h_{ab,a} = H^*_a$	(1)
CIELAB- $LCH^*_{a,M}$ -Daten von Maximalfarbe M	$L^*_M = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (2)
	$C^*_{ab,a,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (3)
	$h_{ab,a,M} = h_{ab,a}$	(4)
Relative Helligkeit der gegebenen Farbe	$l^* = [L^* - L^*_N] / [L^*_W - L^*_N]$	(5)
Relative Buntheit der gegebenen Farbe	$c^* = C^*_{ab,a} / C^*_{ab,a,M}$	(6)
Relative Dreiecks-Helligkeit der gegebenen Farbe	$t^* = l^* - [L^*_M - L^*_N] / [L^*_W - L^*_N] c^* + 0,5 c^*$	(7)
Relative Schwarzheit der gegebenen Farbe	$n^* = 1 - t^* - 0,5 c^*$	(8)
Relative Weißheit der gegebenen Farbe	$w^* = 1 - n^* - c^*$	(9)
Elementarfarb-Buntonwinkel der gegebenen Farbe	$e^* = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (10)
Relative $olv^*_{3,M}$ -Daten von Maximalfarbe M	$o^*_{3,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (11)
	$l^*_{3,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (12)
	$v^*_{3,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (13)
Relative olv^*_3 -Daten der gegebenen Farbe	$o^*_3 = w^* + c^* o^*_{3,M}$	(14)
	$l^*_3 = w^* + c^* l^*_{3,M}$	(15)
	$v^*_3 = w^* + c^* v^*_{3,M}$	(16)

ZG120-7

Bild 12 – Transformation der gegebenen Daten $LAB^*LCH^*_a$ nach lab^*nce^* und $lab^*olv^*_3$

Bild 12 enthält die Transformation der gegebenen Daten $LAB^*LCH^*_a$ nach lab^*nce^* und $lab^*olv^*_3$. Hierzu werden Tabellendaten entsprechend Tabelle 3 und 4 benutzt.

Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von nce^* nach olv^*_3 (rgb-Daten) und LCH^*_a		
Gegeben: nce^*-Daten (ähnlich NCS) einer beliebigen Farbe $nce^* = lab^*nce^*$ ($0 \leq n^*, c^*, e^* \leq 1$)		
Adaptierte CIELAB-Daten $L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a}, a^*_a, b^*_a$ von 8 Grundfarben $X = OYLCVMNW$		
Gesucht: rgb-Gerätedaten olv^*_3 und LCH^*_a der gegebenen Farbe		
Elementarfarb-Buntonzahl von Farbe	e^*	($0 \leq e^* \leq 1$) (1)
CIELAB-Buntonwinkel von Farbe und Maximalfarbe M	$h_{ab,a} = \text{Funktion} [e^*]$	(mit Tabelle/Gleichung) (2)
Relative Weißheit der gegebenen Farbe	$w^* = 1 - n^* - c^*$	(3)
Relative Dreiecks-Helligkeit der gegebenen Farbe	$t^* = 1 - n^* - 0,5 c^*$	(4)
$olv^*_{3,M}$ -Daten von Maximalfarbe M	$o^*_{3,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (5)
	$l^*_{3,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (6)
	$v^*_{3,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (7)
Relative olv^*_3 -Daten der gegebenen Farbe	$o^*_3 = w^* + c^* o^*_{3,M}$	(8)
	$l^*_3 = w^* + c^* l^*_{3,M}$	(9)
	$v^*_3 = w^* + c^* v^*_{3,M}$	(10)
Adaptierte CIELAB- $LCH^*_{a,M}$ -Daten Maximalfarbe M	$L^*_M = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (11)
	$C^*_{ab,a,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}]$	(mit Tabelle/Gleichung) (12)
	$h_{ab,a,M} = h_{ab,a}$	(13)
Relative Helligkeit von Maximalfarbe M	$l^*_M = [L^*_M - L^*_N] / [L^*_W - L^*_N]$	(14)
Relative Helligkeit der gegebenen Farbe	$l^* = t^* + l^*_M c^* + 0,5 c^*$	(15)
Adaptierte CIELAB- LCH^*_a -Daten der gegebenen Farbe	$L^* = l^* [L^*_W - L^*_N] + L^*_N$	(16)
	$C^*_{ab,a} = c^* C^*_{ab,a,M}$	(17)
	$h_{ab,a} = h_{ab,a,M}$	(18)

ZG121-3

Bild 13 – Transformation der gegebenen Daten lab^*nce^* nach $lab^*olv^*_3$ und $LAB^*LCH^*_a$

Bild 13 enthält die Transformation der gegebenen Daten lab^*nce^* nach $lab^*olv^*_3$ und $LAB^*LCH^*_a$. Hierzu werden Tabellendaten entsprechend Tabelle 3 und 4 benutzt.

Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von olv^*_3 nach nce^*-Daten und LCH^*_a-Daten		
Gegeben: rgb-Gerätedaten einer beliebigen Farbe $olv^*_3 = lab^*olv^*_3$		
Adaptierte CIELAB-Daten L^*, $C^*_{ab,a}$, $h_{ab,a}$, a^*_a, b^*_a von 8 Grundfarben $X = OYLCVMNW$		
Gesucht: $nce^* = lab^*nce^*$ (ähnlich NCS-Daten) und LCH^*_a-Daten der gegebenen Farbe ($0 \leq e^* \leq 1$)		
Relative Buntheit der gegebenen Farbe	$c^* = \max [olv^*_3] - \min [olv^*_3]$	(1)
Relative Schwarzheit der gegebenen Farbe	$n^* = 1 - \max [olv^*_3]$	(2)
Relative Dreiecks-Helligkeit der gegebenen Farbe	$t^* = 1 - n^* - 0,5 c^*$	(3)
Relative Rot-Grün-Buntheit im 60-Grad-System s	$a^*_{rs} = o^*_3 \cos(30) + l^*_3 \cos(150)$	(4)
Relative Gelb-Blau-Buntheit im 60-Grad-System s	$b^*_{rs} = o^*_3 \sin(30) + l^*_3 \sin(150) + v^*_3 \sin(270)$	(5)
Buntonwinkel im 60-Grad-System s	$h_{ab,s} = \arctan [b^*_{rs} / a^*_{rs}] \quad (0 \leq h_{ab,s} \leq 360)$	(6)
CIELAB-Buntonwinkel im Gerätesystem	$h_{ab,a} = \text{Funktion} [h_{ab,s}] \quad (\text{mit Tabelle/Gleichung})$	(7)
Elementarfarb-Buntonzahl der gegebenen Farbe	$e^* = \text{Funktion} [h_{ab,a}] \quad (\text{mit Tabelle/Gleichung})$	(8)
Adaptierte CIELAB- LCH^*_a -Daten von Maximalfarbe M	$L^*_M = \text{Funktion} [h_{ab,a}] \quad (\text{mit Tabelle/Gleichung})$	(9)
	$C^*_{ab,a,M} = \text{Funktion} [h_{ab,a}] \quad (\text{mit Tabelle/Gleichung})$	(10)
	$h_{ab,a,M} = h_{ab,a}$	(11)
Relative Helligkeit von Maximalfarbe M	$l^*_M = [L^*_M - L^*_N] / [L^*_W - L^*_N]$	(12)
Relative Helligkeit der gegebenen Farbe	$l^* = t^* + l^*_M c^* + 0,5 c^*$	(13)
Adaptierte CIELAB- LCH^*_a -Daten der gegebenen Farbe	$L^* = l^* [L^*_W - L^*_N] + L^*_N$	(14)
	$C^*_{ab,a} = c^* C^*_{ab,a,M}$	(15)
	$h_{ab,a} = h_{ab,a,M}$	(16)

ZG121-7

Bild 14 – Transformation der gegebenen Daten $lab^*olv^*_3$ nach lab^*nce^* und $LAB^*LCH^*_a$

Bild 14 enthält die Transformation der gegebenen Daten $lab^*olv^*_3$ nach lab^*nce^* und $LAB^*LCH^*_a$. Hierzu werden Tabellendaten entsprechend Tabelle 3 und 4 benutzt.

Falls die Tabellen nicht benutzt werden sollen, so findet man unter folgender URL

<http://www.ps.bam.de/ZG20>

1. Beispiele der Gleichungen zur Umrechnung des CIELAB-Buntonwinkels h_{ab} in die Elementar-Buntonzahl e^* und umgekehrt
2. Beispiele der Gleichungen zur Umrechnung des Standard-Buntonwinkels $h_{ab,s}$ in den CIELAB-Buntonwinkel h_{ab}

8. CIELAB-Farbsystem und Anwendungsgrenzen

Das CIELAB-System dient als Basis zur Beschreibung des Farbsehens. Ein erster Test von jedem neuen Modell des Farbsehens ist daher ein Vergleich der Modell-Stufung mit der Stufung im *Munsell*- und/oder *OSA*-Farbordnungssystem. CIELAB basiert auf dem *Munsell*-Farbsystem und es gibt eine Veröffentlichung von Richter (1980) mit Farbproduktionen der Farbmuster des *Munsell*- und *OSA*-Farbsystems in verschiedenen Farbarte-Diagrammen. Einige der folgenden Bilder sind aus der obigen Arbeit von *Richter* (1980) und einem Buch von *Richter* (1996) entnommen.

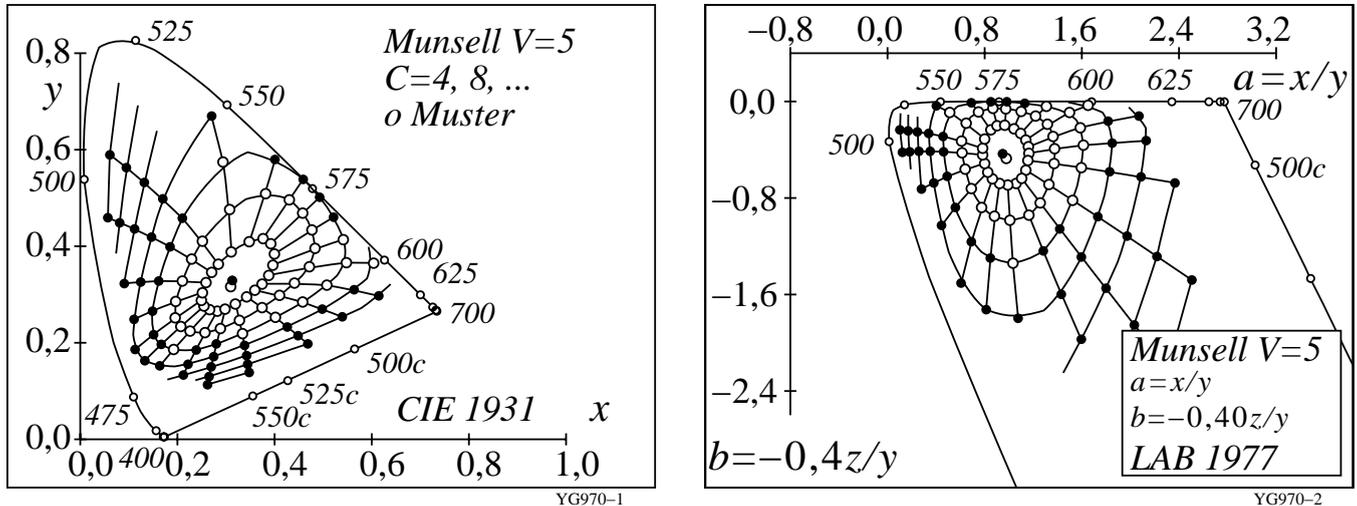


Bild 15 – Reale und extrapolierte Muster des Munsell-Farbordnungssystems (Value 5) in (x, y) und (a, b)
 Bild 15 zeigt reale (o) und extrapolierte Muster (•) des *Munsell*-Farbsystems für Value 5 in der CIE Normfarbtafel (x, y) und der Farbtafel (a, b). Der Zusammenhang zwischen der Farbtafel-Koordinaten (a, b) und (x, y) ist linear und wird im Bild 15 (rechts) gezeigt.

Farbvalenzmetrik (Farbdaten: lineare Beziehung zu Daten CIE 1931)		
lineare Farbgrößen	Bezeichnung und Zusammenhang mit Normfarbwerten / -anteilen	Bemerkungen:
Hellbezugswert	$Y = y (X + Y + Z)$	
Buntwert	für lineares Buntwertdiagramm (A, B)	
Rot-Grün	$A = [X / Y - X_n / Y_n] Y = [a - a_n] Y$ $= [x / y - x_n / y_n] Y$	$n=D65$ (Umfeld)
Gelb-Blau	$B = -0,4 [Z / Y - Z_n / Y_n] Y = [b - b_n] Y$ $= -0,4 [z / y - z_n / y_n] Y$	
radial	$C_{ab} = [A^2 + B^2]^{1/2}$	
Farbartwert	für lineare Farbtafel (a, b)	
Rot-Grün	$a = X / Y = x / y$	vergleiche lineare Zapfensättigung
Gelb-Blau	$b = -0,4 [Z / Y] = -0,4 [z / y]$	P/ (P+D)
radial	$c_{ab} = [(a - a_n)^2 + (b - b_n)^2]^{1/2}$	T/ (P+D)

YG971-7

Bild 16 – Koordinaten der Farbvalenzmetrik und Farbtafel-Koordinaten (a, b)

Bild 16 zeigt die Koordinaten der Farbvalenzmetrik und die Farbtafel-Koordinaten (a, b). Die Buntwerte A und B können zum Beispiel berechnet werden, wenn die Differenz der Farbarte a des Musters und der Farbarte a_n im Umfeld (n) mit dem Hellbezugswert Y multipliziert wird.

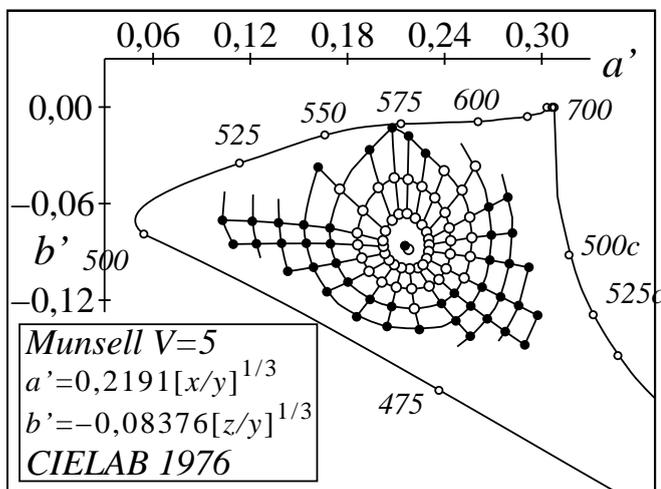
Zusätzlich kann die Farbarte a und b mit den Sättigungen P / (P+D) und T / (P+D) der drei Farbzeptoren P, D und T oder LMS nach CIE 171-1:2005 verglichen werden. Zum Beispiel sieht das Verhältnis Z/Y = z/y = [(1-x-y) / y] angenähert aus wie T / (P+D).

Höhere Farbmetrik (Farbdaten: nichtlineare Beziehung zu CIE 1931)		
nichtlineare Farbgrößen	Name und Zusammenhang mit Normfarbwerten und -anteilen	Bemerkungen
Helligkeit	$L^* = 116 (Y / 100)^{1/3} - 16 \quad (Y > 0,8)$ Näherung: $L^* = 100 (Y / 100)^{1/2,4}$	CIELAB 1976
Buntheit	<i>nichtlineare Transformation der Buntwerte A und B</i>	
Rot-Grün	$a^* = 500 [(X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3}]$ $= 500 (a' - a'_n) Y^{1/3}$	CIELAB 1976 <i>n=D65 (Umfeld)</i>
Gelb-Blau	$b^* = 200 [(Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3}]$ $= 500 (b' - b'_n) Y^{1/3}$	CIELAB 1976
radial	$C^*_{ab} = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$	
Farbart	<i>nichtlineare Transformation von Farbarten $a=x/y$; $b=z/y$</i>	
Rot-Grün	$a' = (1 / X_n)^{1/3} (x / y)^{1/3}$ $= 0,2191 (x / y)^{1/3} \quad \text{für D65}$	vergleiche mit \log Zapfensättigung $\log[P / (P+D)]$
Gelb-Blau	$b' = -0,4 (1 / Z_n)^{1/3} (z / y)^{1/3}$ $= -0,08376 (z / y)^{1/3} \quad \text{für D65}$	$\log[T / (P+D)]$
radial	$c'_{ab} = [(a' - a'_n)^2 + (b' - b'_n)^2]^{1/2}$	

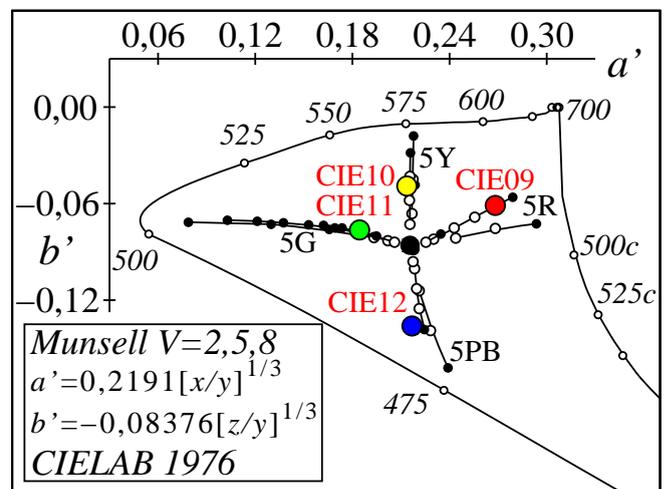
YG970-7

Bild 17 – Koordinaten der Höheren Farbmetrik mit nicht-linearen Farbtafel-Koordinaten (a' , b')

Bild 17 zeigt die Koordinaten der Höheren Farbmetrik mit den *nicht-linearen* Farbtafel-Koordinaten (a' , b'). Die CIELAB Buntheitsdaten a^* und b^* können berechnet werden, wenn zum Beispiel die Differenz der nicht-linearen Farbtafel-Koordinaten a' und a'_n des Musters und des Umfelds multipliziert werden mit der Helligkeit L^* (Näherung $Y^{1/3}$) des Musters. Zusätzlich werden die nicht-linearen Farbtafel-Koordinaten a' und b' verglichen mit den Sättigungen $\log [P / (P+D)]$ und $\log [T / (P+D)]$. Die Kubikwurzel-Koordinaten $(Z/Y)^{1/3} = (z/y)^{1/3} = [(1-x-y) / y]^{1/3}$ sind ähnlich wie $\log [T / (P+D)]$.



YG970-3



YG970-4

Bild 18 – Reale und extrapolierte Muster des Munsell-Farbsystems (Value 5) in (a' , b')

Bild 18 zeigt reale (o) und extrapolierte Muster (•) des Munsell-Farbsystems für Value 5 in der *nicht-linearen* Farbarttafel (a' , b') (*links*) und die Elementaruntttöne 5R, 5Y, 5G und 5PB des Munsell-Farbsystems für Value 2, 5, und 8 in der *nicht-linearen* Farbarttafel (a' , b'). Zusätzlich sind die vier CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 von CIE 13.3:1985 dargestellt. Diese vier Farben dienen als Elementarfarben im Gebiet der Informationstechnik. Aus den spektralen Daten wurden die CIELAB-Daten für die Normlichtart D65 und die Lichtart D50 berechnet, vergleiche Tabelle 7 in Abschnitt 10. Die CIE-Testfarben dienen zum Beispiel in DIN 33866-2 und ISO/IEC 15775 als Referenzfarben für Farbkopierer.

Die Elementarfarben Gelb *J* und Blau *B* liegen angenähert auf einer Geraden durch den Weißpunkt (Farbart von D65). Die Elementarfarben Rot *R* und Grün *G* sind nicht auf einer Linie durch den Weißpunkt. Für D65 und die Elementarfarben *RJGB* betragen die Bunttonwinkel $h_{ab} = 26, 92, 162$ und 272 Grad im CIELAB-System.

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

DIN 33872-1 bis -6 benutzt die *geräteunabhängige* Lage der CIELAB-Bunntonwinkel der Elementarfarben und erhöht so in besonderer Weise die Benutzerakzeptanz.

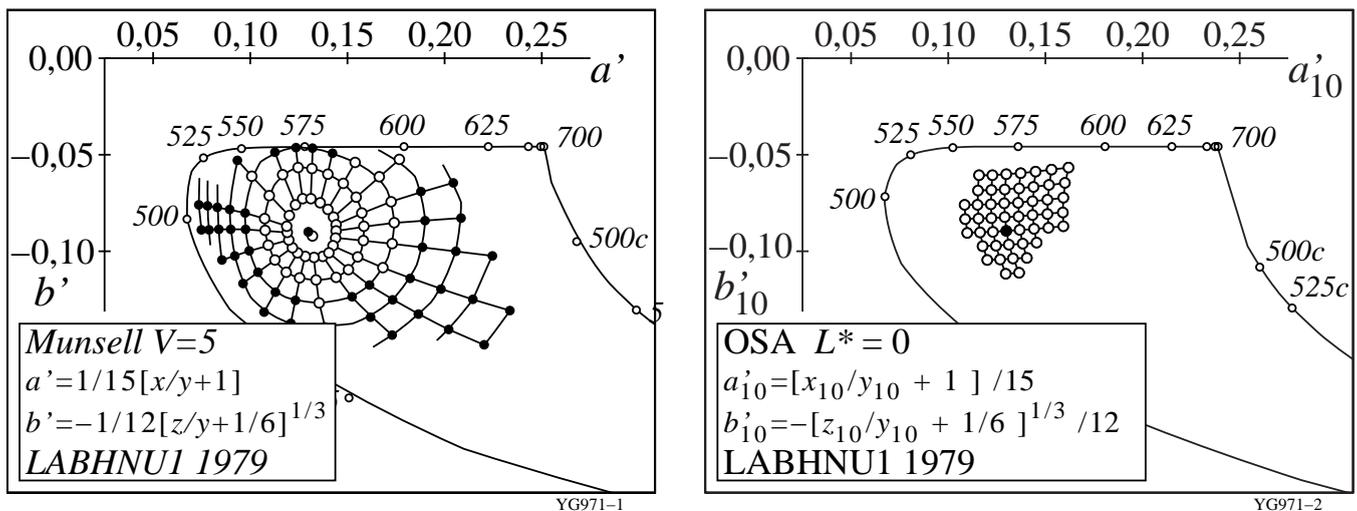


Bild 19 – Muster des Munsell- und OSA-Farbsystems in einer modifizierten Farbarttafel (a', b')

Bild 19 zeigt Muster (Value 5) des Munsell-Farbsystems und die Muster ($L^*_{OSA} = 0$, entspricht $L^*_{CIE} = 50$) des OSA-Farbsystems in einer modifizierten Farbarttafel (a' , b'). Die Relation von (a' , b') und (x , y) bzw. von (a'_{10} , b'_{10}) und (x_{10} , y_{10}) für den CIE 10-Grad-Beobachter ist im Bild 19 dargestellt. Nach den Ergebnissen der Ausgabeskalierung, siehe Richter (1976 und 1996) ist es möglich, in Rot-Grün-Richtung eine lineare Gleichung zu benutzen. Dies trifft für alle realen Oberflächenfarben zu, deren Bereich angenähert durch die Muster des Munsell- (links) oder OSA- (rechts) Farbsystems abgegrenzt wird. Dieser Bereich aller realen Oberflächenfarben füllt nur etwa 30% des Optimalfarbenraums aus, der durch rechteckförmige Reflexionskurven definiert ist.

Anwendungsgrenzen der Farbstufung von CIELAB

Bild 19 zeigt im Vergleich zu Bild 18 eine verbesserte Farbstufung für die Reihe Weiß – Gelb sowohl für Muster des Munsell- und OSA-Systems. Dies hat besondere Bedeutung für die Anwendung bei Farbdruckern. Die gelbe Druckerfarbe Y liegt oft angenähert auf dem Spektralfarbenzug und die Fernsehfarbe Gelb Y (gemischt aus Orangerot O und Laubgrün L) liegt wesentlich im Innern. Für einen Fotodrucker ergibt sich für den gelben Bunnton die CIELAB-Buntheit $C^*_{ab} = 115$ und für den Standard-Monitor TLS18 die CIELAB-Buntheit $C^*_{ab} = 60$. Anstelle des Verhältnisses 115/60 ergibt sich in LABHNU 1979 das Verhältnis 80/60, das die visuelle Beurteilung wesentlich besser wiedergibt. CIELAB berechnet daher einen zu großen Farbunterschied für gesättigtes Gelb in Gelb-Weiß-Richtung.

Auch in Rot-Grün-Richtung wird im gesättigten Grün ein zu großer CIELAB-Abstand berechnet. Dieser Effekt spielt in der Anwendung nur eine geringe Rolle, da es keine realen Oberflächenfarben in diesem Bereich gibt.

Der Elementarbunnton Blau B und der Elementarbunnton Rot R zeigen in CIELAB eine Bunntonwinkelverschiebung mit zunehmender Helligkeit der Farbmuster. Die Farbmuster in einem Bunntonschnitt CIELAB-Elementarblau (272 Grad) sehen bei hellen Mustern leicht rötlich aus. Die Farbmuster in einem Bunntonschnitt CIELAB-Elementarrot (26 Grad) sehen bei hellen Mustern leicht bläulich aus, vergleiche Bild 18, das die Munsell-Bunntonstrahlen für die CIELAB-Helligkeiten $L^* = 20, 50$ und 80 enthält.

CIELAB wurde vorwiegend für separate Farbmuster auf grauer Umgebung entwickelt. Für aneinandergrenzende Farbmuster ist eine lokale Adaptationsleuchtdichte in Hell-Dunkel-Richtung wirksam, die für kleine Farbunterschiede eine Änderung der Farbunterscheidungs-Metrik bewirken. Für kleine Unterschiede und aneinandergrenzende Farben wurde die Formel CIEDE2000 entwickelt, vgl. CIE 142:2001, die in den Farbabstandsgrenzen von 0 bis 5 CIELAB anwendbar ist. In der Farbinformations-Technologie sind Farbunterschiede größer 5 CIELAB zwischen Original und Reproduktion die Regel. Daher ist die industrielle Farbabstandsberechnung mit der Formel CIE DE2000 von CIE 142:2001 nicht anwendbar. Der Anwendungsbereich von CIEDE2000 wird zur Zeit in CIE TC1-63 „Validity of CIEDE2000“ mit K. Richter als Vorsityenden untersucht.

Anwendungsgrenzen von CIELAB für verschiedene Lichtarten

In CIE 15:2005 werden zwei Normlichtarten D65 (Tageslicht) und A (Kunstlicht, angenähert Glühlampenlicht) und andere Lichtarten, zum Beispiel D50, D55 und D75 definiert. Im Sinne der Standardisierung empfiehlt CIE 15 eine der beiden Normlichtarten zu verwenden. Im Bürobereich entsteht angenähert die Normlichtart D65 durch Tageslicht. CIE TC1-66 definiert zur Zeit ein „Indoor daylight“, das die Absorption des technischen Fensterglases

berücksichtigt, welches insbesondere im UV absorbiert und die Strahlung im sichtbaren Bereich nur wenig beeinflusst.

Nach DIN V 18599-4:2005 ist für jedes neue Bürogebäude EU-weit ein Energiepaß erforderlich. Die Energieeinsparung wird unter anderem durch Tageslichtnutzung mit genügend großen Fenstern und nicht zu großen Raumtiefen begünstigt. Nach IEC 61966-2-1 sind die Standardmonitore auf die Farbart D65 für Weiß eingestellt. Eine Einstellung auf D50 erfordert in der Regel eine um 20% bis 30% höhere elektrische Energie bei gleicher Leuchtdichte für Weiß und ist daher nicht sinnvoll. Im Bürobereich wird daher für den Vergleich Hardcopy – Softcopy aus vielen Gründen die Normlichtart D65 gewählt.

In DIN 33866-1 und ISO/IEC 15775 ist die Normlichtart D65 für die Definition der Farben der analogen Prüfvorlagen, für die Herstellung, die visuelle Beurteilung und für die farbmetrische Kennzeichnung vorgeschrieben.

D65 und D50 in Normen

ISO TC 130 (Graphische Technologie) hat aus mehreren Gründen die Normlichtart D50 als Standard gewählt. Historisch mußten im Drucksaal zunächst Dia-Bilder, die angenähert für Normlichtart A in der Projektion optimiert sind, mit Druckergebnissen, die oft bei Tageslicht beurteilt werden, verglichen werden. Hierzu diente D50 als Kompromiß, das farbmetrisch angenähert in der Mitte zwischen den Normlichtarten A und D65 liegt.

Im Drucksaal ist die Tageslichtnutzung wegen der erforderlichen großen Raumtiefen (ohne Oberlichter) nicht anwendbar und zu variabel. Daher sind künstliche Lichtquellen und Abmusterungskabinen mit definierten Eigenschaften der Lichtquellen erforderlich. Solche enthalten die Normlichtarten D65 und A sowie die Standardlichtart D50 von ISO TC 130.

Die Lichtart D50 liefert nur halb so viel Strahlung im Bereich um 400 nm verglichen mit D65, die zum Beispiel die Farbe von weißem Papier und von Fotopapier mit optischen Aufhellern um 10 CIELAB verändert. Diese Farbänderung durch Fluoreszenz beträgt oft 10 CIELAB bei D65 und ist bei D50 nur halb so groß. Diese Farbänderung durch Fluoreszenz können fast alle Standard-Geräte der graphischen Industrie nur ungenau messen, vergleiche CIE 163:2004. Diese Änderungen beeinflussen aber wesentlich das visuelle Urteil, zum Beispiel beim Vergleich Softcopy (Bildschirm ohne Fluoreszenz) und Hardcopy (Papier mit Fluoreszenz). Wegen dieser Anwendungsprobleme und für den oft notwendigen Vergleich der Meßergebnisse ist die Messung **ohne** Fluoreszenz in einem neuen Normvorhaben von TC 130 geplant.

Der Bericht CIE163:2004 beschreibt Möglichkeiten der verbesserten Farbmessung im Regelfall der Fluoreszenz mit Meßgeräten, die zum Beispiel Quarzoptik anstelle von Kunststoffoptik enthalten. Ein neuer Weg wird in einer Dissertation von *Jaeger* (2006) beschrieben. Eine BAM-CIELAB-Kamera mißt die Strahlung an jedem Bildpunkt (einschließlich der sichtbaren Strahlung durch Fluoreszenz) bei D65 Beleuchtung und berechnet die CIELAB-Daten für jeden Bildpunkt mit einer Standardabweichung von 2 CIELAB. Für eine genauere Fluoreszenzmessung ist die Aufnahme mit einer D65-Farbabmusterungsleuchte erforderlich.

Probleme der Anwendung von CIELAB für D50

Der Farbenraum CIELAB wurde für die Normlichtart D65 entwickelt und basiert auf experimentellen Ergebnissen mit der CIE-Normlichtart C, die durch CIE-Normlichtart D65 mit angenähert der gleichen Farbtemperatur ersetzt wurde. CIE 15 begrenzt die Anwendung auf Lichtarten ähnlich D65 ohne eine Toleranz anzugeben.

Die Anwendung von CIELAB für D50 ist daher nach CIE 15 erlaubt. CIELAB für D50 und für D65 benutzen eine eingebaute „von *Kries*-Farbumstimmungsformel“. In CIE160:2004 wird eine andere Farbumstimmungsformel zum Test vorgeschlagen, da die „von *Kries*-Farbumstimmungsformel“ von CIELAB weniger geeignet ist. Damit wird indirekt die Verwendung von CIELAB für D50 nicht empfohlen sondern nur die Verwendung von CIELAB für D65 mit der Farbumstimmungsformel von CIE 160:2004.

Relative Farbbildwiedergabe bei D65 und D50

DIN 33872 benutzt die Normlichtart D65 und entspricht damit vollkommen den Empfehlungen von CIE 15. Die Auswertungen der Farbstufen im Abschnitt 13 bei Benutzung von CIELAB sowohl für D65 als auch für D50 zeigen, daß die relative gleichabständige Stufung unter D65 zugleich eine relative gleichabständige Stufung unter D50 liefert. Dies ist erfüllt, wenn die visuelle Toleranz von 3 CIELAB erlaubt wird, die in ISO/IEC 15775 definiert ist. Daher entsprechen die Eigenschaften unter D65 zugleich den Eigenschaften unter D50 und es besteht keine Notwendigkeit der zusätzlichen Auswertung für die Lichtart D50 im Bürobereich, vgl. (20 Seiten, 500 kByte)

<http://www.ps.bam.de/YG32>

9. Definition und Grundlagen für Farben gleicher Schwarzheit N^*

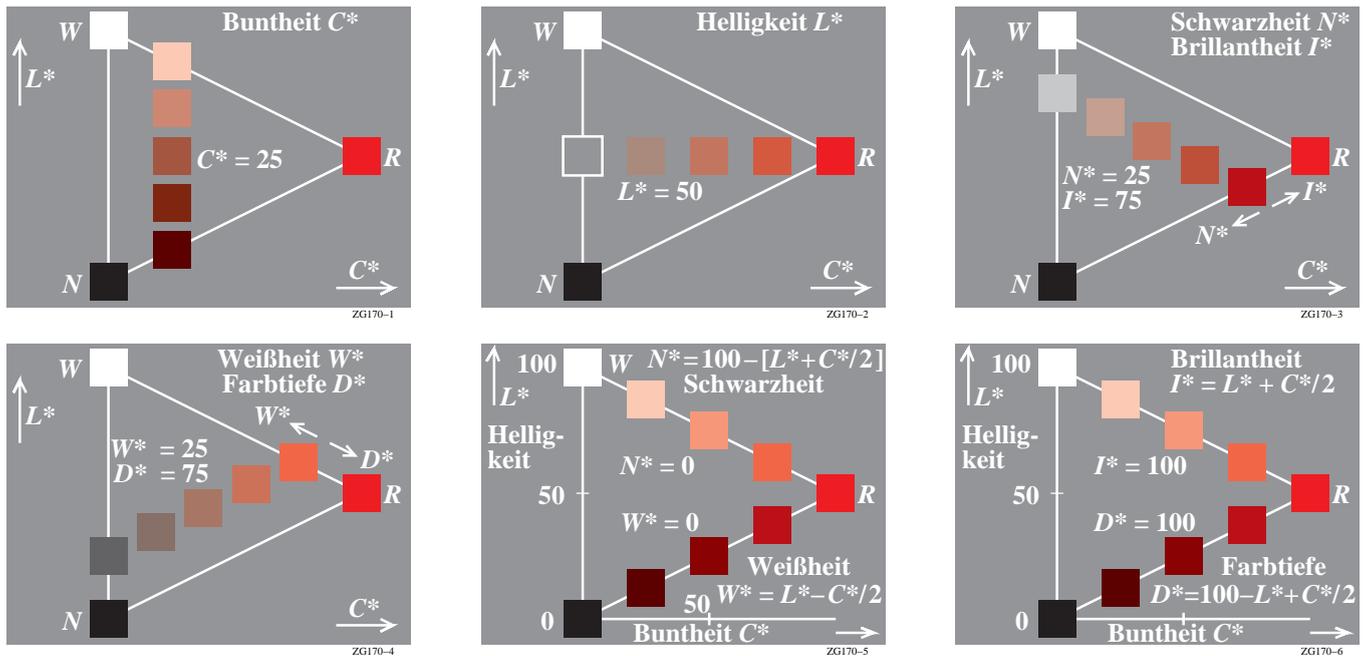


Bild 20 – Farbmerkmale N^* , I^* , W^* , D^* im Vergleich zur Buntheit C^* und zur Helligkeit L^*

Bild 20 zeigt die Beziehungen der Farbmerkmale Schwarzheit N^* , Brillantheit I^* , Weißheit W^* und Farbtiefe D^* im Vergleich zur Buntheit C^* und zur Helligkeit L^* . Die Farbmerkmale Schwarzheit N^* und Brillantheit I^* sowie Weißheit W^* und Farbtiefe D^* sind komplementär zueinander, das heißt es gilt:

$$N^* = 100 - I^* \tag{1}$$

$$W^* = 100 - D^* \tag{2}$$

und die Dreiecksgleichung nach Ostwald (1930)

$$N^* + W^* + C^* = 100 \tag{3}$$

Weiter ergeben sich die linearen Beziehungen zwischen den vier Koordinaten N^* , W^* , L^* und C^*

$$N^* = 100 - [L^* + 0,5 C^*] \tag{4}$$

$$W^* = L^* - 0,5 C^* \tag{5}$$

Alle farbmetrischen Farbsysteme benutzen drei Farbmerkmale zur Kennzeichnung von Farben. Alle benutzen den Buntton als erstes und wichtigstes Farbmerkmal und unterscheiden sich in der Wahl der beiden anderen. Im CIELAB-Farbsystem, das auf das *Munsell*-Farbsystem zurückgeht, werden als Farbmerkmale die Buntheit C^* und Helligkeit L^* bevorzugt. Im Schwedischen Natürlichen Farbsystem NCS wird anstelle der Helligkeit L^* die Schwarzheit N^* als wichtigeres Farbmerkmal ausgewählt.

Bild 20 zeigt jeweils *separate* Farbmuster auf grauer Umgebung. In vielen Fällen werden auch *aneinandergrenzende* Farbmuster auf grauer Umgebung dargeboten. In beiden Fällen wird der Farbabstand als wesentliches Merkmal betrachtet und beurteilt.

Die Farbmetrik hat aus experimentellen Ergebnissen für die beiden Sehsituationen separate und aneinandergrenzende Farbmuster verschiedene Metriken zur Beschreibung des Farbabstands entwickelt. Im Fall für *separate* Farbmuster gilt die CIELAB-Farbabstandsformel von 1976 (CIE 15:2004) und im Fall *aneinandergrenzende* Farbmuster die Farbabstandsformel CIEDE2000 (CIE142:2001). Die Gründe für die erforderlichen unterschiedlichen Metriken zur Beschreibung der experimentellen Ergebnisse waren bisher weitgehend unklar. Das folgende farbmetrische Modell erlaubt eine einheitliche Beschreibung für beide Sehsituationen sowohl für unbunte als auch für bunte Farbreihen.

Ausgangspunkt ist eine Vereinigung der beiden Gesetze von *Weber-Fechner* zur Beschreibung der Farbschwellen für unbunte aneinandergrenzende Farben und von *Stevens* (1961) zur Beschreibung der Farbschwellen und der Farbstufung von unbunten separaten Farben.

Beide Gesetze werden in einem neuen farbmetrischen Modell zunächst für unbunte und dann für bunte Farben vereinigt.

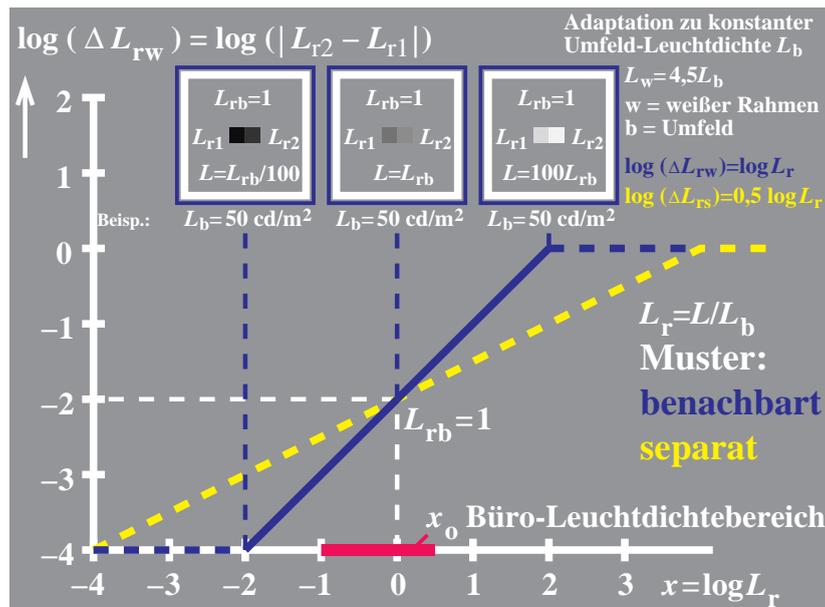


Bild 21 – Weber-Schwelle ΔL_{rw} und relative Leuchtdichte L_r von aneinandergrenzenden unbunten Farben

Bild 21 zeigt die *Weber-Fechner* Schwelle ΔL_{rw} als Funktion der relativen Leuchtdichte L_r von aneinandergrenzenden (benachbarten) unbunten Farben. Die Sehsituation und die Ergebnisse sind mit blauer Farbe dargestellt. Gleichzeitig werden zusätzlich Ergebnisse für die separate Sehsituation in gelber Farbe gezeigt.

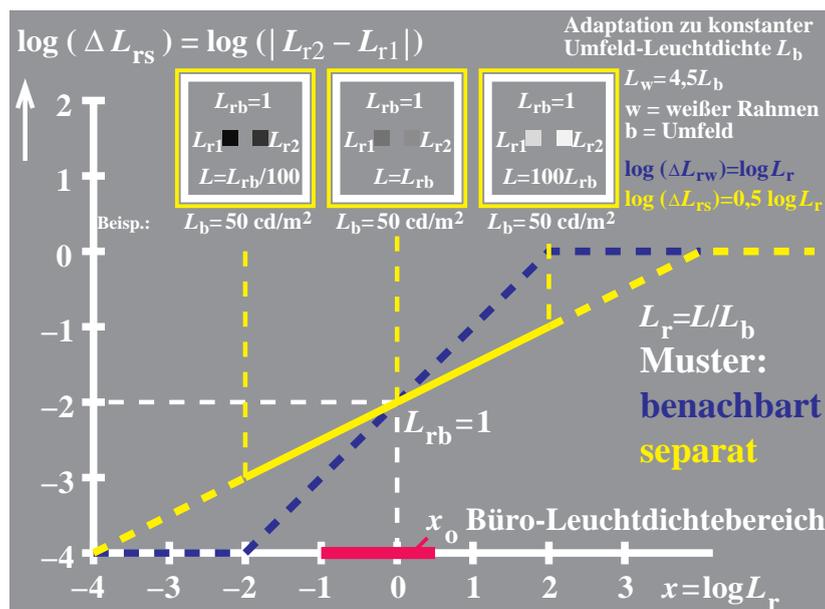


Bild 22 – Stevens-Schwelle ΔL_{rs} und relative Leuchtdichte L_r von separaten unbunten Farben

Bild 22 zeigt die *Stevens*-Schwelle ΔL_{rs} als Funktion der relativen Leuchtdichte L_r von separaten unbunten Farben. Die Sehsituation und die Ergebnisse sind mit gelber Farbe dargestellt. Gleichzeitig werden zusätzlich Ergebnisse für die aneinandergrenzende (benachbarte) Sehsituation in blauer Farbe gezeigt.

Die Vereinigung der Gesetze von *Weber-Fechner* und *Stevens* wurde von *Richter* (2006c) in einem Modell beschrieben. Ein einfache Erklärung sieht wie folgt aus:

Das Farbsehen ist ein *Kontursehen* und die *lokale* relative Adaptations-Leuchtdichte (L_{ra}) wird durch die mittlere Leuchtdichte an der Kontur bestimmt. Die relative Adaptations-Leuchtdichte (L_{ra}) an der Kontur von zwei gerade unterscheidbaren Farben (Nr. 1 und 2) im zum Beispiel grauem Umfeld (u) der Leuchtdichte L_{rb} ergibt für:

aneinandergrenzende Farbmuster: $\log L_{ra} = 0,5 (\log L_{r1} + \log L_{r2}) = \log L_r$ (wegen $L_{r1}^* = L_{r2}^* = L_r^*$) (6)

separate Farbmuster: $\log L_{ra} = 0,5 (\log L_r + \log L_{rb}) = 0,5 \log L_r$ (wegen $L_{rb} = 1$) (7)

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Bild 21 zeigt eine *lineare* Beziehung für die *Weber-Leuchtdichte-Differenz* ΔL_{rw}

$$\Delta L_{rw} = \text{const } L_r \quad (8)$$

oder mit logarithmischen Skalen

$$\log \Delta L_{rw} = \log L_r \quad (9)$$

Bild 22 zeigt eine *Quadratwurzel-Beziehung* für die *Stevens-Leuchtdichte-Differenz* ΔL_{rs}

$$\Delta L_{rs} = \text{const } L_r^{0,5} \quad (10)$$

oder mit logarithmischen Skalen

$$\log \Delta L_{rs} = 0,5 \log L_r \quad (11)$$

Mit den Gleichungen (6) und (7) ergibt sich als Vereinigung der Gesetze von *Weber-Fechner* und *Stevens* das neue *lineare* Modell-Gesetz für beide Sehsituationen sowohl *aneinandergrenzend* als auch *separat*

$$\log \Delta L_r = \log L_{ra} \quad (12)$$

oder

$$\Delta L_r = \text{const } L_{ra} \quad (13)$$

Im folgenden werden diese Ergebnisse auch auf bunte Farben und zur Beschreibung von Farben gleicher Schwarzheit N^* angewendet.

Untersuchungen von Evans (1974) und physiologische Modelle des Farbensehens scheinen zu belegen, daß das Farbmerkmal Schwarzheit N^* für die Kennzeichnung von Farben von gleicher oder höherer Bedeutung ist als die Helligkeit L^* . Für naive Beobachter erscheint es weit schwieriger Farbmuster auf grauer oder weißer Umgebung nach dem Farbmerkmal gleiche Helligkeit L^* im Vergleich zum Farbmerkmal gleiche Schwarzheit N^* zu ordnen. Mit aus diesem Grund wird die Schwarzheit N^* anstelle der Helligkeit L^* im NCS-Farbsystem bevorzugt.

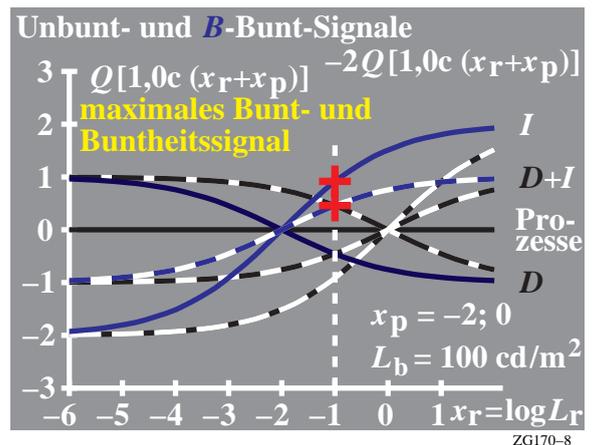
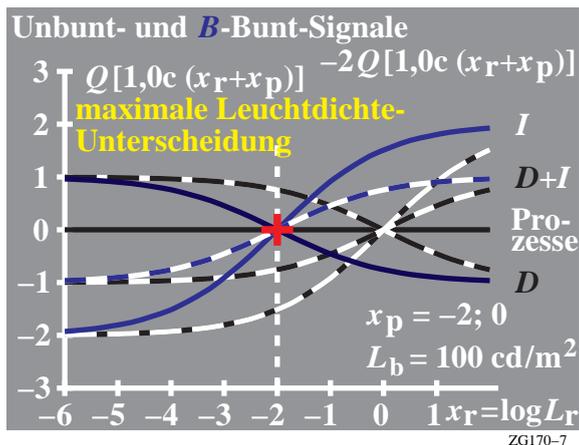


Bild 23 – Unbunt- und Buntsignale als Funktion der relativen Leuchtdichte für unbunte und blaue Farben

Bild 23 zeigt Unbunt- und Buntsignale als Funktion der relativen Leuchtdichte für unbunte und blaue Farben. Nach *Valberg* (2005) gibt es drei Prozesse: *I* (Increment), *D* (Decrement) und einen Summenprozeß (*D+I*). Für blaue Spektralfarben sind die Signale um bis zu zwei logarithmische Einheiten nach links verschoben, das heißt die maximale Leuchtdichte-Unterscheidung ist auch zu Leuchtdichten von 1% im Vergleich zum umbunten grauen Umfeldleuchtdichte verschoben.

Bild 23 zeigt *rechts* eine Markierung für die maximalen Bunt- und Buntheitssignale, die im Modell durch Differenz der Signale von blauen und unbunten Signalen für die gleiche Leuchtdichte entstehen. Die maximalen Bunt- und Buntheitssignale, liegen für den *I*- und *D+I*-Prozeß nur eine (und nicht zwei) logarithmische Einheiten verschoben im Vergleich zur relativen Umfeldleuchtdichte L_r .

Unter den Körperfarben gibt es nur sehr dunkle blaue Spektralfarben hoher Sättigung (p =purity) oder hellere Körperfarben von 10fach geringerer Sättigung. Wegen 4% Oberflächenreflexion für alle Körperfarben ergeben sich im grauen Umfeld mit der Reflexion 20% relative Leuchtdichten von Blau von 20% (4% von 20%) anstelle von 1%. Daher sind die im Bild dargestellten Eigenschaften für blaue Farben mit 1% relativer Umfeldleuchtdichte mit Farbmustern nicht nachprüfbar. Nur optische Geräte mit Lichtern und Farblasern sind hierzu geeignet.

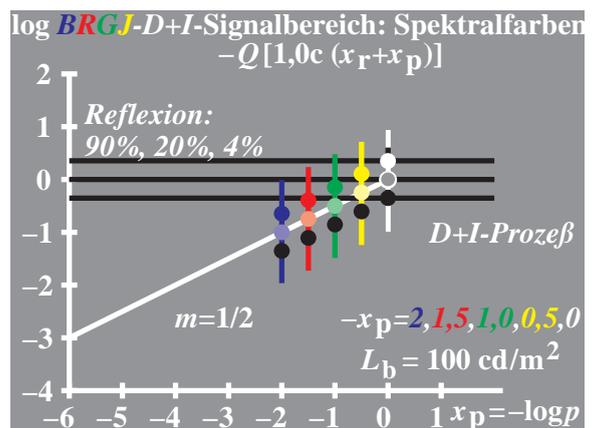
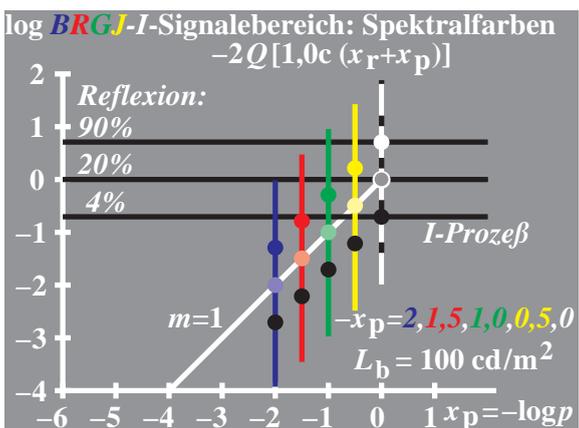
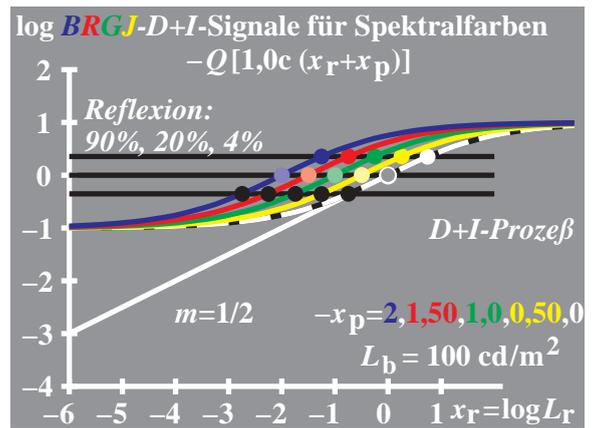
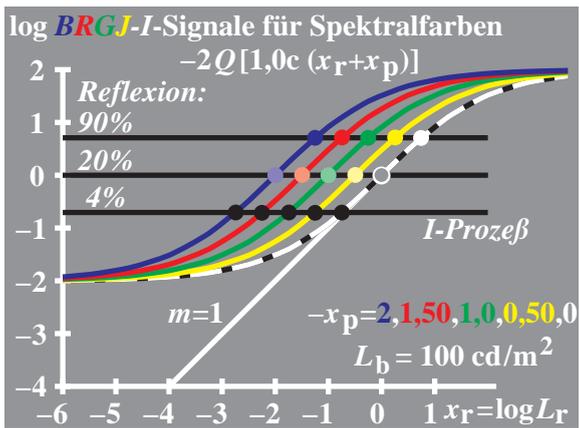


Bild 24 – Physiologische Signale als Funktion der relativen Leuchtdichte und Sättigung für Spektralfarben

Bild 24 zeigt ein Modell mit physiologischen Signalen als Funktion der relativen Leuchtdichte (L_r) und Sättigung (p) für Spektralfarben. In doppelt logarithmischer Darstellung ist die Steigung für Bunt- und Buntheitssignale $m=1$ (Weber Fechner-Gesetz) und $m=0,5$ (Stevens-Gesetz). Ein Modell zur Vereinigung der beiden Gesetze von Weber-Fechner (Fechner:1860) und Stevens (1961) für die unbunte Farbreihe Schwarz-Zentralgrau-Weiß wurde von Richter (2006c) entwickelt und wird durch Gleichung (12) beschrieben. Dieses Richter-Modell für unbunte Farben wird hier erweitert für die bunten spektral gesättigten Farbreihen von Schwarz nach Gelb, Grün, Rot und Blau.

Als Basis dienen die in Bild 24 dargestellten physiologischen Prozesse I (=Increment) und $D+I$ (Summenprozeß) mit den Steigungen $m=1$ und $m=0,5$ (oben links und rechts). Das Konturensehen und die lokale relative Adaptations-Leuchtdichte (L_{ra}) sind die Basis für die Steigungen $m=1$ und $m=0,5$ im Bild 24. Die Steigungen $m=1$ und $m=0,5$ in der Nähe der Umfeldleuchtdichte sind bereits aus den Bildern 21 bis 23 bekannt. Zusätzlich sind hier die Sättigungssignale für sehr kleine und große relativen Leuchtdichten beschrieben, vergleiche Richter (1996).

Es ist zum Beispiel von der Farbmetrik des Farbenraums CIECAM02 (CIE, 2002) bekannt, daß die physiologischen Signale als Funktion der abnehmender Umfeldleuchtdichte abnehmen und sich nach links verschieben. Die Differenz zwischen Maximum und Minimum nimmt mit dem Exponenten $1/6$ als Funktion der Umfeldleuchtdichte ab.

Es ist in der Farbmetrik weniger bekannt, daß sich die physiologischen Bunt- und Hell-Signale mit der Farbsättigung p , die von Weiß nach Bunt zwischen Eins und einem Maximalwert zunehmen, nach links verschieben. Die farbmetrischen experimentellen Ergebnisse von Evans (1974) ergeben Sättigungen 1 für unbunte und im Bereich 2 für gelbe, 10 für grüne, 20 für rote und 100 für blaue Spektralfarben.

Die Verschiebung mit der Sättigung p um zwei logarithmische Einheiten für blaue Spektralfarben ist in allen Teilbildern von Bild 24 dargestellt. In den unteren beiden Bildern wird direkt die Sättigung p anstelle der relativen Leuchtdichte L_r der Farbreihen benutzt. Die lokale relative Adaptations-Leuchtdichte hat für blaue aneinandergrenzende Spektralfarben den Wert $1/100$. Für blaue Spektralfarben im grauen Umfeld beträgt die lokale relative Adaptations-Leuchtdichte nur $1/10$ der grauen Umfeldleuchtdichte. Dieser Wert berechnet sich als Mittel an der Kontur zwischen der relative Leuchtdichte des Infeldes ($1/100$) und der relative Leuchtdichte des Umfeldes L_{rb} mit dem Wert 1. Das logarithmische Mittel ergibt den Wert $1/10$ (oder logarithmisch den Wert -1).

Die lokale Adaptation an der Kontur führt daher zur halben Adaptations-Leuchtdichte und zur Steigung $m=0,5$ in Bild 24 (unten rechts) im Vergleich zu $m=1$ im Bild 24 (unten links).

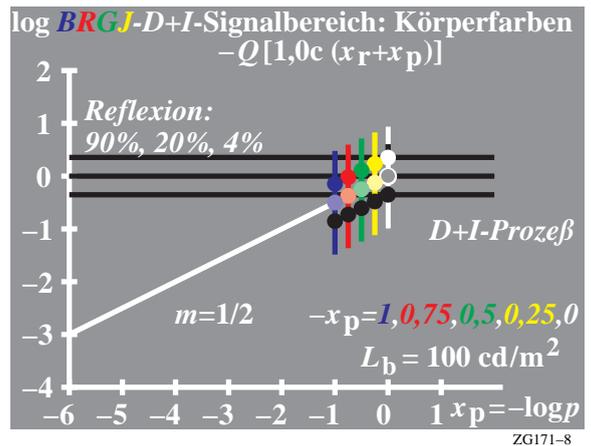
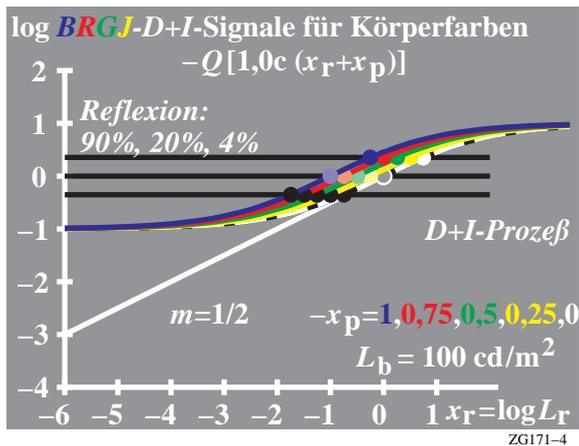


Bild 25 – Physiologische Signale als Funktion der relativen Leuchtdichte und Sättigung für Körperfarben

Bild 25 zeigt ein Modell mit physiologischen Signalen als Funktion der relativen Leuchtdichte (L_r) und Sättigung (p) für Körperfarben. Die Sättigung für genügend breitbandige (nicht zu dunkle) Körperfarben erreicht höchstens 1/10 der Sättigung der Spektralfarben. Die Verschiebungen mit der relativen Leuchtdichte (L_r) und der Sättigung (p) sind in Bild 23 für Körperfarben dargestellt.

Es ist naheliegend die Farbreihen mit abnehmenden „Helligkeits“-Signalen als Funktion der Sättigung p im Bild 25 (unten rechts) als die Farben gleicher Schwarzheit N^* zu interpretieren. Eine Interpretation als „Farben gleicher Helligkeit L^* “ verbietet sich, da die relative Leuchtdichte L_r für diese Reihen abnimmt. Für die Beschreibung einer solche Reihe gilt nach Bild 25 (unten rechts)

$$\log L_{ra} = 0 \text{ für } \log p = 0 \tag{14}$$

und daher

$$\log L_{ra} = 0,5 \log p \tag{15}$$

und mit

$$\log L_{ra} = 0,5 (\log L_r + \log L_u) = 0,5 \log L_r \tag{16}$$

folgt

$$\log L_r = \log p \tag{17}$$

oder

$$L_r = p \tag{18}$$

Damit sind die relativen Leuchtdichten L_r , die wir hier im Modell als Farben gleicher Schwarzheit $N^* = \text{const}$ interpretieren, mit ihrer Sättigung p identisch. Eine farbmetrische Bestätigung dieser Voraussage fehlt bisher. Die experimentellen Ergebnisse von Evans (1974) und vom NCS-Farbsystem könnten zur Klärung dieser Modell-Voraussage beitragen.

Wir betrachten daher nochmals die experimentellen Ergebnisse für Farben der Schwarzheit Null (G_0 -Farben) von Evans (1974) im Munsell- bzw. CIELAB-Farbsystem. Für unbunte Farben der Schwarzheit $N^* = 0$ beträgt die Helligkeit $L^* = 100$. Mit zunehmender Buntheit C^*_{ab} nimmt die Helligkeit L^* für gleiche Schwarzheit nach folgender Formel ab, vergleiche Bild 20:

$$N^* = 100 - (L^* + 0,5 C^*_{ab,a}) \tag{19}$$

Die Helligkeit beträgt für $N^* = 0$

$$L^*_{N^*=0} = 100 - 0,5 C^*_{ab,a} \tag{20}$$

Weiterhin wird die Sättigung p in der Farbmetrik definiert als Quotient von Buntheit C^*_{ab} und Helligkeit L^*

$$p = C^*_{ab,a} / L^* \tag{21}$$

Damit ergibt sich für die Schwarzheit $N^* = 0$

$$L^*_{N^*=0} = 100 - 0,5 p L^* \tag{22}$$

oder für die Schwarzheit $N^* = 50$

$$L^*_{N^*=50} = 50 - 0,5 p L^* \tag{23}$$

Mit zunehmender Sättigung p nimmt die Helligkeit L^* ab und umgekehrt.

Zur Verbindung von Gleichung (17) mit Gleichung (12) fehlt der Zusammenhang der relativen Leuchtdichte L_r mit der

Helligkeit L^* .

Für diesen Zusammenhang kann das *Stevens*-Gesetz herangezogen werden, siehe *Richter* (2006c). Es gilt für Farben der Helligkeit L^* als Funktion der relativen Leuchtdichte im grauen Umfeld ($L_{rb}=1$):

$$\log L^* = 0,5 \log L_r \tag{24}$$

oder mit $L^* = 50$ für $L_r = 1$

$$L^* = 50 L_r^{0,5} \tag{25}$$

Zusammen mit Gleichung (17) ergibt sich

$$L^*_{N^*=50} = 50 - 25 p L_r^{0,5} \tag{26}$$

Mit der relativen Adaptationsleuchtdichte L_{ra} ergibt sich für die Schwarzheit $N^* = 50$

$$L^*_{N^*=50} = 50 - 25 p L_{ra} \tag{27}$$

Entsprechend ergibt sich für die Schwarzheit $N^* = 0$

$$L^*_{N^*=0} = 100 - 25 p L_{ra} \tag{28}$$

Eine Bestätigung der Modell-Voraussagen steht noch aus.

Es war das Ziel des Modells, die ausgezeichnete Stellung der Farben gleicher Schwarzheit N^* im Vergleich zu Farben gleicher Helligkeit L^* darzustellen. Im *NCS*-Farbsystem wurde das Farbmerkmal Schwarzheit N^* ausgewählt anstelle der Helligkeit L^* des *CIELAB*-Farbsystem oder der Helligkeit (Value) im *Munsell*-Farbsystem (Value=10 entspricht $L^*=100$).

Man kann folgenden Grund für die Entwicklung des visuellen System in die Richtung Schwarzheit N^* anführen: Alle bunten Farben nehmen in ihrer Helligkeit L^* etwa linear mit zunehmender Sättigung p ab, vergleiche Gleichung (22). Daher ist es sinnvoll, den Farben dieser Farbreihen ein besonderes Farbmerkmal zuzuordnen, nämlich die Schwarzheit N^* für die wir in *CIELAB* die einfache Gleichung in Übereinstimmung mit *Evans* (1974) und *Richter* (1980) schreiben, vergleiche Gleichung (4) und Bild 20

$$N^* = 100 - [L^* + 0,5 C^*_{ab,a}] \tag{29}$$

10. Definition und Grundlagen für Elementarfarben und Elementarbunton E^*

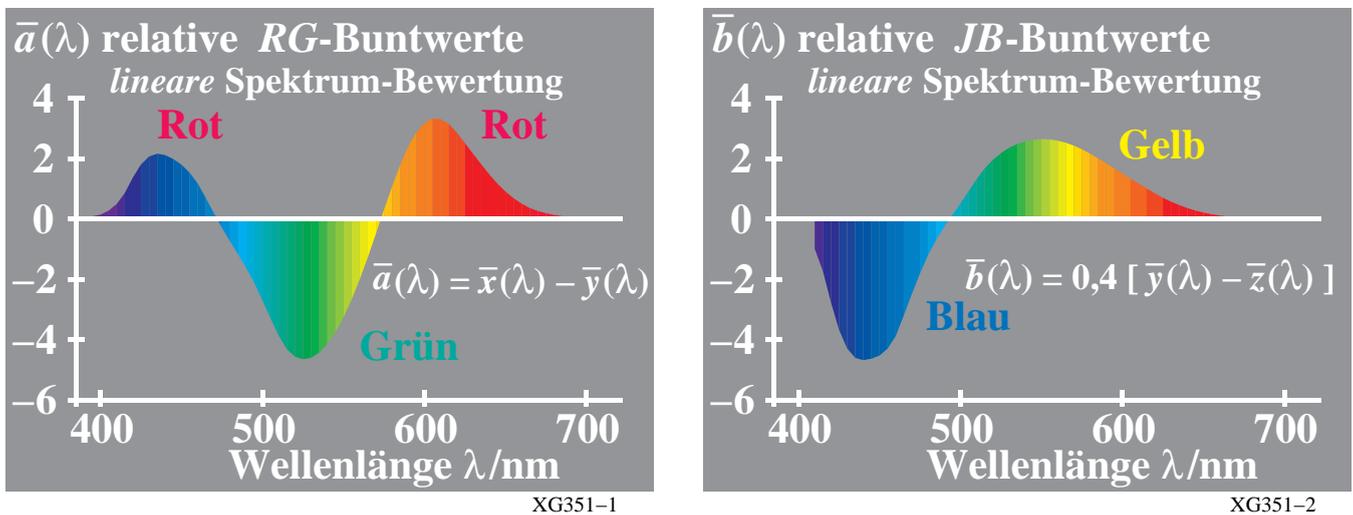


Bild 26 – Elementarfarben im Spektrum nach dem *Hurvich* und *Jameson*-Modell

Bild 26 zeigt die zwei spektralen Buntwertfunktionen Blau–Gelb und Rot–Grün, die nach *Hurvich* (1981) durch zwei einfache Transformationen der *CIE*-Normspektralwertfunktionen beschrieben werden. Diese Transformation ist im Bild 26 angegeben. Die Werte der beiden Buntwertfunktionen sind Null bei angenähert den Wellenlängen 475nm, 503nm und 575nm. Diese Wellenlängen beschreiben die drei spektralen Elementarfarben Blau *B*, Grün *G* und Gelb *J*.

Im folgenden betrachten wir anstelle von Spektralfarben experimentelle Daten von Oberflächenfarben. *Miescher* (1948) hat symmetrische Elementar-Buntonkreise mit 24, 96, und 400 Buntonstufen mit Oberflächenfarben entwickelt. Die vier Elementarfarben wurden mit 28 Beobachtern unter Tageslicht D65 ermittelt und *CIE* Lichtart C diente für die Berechnungen. Die *CIE*-Farbmeßdaten für die *CIE* Lichtart C sind ähnlich den *CIE*-Farbmeßdaten für die *CIE*-Normlichtart D65, falls die Muster nicht fluoreszieren. Dies gilt für den *Miescher*-Elementar-Buntonkreis.

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Tabelle 5 – Miescher-Elementarbunttöne und entsprechende Munsell-Kennzeichnung

Vier Elementarfarben und vier Mittelfarben		CIE Normfarbwerte und -wertanteile für Lichtart C und 2-Grad-Beobachter				
Buntonkreis	Miescher/Munsell Buntton	X _c	Y _c	Z _c	x _c	y _c
Elementarrot R	08/6.0R-V5	32,53	18,11	5,32	0,5813	0,3236
rotgelb R50J	05/3.7YR-V5	60,31	45,44	5,55	0,5419	0,4083
Elementargelb J	02/8.5Y-V5	70,52	77,82	10,18	0,4449	0,4909
gelbgrün J50G	23/9.5GY-V5	25,23	45,15	14,00	0,2990	0,5351
Elementargrün G	20/5.9G-V5	8,51	20,24	16,28	0,1890	0,4495
grünblau G50B	17/8.5BG-V5	8,83	14,56	31,55	0,1607	0,2650
Elementarblau B	14/5.3PB-V5	11,92	9,35	48,79	0,1701	0,1335
blaurot B50R	11/7.4P-V5	16,15	8,47	30,90	0,2909	0,1526

XG350-1

Tabelle 5 zeigt die CIE-Daten der *Miescher*-Elementarbunttöne und die entsprechenden *Munsell*- Kennzeichnungen für die Helligkeit $L^* = 50$ (Value $V=5$). In erster Näherung entsprechen die Bunttöne mit den *Munsell*-Kennzeichnungen *5R*, *5Y*, *5G* und *5PB* den Elementarbunttönen Rot *R*, Gelb *J*, Grün *G* und Blau *B*. Diese Bunttöne wurden für die CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 (Rot, Gelb, Grün und Blau) in CIE 13.3 ausgewählt.

Tabelle 6 – Experimentelle Munsell-Kennzeichnung und bunttongleiche Wellenlänge für Elementarfarben

Elementarfarben und Mittelfarben					Munsell-Bezeichnung (Value 5) bunttongleiche Wellenlänge	
Buntton	Beobachter				Munsell-Mittelwert und bunttongleiche Wellenlänge	Korrektur Bezold-Brücke Effekt
	K.R.	G.W.	A.V.	K.M.		
Rot R	6.5R 700	5.8R 494c	6.0R 494c	5.8R 494c	6.0R 494c	494c 700 495c
R50J	3.75YR 592	4.2YR 591	3.5YR 593	3.7YR 592	3.7YR 592±1	590±2
Gelb J	7.5Y 575	8.5Y 574	10.0Y 572	10.0Y 572	8.5Y 574±2	572±2
J50G	10GY 542	8.75GY 550	9.0GY 548	0.5G 536	9.5GY 544±8	542±10
Grün G	6.0G 502.5	5.0G 504	6.0G 502.5	6.7G 501.5	5.9G 503±2	503±2
G50B	7.5BG 488.5	8.75BG 487.5	8.0BG 488	10.0BG 486.5	8.5BG 488±2	489±2
Blau B	5.6PB 472	5.0PB 474.5	5.1PB 474	5.0PB 474.5	5.3PB 474±2	472±2
B50R	7.5P 558c	7.5P 558c	7.0P 560c	7.5P 558c	7.4P 559c±1	559c±1

XG350-7

Tabelle 6 zeigt die experimentelle *Munsell*-Farbkennzeichnung und die bunttongleiche Wellenlänge für die Elementar- und Mittelfarben des *Miescher*-Elementarfarb-Buntonkreises nach *Richter* (1969). Erneut ergeben sich die bunttongleichen Wellenlängen in der Nähe von 475, 503 und 575nm für Blau *B*, Grün *G* und Gelb *J*.

Tabelle 7 – Farbmetrische Daten der CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 als Referenz für die vier Elementarfarben

Elementarfarbe und CIE-Lichtart		CIELAB-Daten, CIE-Normfarbwerte und -wertanteile für die CIE-Normlichtart D65 and D50 und den 2-Grad-Beobachter									
CIE-Testfarbe	Licht	L*	a*	b*	C* _{ab}	h _{ab}	X	Y	Z	x	y
09, Rot R	D65	40,04	58,98	28,32	65,43	25,7	20,64	11,27	4,34	0,5693	0,3110
10, Gelb J		81,30	-2,99	71,82	71,89	92,4	54,89	59,01	12,02	0,4359	0,4686
11, Grün G		52,27	-42,40	13,64	44,54	162,2	12,15	20,38	15,34	0,2538	0,4258
12, Blau B		30,52	1,21	-46,35	46,37	271,5	6,24	6,45	27,59	0,1550	0,1601
09, Rot R	D50	41,88	62,00	31,82	69,69	27,2	23,31	12,42	3,24	0,5982	0,3188
10, Gelb J		81,97	1,81	71,59	71,61	88,5	58,84	60,24	9,50	0,4576	0,4685
11, Grün G		51,62	-41,12	11,52	42,70	164,4	12,10	19,81	11,95	0,2759	0,4515
12, Blau B		29,20	-5,28	-49,34	49,62	263,9	5,25	5,92	21,25	0,1621	0,1825

XG350-3

Tabelle 7 zeigt die farbmetrischen Daten der CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12, die eine gute Näherung für die vier Elementarfarben bei der CIE-Normlichtart D65 und angenähert auch für die Lichtart D50 darstellen. Die CIE-Testfarben entsprechen Farben aus dem *Munsell*-Farbsystem mit den Bunttönen *5R*, *5Y*, *5G* und *5PB* für Rot *R*,

Gelb J, Grün G und Blau B.

Die spektralen Daten der CIE-Testfarben sind in CIE 13.3 definiert. Es gibt reale Muster von der BAM und anderen Quellen, welche die spektralen CIE-Reflexionen approximieren. Zusätzlich sind metamere Muster für D65 erhältlich, zum Beispiel wurden metamere CIE-Testfarben in Prüfvorlagen nach DIN 33866-1 und nach ISO/IEC 15775 mit Standard-Offset-Druckfarben produziert.

11. Bunttongleiche Farbdreiecke mit 16stufigen Farbreihen

In der Bildtechnologie werden die CIELAB-Bunttonwinkel $h_{ab,a} = 26, 92, 162, 272$ für *RJGB* benutzt, um die Elementarbunttöne für diese Winkel zu produzieren. Für einen realen Drucker wurden 10 Seiten mit den sechs Gerätebunttönen $X = OYLCVM$ und den vier Elementarbunttönen $X = RJGB$ produziert. Für dieses Druckerbeispiel siehe die Datei (350 kByte, 10 Seiten).

<http://www.ps.bam.de/VE39/10L/L39E00NP.PDF>

Die CIELAB-Bunttonwinkel $h_{ab,a}$ werden in der Ausgabe für beides angegeben: die sechs Geräte-Basisfarben $X = OYLCVM$ und die vier CIE-Elementarbunttöne $X = RJGB$, die vom Drucker angenähert produziert wurden.

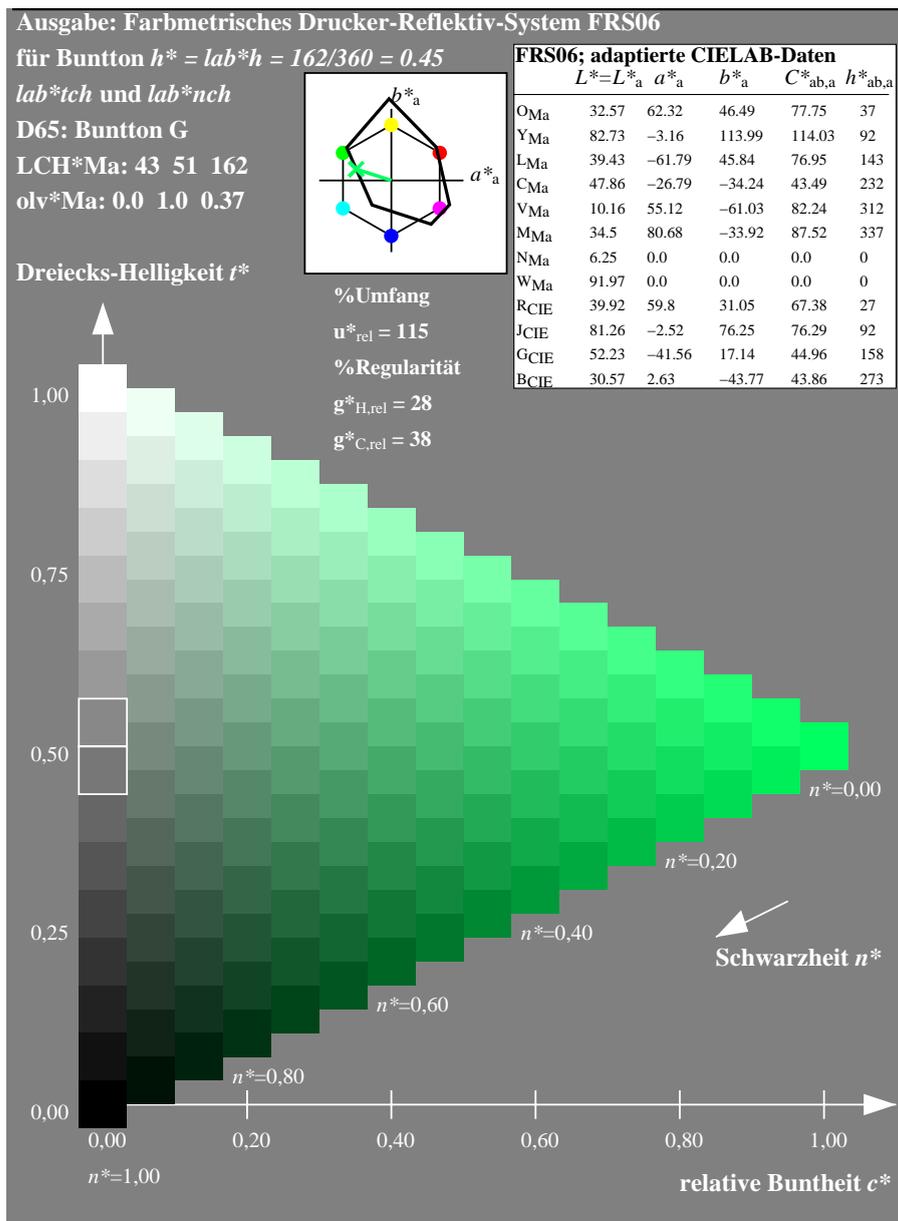


Bild 27 – 16stufige Farbreihen in einem Bunttondreieck mit dem Elementarbuntton Grün G

Bild 27 zeigt die 16stufigen Farbreihen in einem Bunttondreieck mit dem Elementarbuntton Grün des CIELAB-Bunttonwinkels $h_{ab,a} = 162$ Grad. Die drei 16stufigen Reihen Schwarz–Weiß, Weiß–Grün und Grün–Schwarz sollten visuell gleichabständig gestuft sein. Dies ist bei vielen Geräten oft nicht der Fall. ISO/IEC TR 19797 beschreibt eine

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Linearisierungs-Methode, um dieses Ausgabeziel zu erreichen.

Ein Buntdreieck enthält die Farbmerkmale relative Weißheit w^* , relative Buntheit c^* und relative Schwarzheit n^* , die alle im Wertebereich zwischen 0 und 1 liegen. Nach Ostwald (1930) gibt es die farbmetrische Beziehung

$$\text{relative Weißheit} + \text{relative Schwarzheit} + \text{relative Buntheit} = 1$$

oder

$$w^* + n^* + c^* = 1$$

In einem Buntdreieck reichen zwei der drei Merkmale aus, um die Lage im Dreieck zu beschreiben. Das Schwedische Natürliche Farbsystem (*Swedish Natural Colour System*) NCS (1982) hat neben dem primären Farbmerkmal Elementar-Buntontext u^* die relative Schwarzheit n^* und die relative Buntheit c^* ausgewählt. Man kann diese Farbmerkmale vergleichen mit den Kennzeichnungen des *Munsell*-Farbsystems: Bunnton, Buntheit und Helligkeit (*Value*). Die Definitionen von Dreiecks-Helligkeit t^* und Schwarzheit n^* in Bild 27 sind verschieden von der Definition der CIE-Helligkeit L^* , siehe Richter (2006a).

Die 16stufigen Farbreihen im Buntdreieck erfordern zunächst die CIELAB-Daten der acht Gerätefarben OYLCVM und NM. Für die Ausgabe von Elementarfarben werden zusätzlich die vier Bunntonwinkel 26, 92, 162 und 272 Grad der vier Elementarfarben RJGB in CIELAB benötigt. Bild 27 enthält diese Daten als Tabelle oben rechts. Zur Erzeugung von Elementargrün G werden die *rgb*-Eingabedaten 0, 1, 0 als Elementarfarben-*rgb*^{*}-Daten interpretiert. Für die Ausgabe der Elementarfarbe Grün G werden die Werte $olv^*_{Ma} = 0, 1, 0, 37$ berechnet, vergleiche Daten in Bild 27.

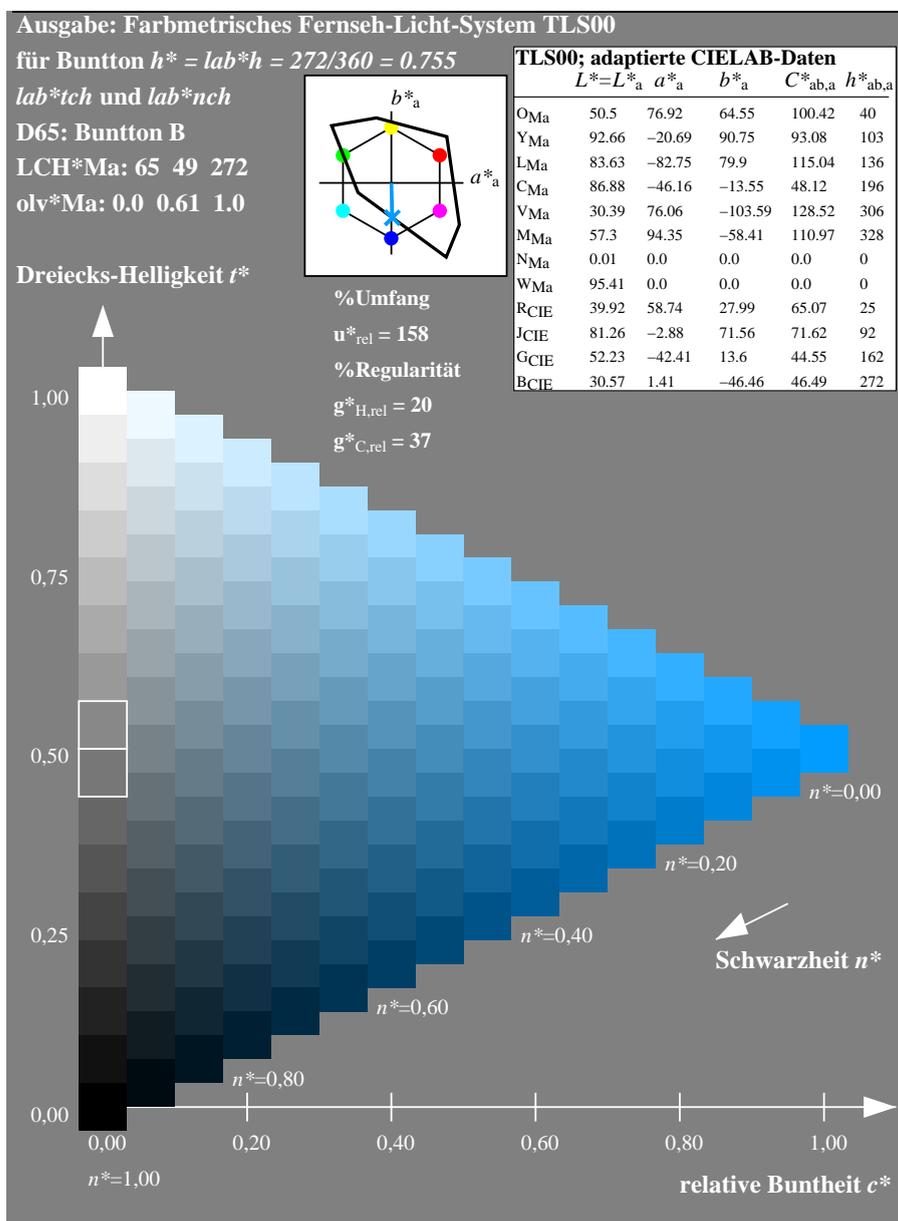


Bild 28 – 16stufige gleichabständige Farbreihen für Elementarblau B am Standard-Monitor TLS00

Bild 28 zeigt das Bunttendreieck mit 16stufigen gleichabständigen Farbreihen für den Elementarblau B des Standard-Monitors TLS00. Für den Standard-Monitor TLS00 werden die *rgb*-Koordinaten (0, 0, 1) in *olv*-Koordinaten (0, 0,61, 1) mit geeignetem *PostScript*-Programmcode in der PS- bzw. PDF-Datei umgerechnet.

Bild 28 zeigt das Standard-Farbensechseck mit den 60 Grad Standard-Buntonverschiebungen. Zusätzlich sind die Standard-Monitorfarben im Vergleich zu diesem Standard-Sechseck dargestellt. Die Gerätefarbe Violettblau V hat den Buntonwinkel 306 Grad und weicht wesentlich von der Farbe Blau B ab. Um eine gleichabständige Ausgabestufung für Blau B auf dem Monitor zu erreichen, wird z. B. die Linearisierungs-Methode nach ISO/IEC TR 19797 angewendet. Eine neuere Methode wurde von Witt (2006) entwickelt. Sie arbeitet mit einer Farbtabelle, zum Beispiel von den 9x9x9 *rgb*-Farben und den zugehörigen *L*a*b*-Farben. Mit dieser Methode können 16stufige gleichabständige Farbreihen in jedem Bunttendreieck erzeugt werden, also z. B. für die Geräte-Buntonwinkel von *OYLCVM* und die Elementar-Buntonwinkel *RJGB* und zusätzlich für jeden anderen Buntonwinkel.

In der Anwendung wird die gemessene Gerätetabelle in *PostScript*-Code eingetragen, der die Ausgabe jeder beliebigen PS- oder PDF-Datei linearisiert, vgl. ISO/IEC TR 19797. Mit diesem *PostScript*-Code werden die *rgb*-Daten jeder PS- oder PDF-Datei wahlweise als *olv*-Daten oder als *rgb*-Daten interpretiert. In einer ersten Stufe ist diese Interpretations- und Ausgabe-Methode für *PostScript*-Vektorcode realisiert und beschrieben, vergleiche Richter (2006b).

12. Benutzer-Koordinaten und Farbworkflow

Die Normenreihe E DIN 33872 beinhaltet die Ausgabe von digitalen Prüfdateien auf diversen Ausgabegeräten, zum Beispiel auf Monitoren und Druckern. In jeder Buntonebene können die Ausgabefarben jedes Gerätes in guter Näherung durch ein Dreieck im CIELAB-Farbenraum mit den Koordinaten adaptierte Buntheit $C^*_{ab,a}$ und Helligkeit L^* beschrieben werden. Die folgenden Bilder zeigen gegenfarbige Buntonschnitte und übliche Abbildungen aus der Praxis zwischen zwei Geräten.

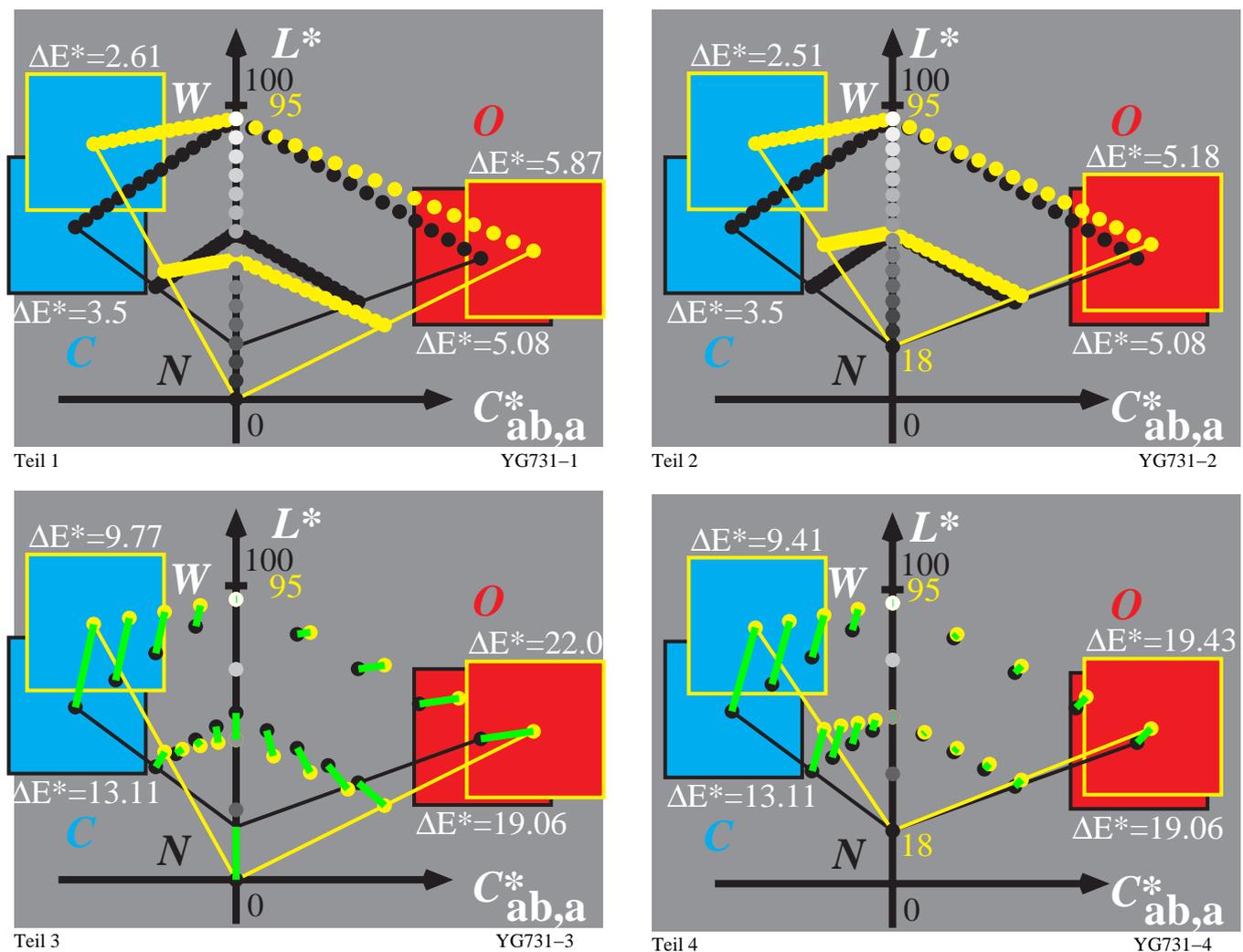


Bild 29 – 16stufige Farbreihen für O-C der Systeme TLS00-ORS18 (links) und TLS18-ORS18 (rechts)

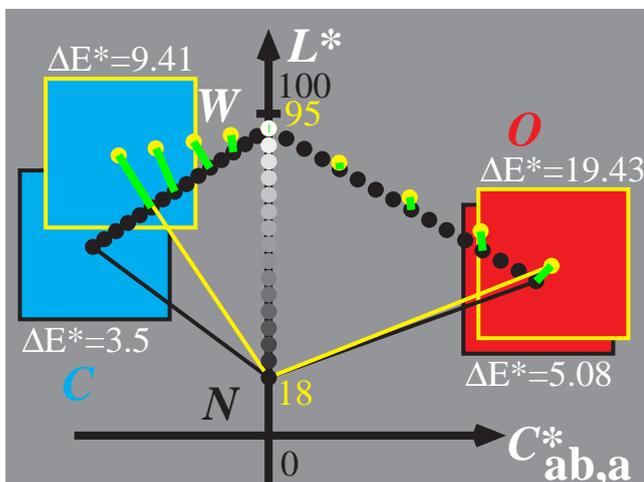
Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Bild 29 zeigt 16stufige (Teil 1 und 2) und 5stufige (Teil 3 und 4) Farbreihen für die gegenfarbigen Bunttöne O – C der Systeme TLS00 – ORS18 (links) und TLS18 – ORS18 (rechts). Die Daten ΔE^* beschreiben die CIELAB-Farbabstände von 16 und 5 Stufen zwischen benachbarten Mustern.

Mit der Transformations-Methode von E DIN 33872 gehen die 16stufigen Reihen durch eine *affine* Abbildung ineinander über. Die Transformation ist eindeutig. Diese Art der Reproduktion erhält den Buntton und erzeugt zum Beispiel dunklere Farben auf dem Drucker (schwarz) im Vergleich zum Monitor (gelb), vergleiche Bild 29 Teil 2 und Teil 4.

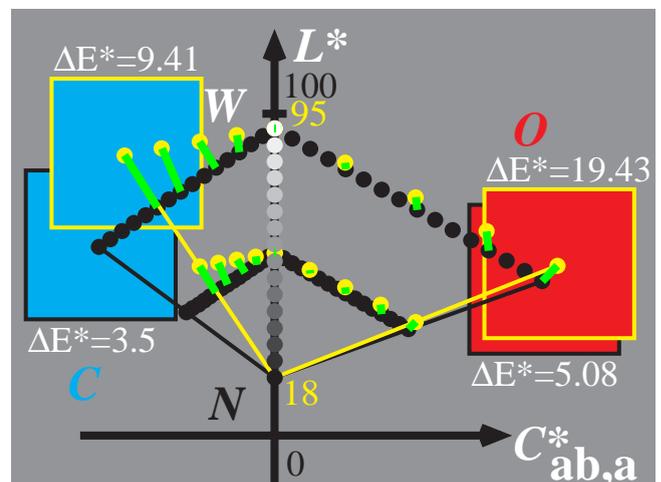
Im Bild 29 (Teil 3 und 4) sind die Transformationen durch grüne Balken für 5stufige Reihen angezeigt. Die Abbildungen erscheinen auf den ersten Blick komplex. Die Struktur und die Durchführung ist einfach und eindeutig. In ISO 9241-306:2007 wird die *affine* Abbildung auch bei unterschiedlichen Reflexionen der Bürobeleuchtung auf der Monitoroberfläche oder dem Datenprojektor-Display angewandt. Wenn in einem Extremfall die Leuchtdichte des Datenprojektors und die Leuchtdichte der Büros auf der Displayfläche gleich sind, so ist der Helligkeit L^* der Graureihe auf den Bereich $L^*=70$ bis 95 reduziert, vergleiche den Bereich $L^*=0$ bis 95 oder $L^*=18$ bis 95 in Bild 29 links und rechts. Ein Graubereich von 25 CIELAB-Stufen ermöglicht noch die Unterscheidbarkeit von 16 Stufen, falls die relativen Leuchtdichten entsprechend gestuft sind. Dies wird in diesem Fall durch eine weitgehend *lineare* relative Leuchtdichte der Graustufen erreicht, siehe die Beispieldatei

<http://www.ps.bam.de/MG15/10L/L15G00FP.PDF>



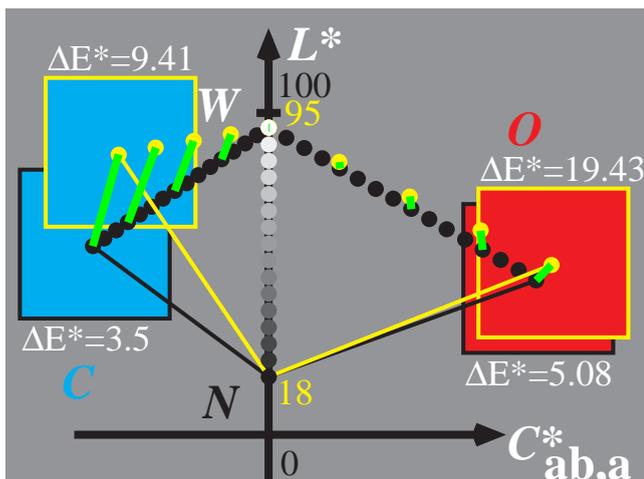
Teil 1

YG731-5



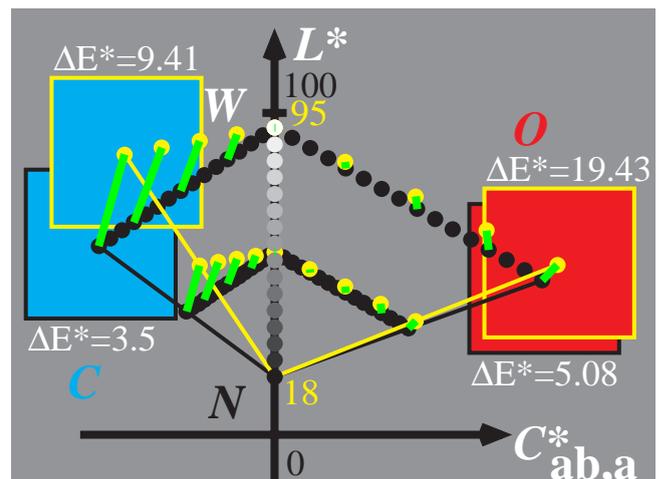
Teil 2

YG731-6



Teil 3

YG731-7



Teil 4

YG731-8

Bild 30 – Gegenfarbige Bunttdreiecke für TLS00 und ORS18 (links) und Farbmanagement (rechts)

Bild 30 zeigt gegenfarbige Bunttdreiecke für das Fernseh-Licht-System TLS18 (gelb) und das Offset-Reflektiv-System ORS18a (schwarz). Diese Transformationen unterscheiden sich wesentlich von der in Bild 29 vorgestellten *affinen* Abbildung, die als einzige den besonders wichtigen Buntton, die Unterscheidbarkeit und Gleichabständigkeit auf verschiedenen Gerätesystemen erhält.

Bild 30 Teil 1 und 3 beinhaltet ein Abschneiden (Clipping) von Monitorfarben und Abbildung auf die Oberfläche der

Druckerfarbraums. Bild 30 Teil 2 und 4 beinhaltet eine Farbverschiebung auch im Innern wie in den *affinen* Abbildungen in Bild 29. Die *affine* Abbildung in Bild 29 und die Abbildungen in Bild 30 können als Farbmanagement betrachtet werden.

In ISO 15076-1:2006 sind Methoden für Farbmanagement genormt, die auch den obigen Standardfall Monitor – Drucker beinhalten. Die *relative* Ausgabe nach ISO 15076-1 liefert für diesen Standardfall in der Praxis sehr verschiedene Ausgaben auf dem gleichen Drucker. Nach ISO 15076-1 sind die verschiedenen Abbildungen von Bild 30 und zusätzlich verschiedene Tonwerttransformationen möglich. Die verschiedenen Color-Management-Module (CMMs) und Betriebssysteme benutzen die nach ISO 15076-1 möglichen verschiedenen Abbildungen und Tonwertfunktionen. Durch Abschneiden können z. B. Ausgabeunterschiede um 30 CIELAB auf dem gleichen Gerät entstehen bei einer Toleranz von 3 CIELAB nach ISO/IEC 15775.

Mit den verschiedenen CMMs, zum Beispiel von den Firmen *Apple, Adobe, Windows, Heidelberg und anderen*, entstehen daher in der Regel verschiedene Ergebnisse entsprechend Bild 30. Nur durch Anwendung der *affinen* Transformation von Bild 29 sind Ergebnisse auf dem gleichen Gerät innerhalb der visuellen Toleranz von 3 CIELAB möglich.

13. Farbmetrische Ausgabekennzeichnung für Lichtarten D50 und D65

Farbmessung ist die Grundlage der farbmetrischen Ausgabekennzeichnung, die für 5stufige und 16stufige Farbreihen in DIN 33866-1 Anhang G und ISO/IEC 15775 Anhang G definiert ist. Die Prüfvorlagen nach DIN 33872-6 enthalten zusätzlich 9stufige Reihen, z. B. für die Reihen O–C, Y–V und L–M über Zentralgrau Z.

Als Grundlage für die farbmetrische Ausgabekennzeichnung dient die Ausgabe der Prüfdatei von Bild 8 in DIN 33872-1 mit 24 17stufigen Farbreihen in den Spalten A bis X. Für die entsprechende *rgb*-Prüfdatei siehe <http://www.ps.bam.de/YG26>

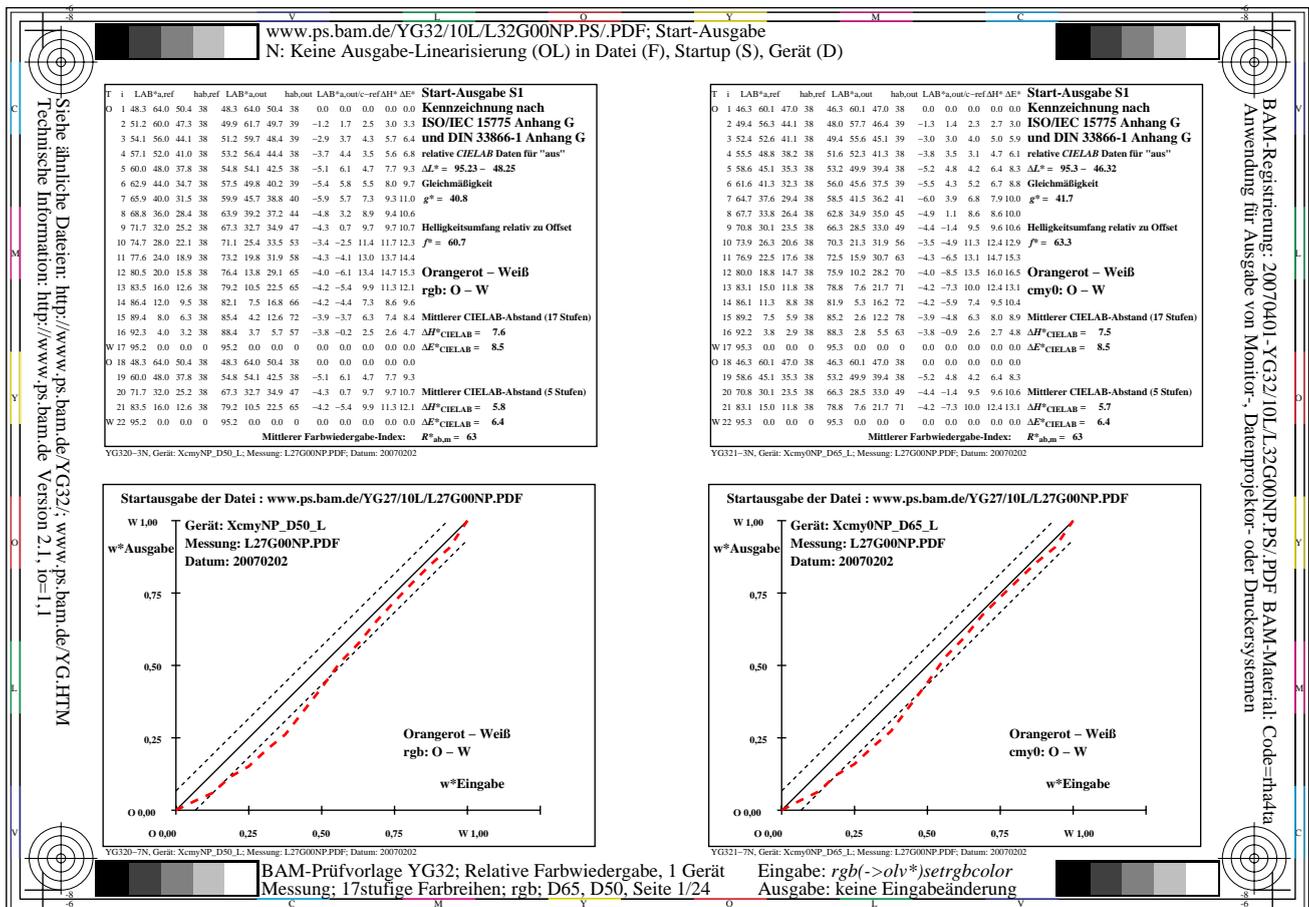


Bild 31 – Farbmetrische Ausgabekennzeichnung der Reihe Orangerot–Weiß für D50 und D65

Bild 31 zeigt für *rgb*-Eingabedaten die farbmetrische Ausgabekennzeichnung für die 17stufige Reihe Orangerot–

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

Weiß der Spalte A für das Gerätesystem X bei Auswertung für die CIE-Lichtart D50 (*links*) und die CIE-Normlichtart D65 (*rechts*).

Die Durchführung von farbmetrischen Kennzeichnungen erfordert zum Beispiel die Ausgabe der *rgb*-Datei, siehe <http://www.ps.bam.de/YG26>

oder/und die Ausgabe der *cmy*-Datei, siehe <http://www.ps.bam.de/YG27>

Die gemessenen $L^*a^*b^*$ -CIELAB-Daten werden in die *PS*-Dateien eingefügt, die unter den folgenden drei Internetadressen zu finden sind. Anschließend werden hieraus *PDF*-Dateien erzeugt, welche schon alle notwendigen Berechnungen in der *PS*-Programmiersprache enthalten.

Für die farbmetrische Kennzeichnung mit *rgb*-Farbdaten von zwei Gerätesystemen F und X für D65, siehe <http://www.ps.bam.de/YG30>

Für die farbmetrische Kennzeichnung mit *rgb*- und *cmy0*-Farbdaten des Gerätesystems X für D65, siehe <http://www.ps.bam.de/YG31>

Für die farbmetrische Kennzeichnung mit *cmy0*-Farbdaten des Gerätesystems X für D50 und D65L, siehe <http://www.ps.bam.de/YG32>

14. Literaturhinweise

14.1 Normen und ähnliche Dokumente

- CIE13.3:1995: Colour rendering – Method of measuring and specifying colour rendering of light source
- CIE15:2004: Colorimetry, 3rd edition
- CIE 17.4:1987: International lighting vocabulary, 4th edition (Joint publication IEC/CIE)
- CIE 142:2001, Improvement to industrial colour difference evaluation
- CIE160:2004, A review of chromatic adaptation transforms
- CIE163:2004,: The effects of fluorescence in the characterization of imaging media
- CIE 170-1:2006: Fundamental chromaticity diagram with physiological axes - Part 1
- DIN 5033-1:1979, Farbmessung – Grundbegriffe der Farbmetrik
- DIN 5033-3:1992, Farbmessung – Farbmaßzahlen
- DIN 5033-4:1992, Farbmessung – Spektralverfahren
- DIN 5033-7:1983, Farbmessung – Meßbedingungen für Körperfarben
- DIN 5035-2:1990, Beleuchtung mit künstlichem Licht – Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien
- DIN 6164:1980, DIN-Farbenkarte – System der DIN-Farbenkarte für den 2^o-Normalbeobachter
- DIN 6160:1996, Anomaloskope zur Diagnose von Rot-Grün-Farbenfehlsichtigkeit nach *Nagel*
- DIN 6169-1:1976, Farbwiedergabe – Allgemeine Begriffe
- DIN 6174:1979, Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel oder
- DIN 6174, Norm-Entwurf, 2006, Farbmetrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbenraum
- DIN EN IEC 61966-2-1: 2005, Multimedia-Systeme und Geräte – Farbmessung und Farbmanagement – Teil 2.1: Farbmanagement, RGB-Vorgabe-Farbraum – sRGB
- DIN EN IEC 61966-7-1: 2006, Multimedia-Systeme und Geräte – Farbmessung und Farbmanagement – Teil 7.1: RGB-Farbdrucker
- RAL DESIGN Atlas - Farbatlas mit 1688 Farbmustern 1,7 cm x 1,8 cm, seidenglänzend
- ANMERKUNG: Der RAL DESIGN Atlas enthält Farbmuster für 36 CIELAB-Buntonwinkelabstände von 10 Grad und für CIELAB-Buntheits- und -Helligkeitsabstände $\Delta C_{ab}^* = 10$ und $\Delta L^* = 10$ für die Normlichtart D65 und den 10-Grad-Normalbeobachter.
- ISO 2846–1:1997, Graphic technology – Colour and transparency of ink sets for four-colour-printing – Part 1: Sheetfed and heat-set web offset lithographic printing.
- ISO 15076-1:2005, Image technology colour management – Architecture, profile format, and data structure – Part 1: Based on ICC.1:2004-10.
- ISO/IEC 15775:1999, Information technology – Office machines – Method of specifying image reproduction of colour copying machines by analog test charts – Realisation and application and ISO/IEC 15775:1999/Amd 1:2005.
- ISO/IEC TR 19797:2004, Information technology – Office machines – Device output of 16 colour scales, output linearization method (LM) and specification of the reproduction properties. Für Informationen und Prüfvorlagen nach ISO/IEC TR 19797 siehe
- <http://www.ps.bam.de/19797T>
- ISO/IEC TR 24705:2005, Information technology – Office machines – Machines for colour image reproduction – Method of specifying image reproduction of colour devices by digital and analog test charts. Für Informationen und Prüfvorlagen nach ISO/IEC TR 24705 siehe
- <http://www.ps.bam.de/24705T>
- ISO 22028-1:2004, Photography and graphic technology – Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange – Part 1: Architecture and requirements.
- ISO/TS 22028-2:2005, Photography and graphic technology – Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange – Part 2: Reference output medium metric RGB colour image encoding (ROMM RGB)
- ITU R BT 709-3:1998 Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange
- Svensk Standard SS 01 91 00:1982, Colour notation system – SS 01 91 01:1982, CIE tristimulus values and trichromatic coordinates for some 16 000 colour notations according to SS 01 91 00 – SS 01 91 02:1982, Colour

Farbmetrische Ergänzung zu E DIN 33872-1 bis -6

atlas – SS 01 91 02:1982, CIE tristimulus values and chromaticity coordinates for the colour samples in SS 01 91 02.
PostScript Reference Manual, Adobe Systems, 1989

Autorenveröffentlichungen

Fairchild, Mark (2005), *Color Appearance Models*, Second edition, John Wiley & Sons, 385 pages

Fechner, G.T. (1860), *Elemente der Psychophysik*, Breitkopf und Haertel, Leipzig

Hard, A. and Lars Sivik (1981), NCS - Natural Color System: A Swedish standard for color notation, *Color Research and Application*, Nr. 3, siehe auch

<http://www.ncscolour.com>

Hurvich, L.M. (1981), *Colour vision*, Sinauer Associates Inc. Massach., ISBN 0-87893-337-9, 328 Seiten.

Holtzmark, T. und Valberg, A. (1969), Colour discrimination and hue, *Nature*, Volume 224, October 25, S. 366-367

Jaeger, S. (2005), Multispectral CIELAB camera for the evaluation of colored automobile coatings, siehe (18 Seiten, 2 MByte)

<http://www.ps.bam.de/JAE05.PDF>

Jaeger, S. (2006), Bildgebendes Multispektralsystem zur Serienfarbmessung an goniochromatischen Oberflächenbeschichtungen in der Automobil- und Zulieferindustrie, Dissertation, TU Berlin, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, siehe die URL (142 Seiten, 8 MByte, PDF format)

<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2006/1405/>

MacAdam, D.L. (1978), Colorimetric data for samples of OSA uniform colour scales, *J. Opt. Soc. Amer.* 68, Nr. 1, S. 121-130.

Miescher, K. (1948), Neuermittlung der Urfarben und deren Bedeutung für die Farbordnung, *Helv. Physiol. Acta* 6, C12-C13.

ANMERKUNG: Die Urfarben (englisch: unique hues) sind mit den Elementarfarben von E DIN 33872 identisch und werden auch im NCS-Farbsystem Elementarfarben genannt.

Ostwald, W. (1923), *Physikalische Farbenlehre*, Leipzig, Unesma.

Ostwald, W. (1930), *Die Farbenfibel*, Leipzig, Unesma.

Richter, K. (1969), Antagonistische Signale beim Farbsehen und ihr Zusammenhang mit der empfindungsgemäßen Farbordnung, Disseration, Universität Basel.

Richter, K. (1979), BAM-Forschungsbericht Nr. 61, Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems, 99 Seiten, ISSN 0172-7613

Richter, K. (1980), Cube root colour spaces and chromatic adaptation, *Color Research and Application* 5, no. 1, S. 25-43

Richter, K. (1985), BAM-Forschungsbericht Nr. 115, Farbempfindungsmerkmal Elementarfarben und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld, 118 Seiten, ISBN 3-88314-420-7

Richter, K. (1996), *Computergrafik und Farbmetrik - Farbsysteme, PostScript und geräteunabhängige CIE-Farben*, VDE-Verlag, 288 Seiten mit ca. 500 Farbbildern und vielen weiteren Literaturhinweisen, siehe

<http://www.ps.bam.de/buch>

Valberg, A. (2005), *Light – Vision – Color*, John Wiley & Sohn, 462 Seiten.

Richter, K. (2005a), Relative Colour Image Technology (RCIT) and RLAB lab* (2005) Colour Image Encoding, siehe (70 Seiten, 850 kByte)

<http://www.ps.bam.de/RLABE05.PDF>

Richter, K. (2005b), Linear relationship between CIELAB and device coordinates for Colorimetric Image Technology (CIT), siehe (140 kByte, 6 Seiten)

<http://www.ps.bam.de/CIE05.PDF>

Richter, K. (2006a), Symmetrisches Farbsehmodell LMSLAB für Elementarfarben und Farbumstimmung, siehe die URL (31 Seiten, 1,5 MByte)

<http://www.ps.bam.de/VISG06.PDF>

Richter, K. (2006b). Device dependent linear relative CIELAB data lab* and colorimetric data for corresponding colour input and output on monitors and printers, CIEEx030: 2006, Proceedings of the ISCC/CIE Expert Symposium '06, Ottawa/Canada, S. 151-156

Richter, K. (2006c), Relation of Weber law and Stevens law at achromatic threshold, see the URL (11 Seiten, 200 kByte)

<http://www.ps.bam.de/BAMAT.PDF>

Richter, K. (2007). Colorimetric model of logarithmic colour spaces LMSLAB, Part II, The Proceedings of the 26th Session of the CIE, 2007, Beijing, Proceedings Volume 2.pdf, S. 199-230

Stevens, S. S. (1961), To honor Fechner and repeal his law, Science 133, 80-88

Stevens, S. S. (1975), Psychophysics, Introduction to it perceptual, neural, and social prospects, Wiley, ISBN 0-471-82437-2, 329 Seiten

Valberg, A. (2005), Light, Vision, Color, Wiley, ISBN 0 470 84903 7, 462 Seiten

Wagenknecht, H. (2005), Colour Management Method (CMM) which maintains CIELAB hue and relative lightness and chroma for analog and digital ISO/IEC-test charts, siehe (15 Seiten, 18 MByte)

<http://www.ps.bam.de/WAG05.PDF>

Wagenknecht, H. (2006), Kontrolle von Bilddaten vom Scan bis zum Druck - Farbmanagement in einem relativen CIELAB-Farbraum (25 Seiten, 5 MByte)

<http://www.ps.bam.de/WAG06.PDF>

Witt, J. (2006), Farbmetrische Methoden zur Herstellung von Prüfvorlagen für Farbkopierer, Farbscanner und Farbmonitore, Dissertation, TU Berlin, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, 177 Seiten, siehe die URL (178 Seiten, 8 MByte, PDF-Format)

<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2006/1363/>

Witt, J. (2005), Production method for analog ISO/IEC-test charts according to ISO/IEC 15775, (13 Seiten, 3 MByte)

<http://www.ps.bam.de/WIT05.PDF>

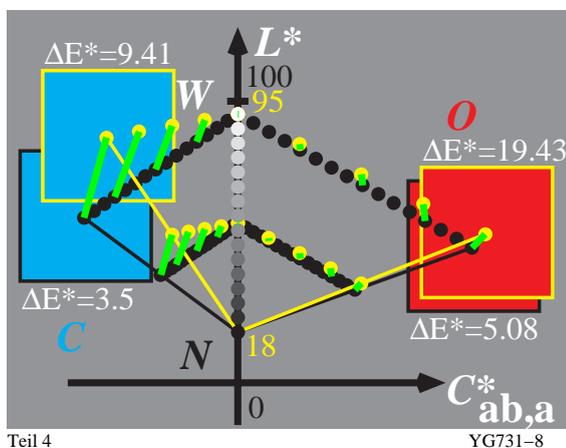
Witt, J. (2006), Verfahren zur Reproduktion von im CIELAB-Farbraum definierten Farben, (33 Seiten, 3,2 MByte)

<http://www.ps.bam.de/WIT06.PDF>

ANMERKUNG 1: Für **Prüfvorlagen** von E DIN 33872-2 bis -6 im *PS*- und *PDF*-Format sowie mit *rgb*- und *cmy0*-Eingabedaten siehe die folgende URL:

<http://www.ps.bam.de/33872D>

ANMERKUNG 2: Die Bilder dieser Arbeit und andere in DIN- und ISO/IEC-Normdokumenten des Editors *Klaus Richter* haben meist *rechts unter dem Bild eine Nummer*, z. B. "YG731-8", vergleiche das folgende Bild:



In diesem Fall befindet sich dieses Bild und ähnliche Bilder unter einer URL, die sich aus der BAM-Server-Adresse "www.ps.bam.de" und den ersten *vier* alphanumerischen Zeichen "YG73" der Nummer zusammensetzt. Die ähnlichen Bilder der *relativen affinen Bildwiedergabe* sind in diesem Fall zu finden unter der URL:

<http://www.ps.bam.de/YG73>

Auf dieser BAM-Seite ist normalerweise ein Link angegeben, der einen Download der Seite "YG73" und des Bildes "YG730-8N" in den Formaten *Adobe PostScript (PS)* oder *Portable Document (PDF, Version 1.3)* erlaubt.

Eine Übersicht vieler *Bildreihen*, die im selben Zeitraum entstanden sind, finden sich unter einer URL, die sich aus der BAM-Server-Adresse "www.ps.bam.de" und den ersten *zwei* alphanumerischen Zeichen "YG" der Nummer zusammensetzt. Die *ähnlichen Bildreihen* sind in diesem Fall zu finden unter der URL:

<http://www.ps.bam.de/YG.HTM>

Weitere Bildreihen sind zu finden unter Adressen, die anstelle von "YG" mit einem der Buchstaben "A bis Z" beginnen und mit einem der Buchstaben "G" für deutsch (german) oder "E" für englisch enden, z. B. "ZE":

<http://www.ps.bam.de/ZE.HTM>