

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
Walterhoferstrasse 44, D-14165 Berlin  
Tel. +49 30 84 50 90 38, Fax +49 30 84 50 90 40  
email: [klaus.richter@mac.com](mailto:klaus.richter@mac.com)

Version 2.1: 2008-06-01

Siehe auch die Webseite der BAM-Projektgruppe VIII.34 „Visuelle Methoden und Farbwiedergabe“

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

Für die deutsche und englische Version dieser Veröffentlichung, siehe (1,4 MByte, 41 Seiten) siehe

<http://www.ps.bam.de/D33872-A.PDF>

<http://www.ps.bam.de/D33872-AE.PDF>

Für die PS- und PDF-Prüfdateien in deutsch und englisch zu DIN 33872-2 bis -6 siehe

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

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

Bemerkung: Es gibt eine alte deutsche Version dieser Arbeit, die zum Entwurf DIN E 33872-1 bis 6:2007 gehört

[http://www.ps.bam.de/D33872\\_A.PDF](http://www.ps.bam.de/D33872_A.PDF)

und PS- und PDF-Dateien in deutsch und englisch, die zum Entwurf (D=Draft) DIN E 33872-1 bis -6:2007 erschienen sind.

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

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

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

Die mehrteilige Normenreihe 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 Ausgabeigenschaften dieser Farbwiedergabesysteme.

Die Normenreihe 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 Ausgabeigenschaften – Prüfung der Unterscheidbarkeit der 5 und 16stufigen Farbreihen*
- *Teil 3: Prüfdateien für Ausgabeigenschaften – Prüfung der Gleichheit der vier äquivalenten Graudefinitionen und Unterscheidbarkeit der 16 Graustufen*
- *Teil 4: Prüfdatei für Ausgabeigenschaften – Prüfung der Gleichheit für zwei äquivalente Farbdefinitionen mit 5 und 16stufigen Farbreihen*
- *Teil 5: Prüfdatei für Ausgabeigenschaften – Prüfung der Elementarbartton-Übereinstimmung und der Buntton-Unterscheidbarkeit*
- *Teil 6: Prüfdateien für Ausgabeigenschaften: Prüfung der äquivalenten Stufung und der regulären chromatischen Stufung*

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.

Dies ermöglicht eine kostenlose und langfristige Bereitstellung der farbmetrischen Ergänzung mit vielen Farbbildern im *PDF*-Dateiformat und mit kleiner Dateigröße. Mit dieser Methode können zusätzlich alle Farbbilder in skalierbarer Vektorgrafik bereit gestellt. Direkte Verknüpfungen in der *PDF*-Datei zu den Prüfdateien und zu farbmetrischen Beispielrechnungen sind realisiert und auf dem oben angegebenen BAM-Server verfügbar.

# Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

## Zusammenfassung

Die farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6 enthält in Abschnitt 1 Hinweise zu andere Normdokumenten des Bereichs Farbbildwiedergabe. In den Abschnitten 2 und 3 werden die Farben beschrieben, die von Benutzern im Fernsehen und Druck sowie in Farbordnungssystemen und der Informations-Technologie verwendet werden. In den Abschnitten 4 bis 6 sind farbmetrische *Norm-, adaptierte* und *relative* CIELAB-Daten aus diesen Bereichen 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 Bunttondreiecken die *affine* Ausgabestrategie der Normenreihe DIN 33872 und andere Möglichkeiten zur Reproduktion von 16stufigen Farbreihen mit verschiedenen Ausgabegeräten. Abschnitt 12 ergänzt die farbmetrischen Kennzeichnungen vieler Ausgaben der Normenreihe DIN 33872 durch eine zusätzliche Kennzeichnung für die Lichtarten D50 und D65 mit *cmY*-Eingabedaten bei gleichem Drucker.

## 1. Normdokumente im Bereich Farbbildwiedergabe

Tabelle 1 – Normenreihe DIN 33866 und Anwendungsbereich

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

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	
–	–	–	–	<b>Grundlagen</b>	<b>ISO/IEC TR 24705</b>
<b>analog</b>	<b>analog</b>	ISO/IEC-Prüfvorl. (Hardcopy)	Hardcopy	<b>Kopierer</b>	<b>ISO/IEC 15775</b>
<b>analog</b>	<b>digital</b>	ISO/IEC-Prüfvorlage (Hardcopy)	Datei	<b>Scanner</b>	<b>ISO/IEC TR 24705</b>
<b>digital</b>	<b>analog</b>	ISO/IEC-Prüfvorlage (Datei)	{ Hardcopy Softcopy	<b>Drucker</b> <b>Monitor</b>	<b>ISO/IEC TR 24705</b> <b>ISO/IEC TR 24705</b>

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. Die *cmY0*- und *rgb*-Eingabedaten zeigen zunehmend 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 farbmetrische Farbabstände um bis zu 30 CIELAB bei einem Farbabstand von 75 CIELAB zwischen Schwarz und Weiß.

In ISO/IEC 15775 wird eine farbmetrische Ausgabeteranz von 3 CIELAB definiert. Mit vielen Ausgabegeräten wird

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

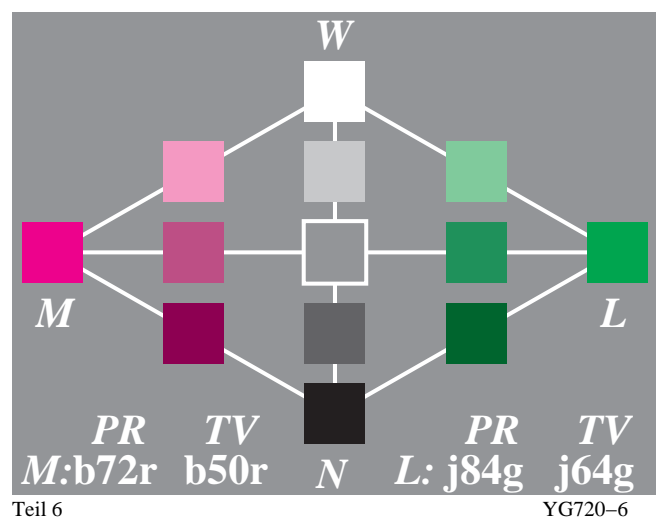
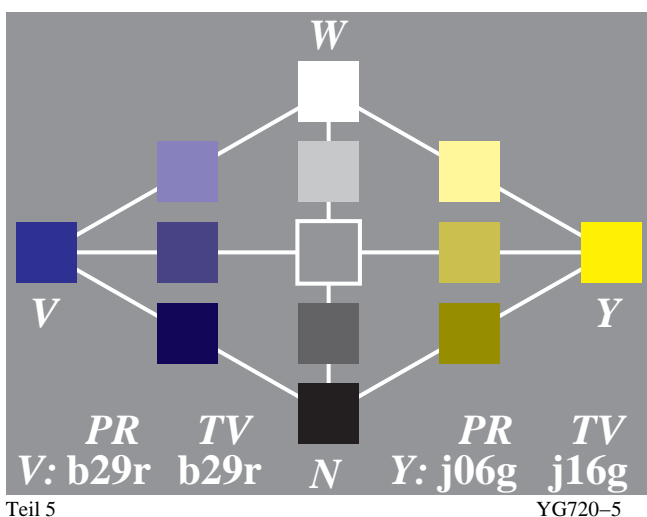
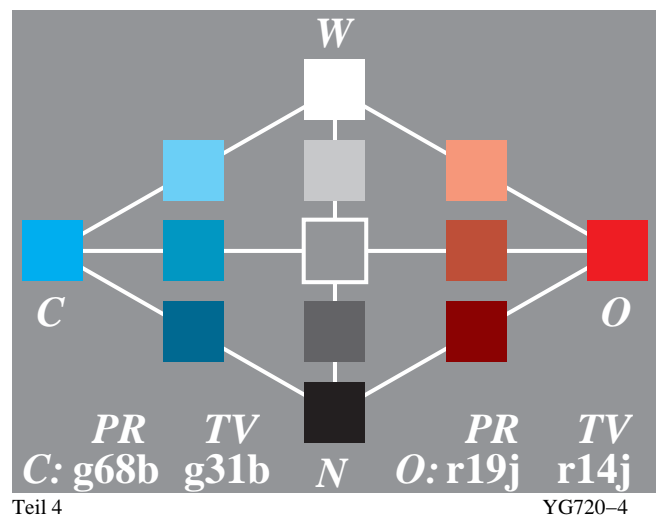
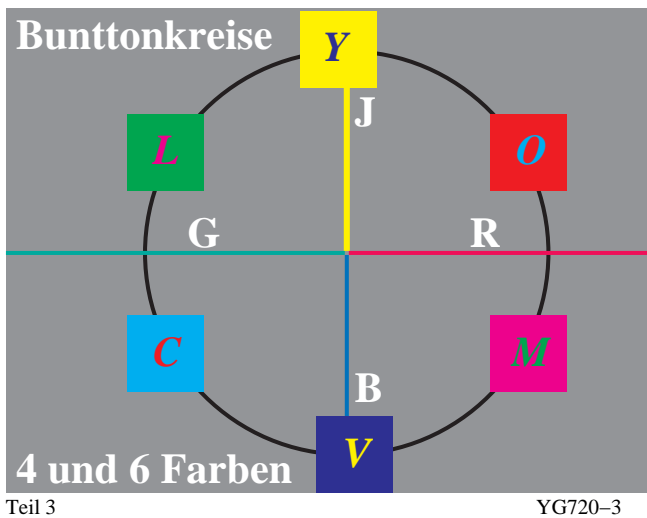
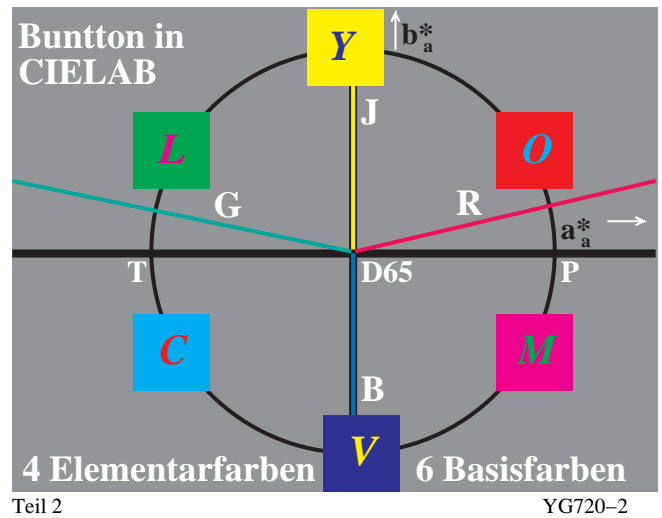
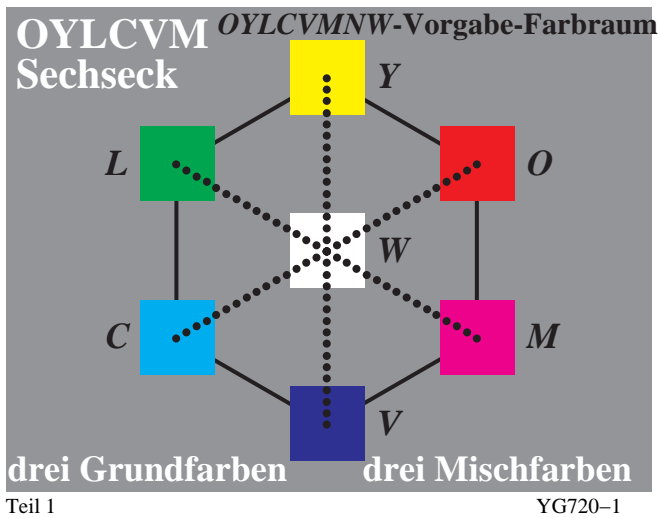
die Standardabweichung von 1 CIELAB erreicht. Das entspricht der visuellen Unterscheidbarkeit. Ausgabe-Farbabstände bis zu 30 CIELAB können unter anderem durch die folgenden Quellen entstehen: Betriebssystem, Anwendersoftware, Gerätetreiber, Druckersoftware und benutzte Lichtart bei der Farbbeurteilung.

Die Ausgabe der Prüfdateien nach DIN 33872-1 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. Wenn sich die Gerätesystemfarben bei der Ausgabe ändern, so kann oft die mögliche Quelle der Änderung ermittelt werden.

Die Prüfung kann für den Anwender zu einer stabilen Speicherung und Ausgabe von digitalen Farbdaten beigetragen. Der Anwender erhält eine Hilfe, um entsprechend seinen Wünschen Rechnerbetriebssystem, Anwendersoftware, Gerät, Gerätetreiber und Beleuchtung auszuwählen. Eine linearisierte Ausgabe ist die Voraussetzung für die Sicherheit der Erkennung von definierten Farbunterschieden, die in den *rgb*- oder *cmy*-Prüfdateien nach DIN 33872-1 bis -6 enthalten sind.

## 2. Farben im Druck und Fernsehen

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



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

Bild 1 Teil 1 (oben links) zeigt die sechs Farben OYLCVM von Fernsehen (TV) und Druck (PR) nach ISO/IEC 15775.

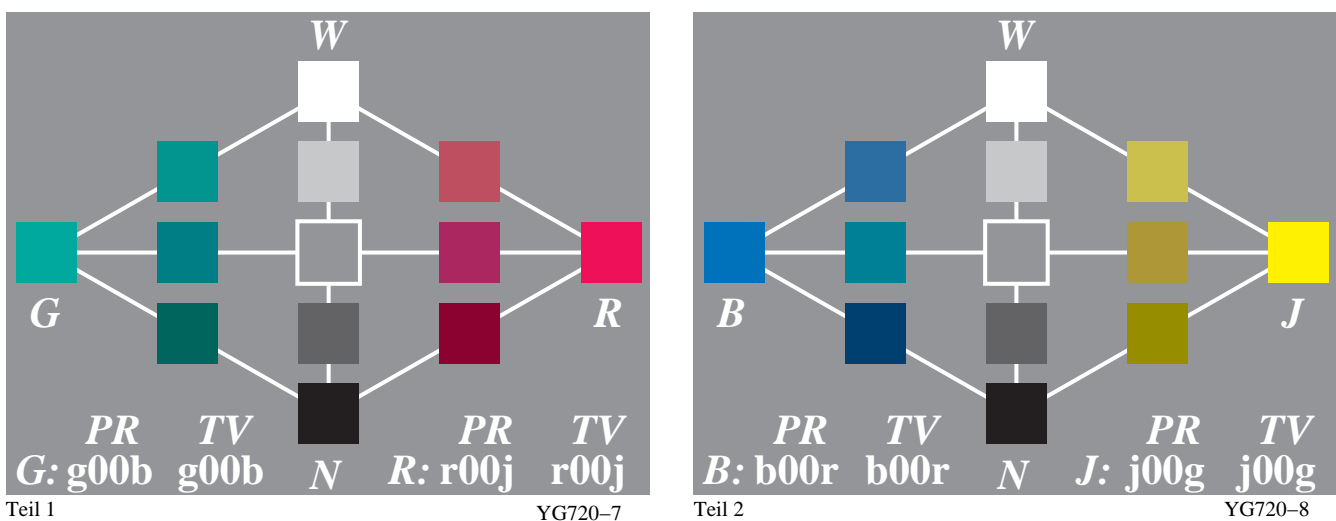
Die Bunttonfolge der sechs bunten Farben  $X = OYLCVM$  ist entweder in einem *Farbensechseck* oder einem *Bunttonkreis* darstellbar. Für einen konstanten Buntton werden die Farben gewöhnlich in einem *Farbdreieck* mit Schwarz  $N$  und Weiß  $W$  auf der vertikalen Achse dargestellt. Die Darstellung im Bunttondreieck entspricht der Erfahrung im Umgang mit Farbmitteln. In der Anwendung werden 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. 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. In Bild 7 von Abschnitt 6 sind die Winkel 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. Viele Benutzer wünschen eine *geräteunabhängige* Bunttonausgabe, welche die zunehmende Geräteabhängigkeit der Farbausgabe beschränkt. 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.

Im Bild1 (*oben rechts*) wird die Winkellage der vier Elementarfarben Rot  $R$ , Gelb  $J$ , Grün  $G$  und Blau  $B$  im *adaptierten* CIELAB-Buntheitsdiagramm ( $a^*_a, b^*_a$ ) im Vergleich zu den bunten Gerätegrundfarben  $X = OYLCVM$  gezeigt. 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  $O$  enthält Rot  $R$  (86%) und Gelb  $J$  (14%), das in der Kurzform  $r14j$  geschrieben wird (siehe Bild1, *Teil 4 Mitte rechts für TV*). Bild1 zeigt in den Teilen 3 bis 6 bunttongleiche Schnitte der Geräte-Farbpaare  $O - C$ ,  $Y - V$  und  $L - M$  und enthält den Elementarfarb-Bunttoncontext  $u^*$  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-Bunttoncontext  $u^*$  (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-Bunttoncontext  $u^*$  sind in den Schwedischen Normen Beziehungen zum farbmetrischen Normvalenzsystem CIEXYZ definiert.

Das wichtigste und auffälligste Farbmerkmal der drei Farbmerkmale von NCS ist der Elementarbuntton. 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 305 Grad anstelle von 272 Grad für Elementarblau  $B$  im *adaptierten*

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

CIELAB Buntheitsdiagramm ( $a^*_a, b^*_a$ ) und erscheint V stark rötlichblau. Bei LCD-Monitoren liegt die Grundfarbe Violettblau V oft bei 270 Grad und bei neuen OLED-Monitoren kann sie bei 240 Grad liegen. Dann erscheint V grünlichblau. Die Bunttonwinkel-Differenz zwischen CRT- und OLED-Monitoren (305 und 240 Grad) I kann 65 Grad betragen. Diese Bunttonverschiebung ist ähnlich der Bunttondifferenz zwischen Elementarrot R und Gelb J (26 und 92 Grad) und ungefähr 15fach größer als die Standardabweichung bei der visuellen Bestimmung der vier Elementarfarben, die bei 4 Grad liegt.

### 3. Benutzerfreundliche Farbinformations-Technologie

Zunehmend muß die Farbinformations-Technologie die visuellen Eigenschaften des Farbsehens berücksichtigen. Mehr Benutzerfreundlichkeit wird zum Beispiel erreicht, wenn die CIELAB-Bunttonwinkel der Elementarfarben berücksichtigt werden. Dies wird auch durch 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
<b>Farbordnungssystem; Name und Koordinaten:</b> <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	<b>Gerätesystemname und Koordinaten:</b> <b>Drucker-System (Lichtarten D50 oder D65):</b> <i>cmY</i> , Menge an "Cyan", "Magenta", "Gelb" <b>Monitor-System (Normlichtart D65):</b> <i>rgb/sRGB</i> , Menge an "Rot", "Grün", "Blau" <i>Keine benutzerfreundlichen Farbkoordinaten</i> <i>Nahezu keine Verbindung zu Farbsystemen</i>
<b>Ziel: definiere benutzerfreundliche Verbindung</b> <b>Neu: Interpretation der <math>rgb</math>-Farbdaten im Wertebereich 0 bis 1 als Elementarfarbdaten <math>rgb^*_3</math></b> 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) $rgb^*_3 - ncu^*, rgb^*_3 - ncu^*$ 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. Im Bild 3 erzeugt die Interpretation der  $rgb$ -Farbdaten der Informations-Technologie als Elementarfarbdaten  $rgb^*_3$  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  $h^* = h_{ab,a} / 360$ ).

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

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

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-Bunttontext  $u^*$  werden die Koordinaten  $rgb$  der Farbinformations-Technologie als Koordinaten  $rgb^*_3$  interpretiert, die durch die einfachen und linearen Beziehungen

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

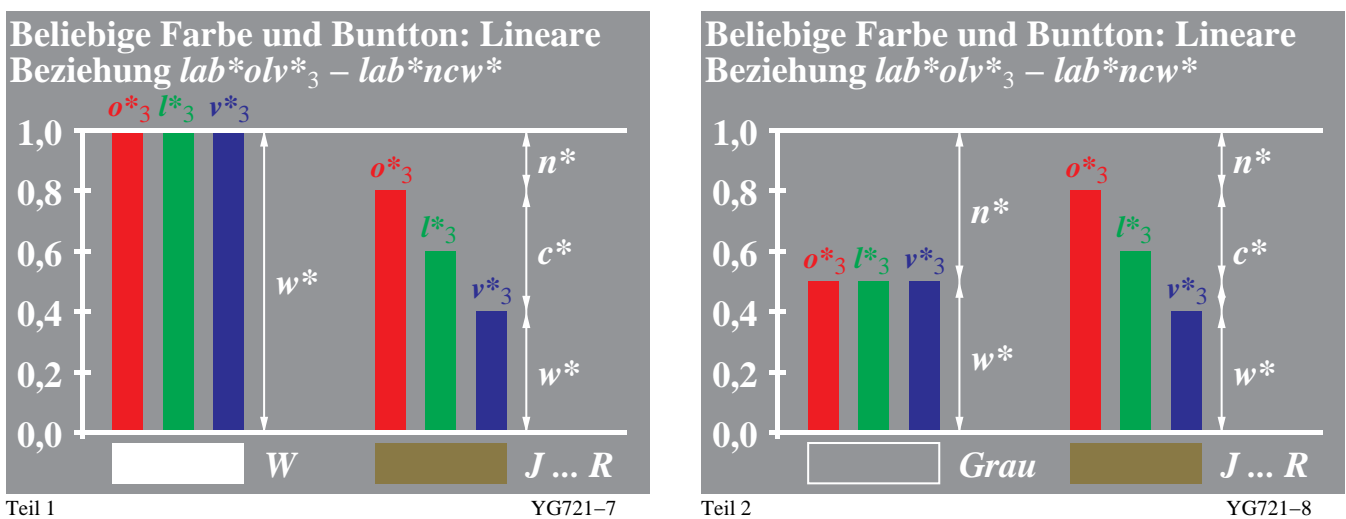
$$c^* = \max(r^*_3, g^*_3, b^*_3) - \min(r^*_3, g^*_3, b^*_3) \quad (4)$$

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 geräteunabhängig* entsprechend visuellen Experimenten definiert.

Im folgenden Abschnitt 4 werden die *rgb*-Daten der Informations-Technologie entweder als Gerätesystemdaten  $olv^*_3$  oder als Elementarfarben  $rgb^*_3$  interpretiert. Im folgenden Bild 5 Teil 1 bis 4 von Abschnitt 4 werden die beiden obigen Gleichungen erläutert und zeigen anschaulich die 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 gezeigt. Die Verknüpfung mit den relativen Farbmerkmalen Weißheit  $w^*$ , Schwarzheit  $n^*$ , Buntheit  $c^*$ , Farbtiefe  $d^*$  und Brillantheit  $i^*$  wird dargestellt.



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

Bild 4 zeigt die relativen Gerätekoordinaten  $olv^*_3$  und die Farbmischung von Weiß *W*, Zentralgrau *Z* und Gelbrot *J...R* aus diesen relativen Gerätekoordinaten  $olv^*_3$ . In dieser Arbeit wird zwischen absoluten CIELAB-Koordinaten  $LAB^*$  (drei große Buchstaben) und relativen CIELAB-Koordinaten  $lab^*$  (drei kleine Buchstaben) 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 gewöhnlich als Gerätekoordinaten  $olv^*_3$  interpretiert, die durch die einfachen und linearen Beziehungen

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

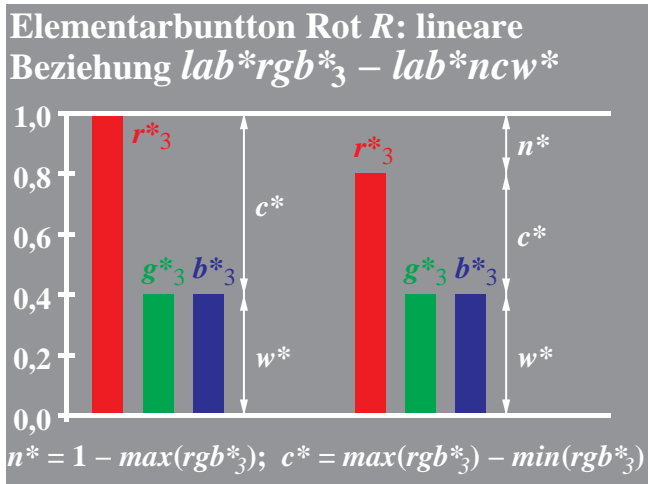
$$c^* = \max(o^*_3, l^*_3, v^*_3) - \min(o^*_3, l^*_3, v^*_3) \quad (2)$$

mit den benutzerfreundlichen Koordinaten relative Schwarzheit  $n^*$  und relative Buntheit  $c^*$  verbunden sind. Die 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  $r=g=b$  ( $0 \leq r, g, b \leq 1$ ) die Buntheit Null besitzt und daher visuell unbunt erscheint.

Viele IT-Softwareprodukte verlangen bisher, daß sich der Benutzer an spezielle Geräte-Eigenschaften anpaßt. Viele Software-Produkte benutzen die spezielle Eigenschaft des Standard-Offsetdrucks, daß sich im Standard-Offsetdruck die Farbmittel *C*, *M* und *Y* bei einem Mischungsverhältnis von etwa 30 : 30 : 45 zu Mittelgrau mischen.

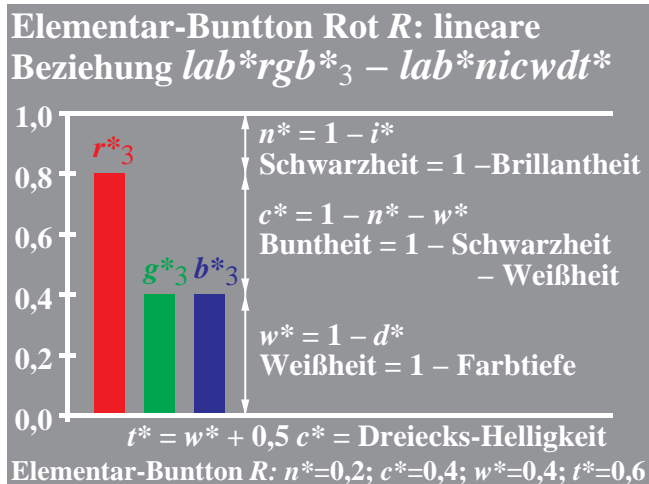
## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

Diese Eigenschaft benutzen viele *Windows*- und *Mac*-Versionen von *Photoshop*. Der Benutzer muß hier die Daten  $cm\dot{y} = (0,3\ 0,3, 0,45)$  anstelle von  $(0,5, 0,5, 0,5)$  eingeben, um ein Mittelgrau in der Ausgabe auf Monitoren und Druckern zu erhalten. Der Benutzer muß daher eine spezielle Eigenschaft eines speziellen Geräteprozesses lernen. zunehmend möchten die Benutzer nicht die speziellen Geräteeigenschaften lernen und bevorzugen daher Versionen der Software *Photoshop*, die zum Beispiel auf *Unix* mit *Display PostScript* für die Werte  $cm\dot{y} = rgb = (0,5, 0,5, 0,5)$  ein *neutrales* Grau sowohl am Bildschirm darstellen als auch am Drucker ausgeben. Mehr und mehr möchten die Benutzer Software mit dieser natürlichen und benutzerfreundlichen Eigenschaft.



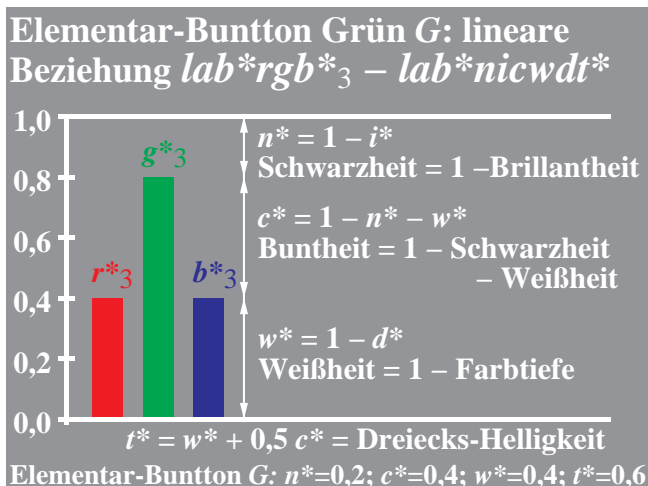
Teil 1

YG721-1



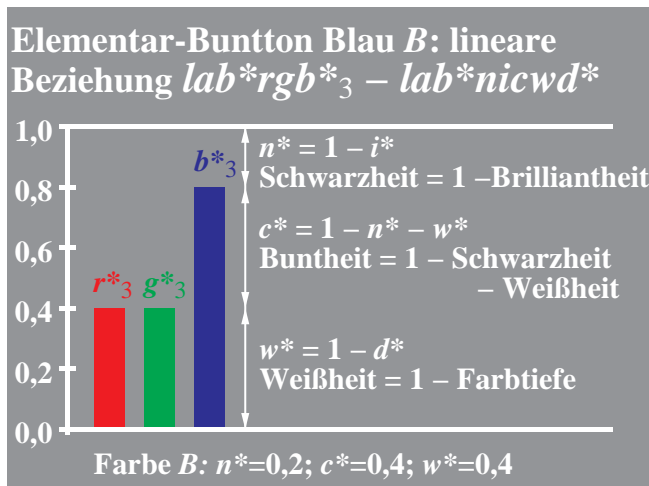
Teil 2

YG721-2



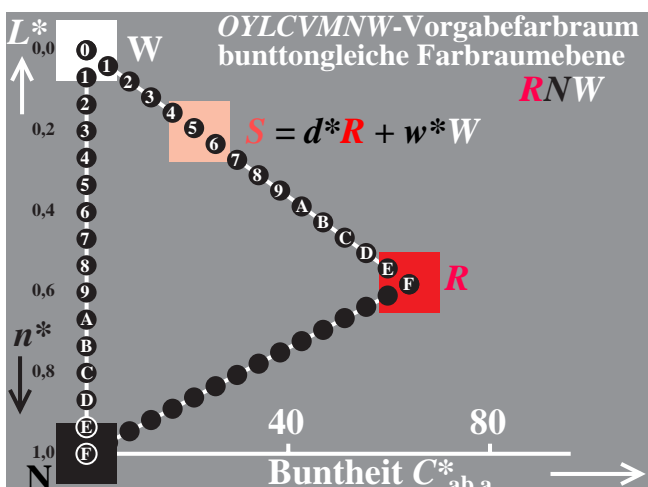
Teil 3

YG721-3



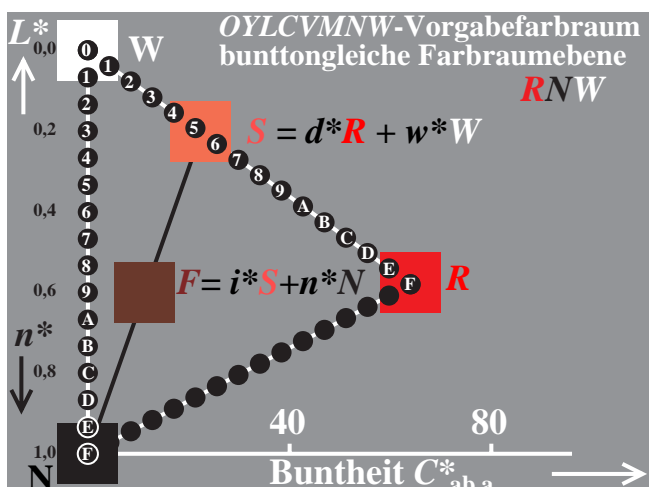
Teil 4

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  $c^*$ .



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

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

Bild 5, Teile 5 und 6, zeigen Farbdreiecke mit dem Elementarbunnton Rot  $R$ , 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.

Anstelle der drei Koordinaten  $r^*_3, g^*_3, b^*_3$  kann ein Benutzer die relative Schwarzheit  $n^*$ , die relative Buntheit  $c^*$  und den Elementarbunnton  $R$  wählen. Zum Beispiel kann ein Benutzer jede Farbe durch die benutzerfreundlichen Koordinaten relative Schwarzheit  $n^*$ , relative Buntheit  $c^*$  und den Elementarbunnton  $R$  wählen, um jede Farbe in einer CAD-Zeichnung oder einem Design definieren.

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 für das Farbmerkmal Buntton **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-Bunntontext  $u^*$ .

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  $F$  wird *linear* aus dieser Mischfarbe  $S$  und Schwarz  $N$  erzeugt.

Im Bild 4 Teil 1 hat die Farbe Weiß  $W$  die drei Koordinaten  $olv^*_3 = rgb^*_3 = (1, 1, 1)$  und in Bild 4 Teil 2 hat Mittelgrau  $Z$  die drei Koordinaten  $olv^*_3 = rgb^*_3 = (0, 5, 0, 5, 0, 5)$ . Zum Beispiel kann eine Farbe  $F$  aus der *relativen* Weißheit  $w^*$  und der *relativen* Schwarzheit  $n^*$  sowie der *relativen* Farbtiefe  $d^* = 1 - w^*$  und *relativen* Brillantheit  $i^* = 1 - n^*$  berechnet werden. 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 können die  $rgb$ -Eingabedaten als  $rgb^*_3$ -Elementarfarbdaten interpretiert werden. In diesem Fall 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 die  $rgb$ -Eingabedaten als  $olv^*_3$ -Gerätedaten interpretiert und es entstehen dann die Bunttöne der sechs bunten Gerätefarben.

Bei Eingabe den Daten für Blau  $rgb = (0, 0, 1)$  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 jedoch 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 Qualitätsbewertung der Gerätesysteme ist damit nicht verbunden. Für viele Benutzer kann die Eigenschaft der Elementarbuntonerzeugung wichtig und für 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 Ausgabemöglichkeiten, 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 alternativen Ausgabemöglichkeiten 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-Bunton $h_{ab}$ Formeln benutzen gegebene Daten von <i>relativer</i> Buntheit $c^*$ und Schwarzheit $n^*$					
$(c^*, n^*) = (0.3, 0.35)$ 	<b>Schwarzheit</b> $n^*$ $n^* = 0.35$	<b>Buntheit</b> $c^*$ $c^* = 0.30$	<b>Weißheit</b> $w^*$ $w^* = 1 - n^* - c^*$ $w^* = 0.35$	<b>Farbtiefe</b> $d^* = 1 - w^*$ $d^* = n^* + c^*$ $d^* = 0.65$	<b>Brillantheit</b> $i^* = 1 - n^*$ $i^* = 0.70$	<b>Dreiecks-Helligkeit</b> $t^* = 1 - n^* - 0.5 c^*$ $t^* = 0.50$
<b>Farbe 1</b> <b>Farbe 2=S</b> <b>Farbe 3</b>	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	$1-0.5c^*$ $1-0.5c^*/(1-n^*)$ $1-0.5(n^*+c^*)$
<b>Farbe 4</b> <b>Farbe 5=Q</b> <b>Farbe 6</b>	$n^*$ $n^*/(n^*+c^*)$ $1-c^*$	$1-n^*$ $c^*/(n^*+c^*)$ $c^*$	0 0 0	1 1 1	$1-n^*$ $c^*/(n^*+c^*)$ $c^*$	$0.5(1-n^*)$ $0.5c^*/(n^*+c^*)$ $0.5c^*$
<b>Farbe 7</b> <b>Farbe 8</b> <b>Farbe 9</b>	$1-n^*$ $1-n^*-0.5c^*$ $1-n^*-c^*$	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  $F$ , wenn die *relative* Buntheit  $c^*$  und die *relative* Schwarzheit  $n^*$  gegeben sind. Diese  $c^*$ - und  $w^*$ -Daten werden in die *relative* Weisheit  $w^*$ , die *relative* Farbtiefe  $d^*$ , die *relative* Brillantheit  $i^*$  und die *relative* Dreiecks-Helligkeit  $t^*$  entsprechend 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 jeder Anwendung können zwei äquivalente dieser 6 Farbmerkmale benutzt werden, zum Beispiel auch die *relative* Dreiecks-Helligkeit  $t^*$  und die *relative* Buntheit  $c^*$ . Zusammen mit dem Buntonwinkel  $h^*$  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/YG76/10L/L76G00NP.PDF>

In der Anwendung hat sich ergeben, daß die Farbkoordinaten *relative* Buntheit  $c^*$  und *relative* Schwarzheit  $n^*$  von Beobachtern im Vergleich zu den anderen am einfachsten zu beurteilen und zu schätzen sind. Daher wurden diese zwei 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 Bunton wie die Farbe  $F$ . 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:

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

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

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

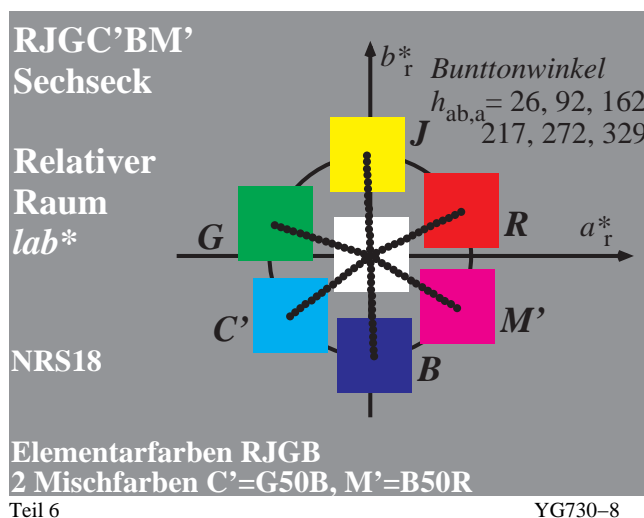
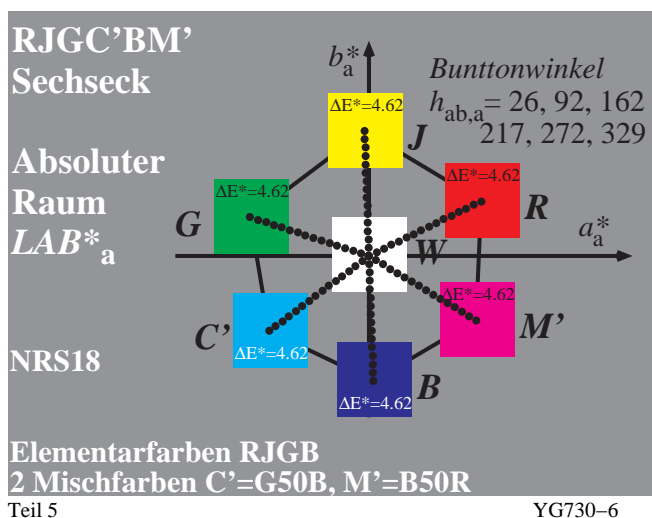
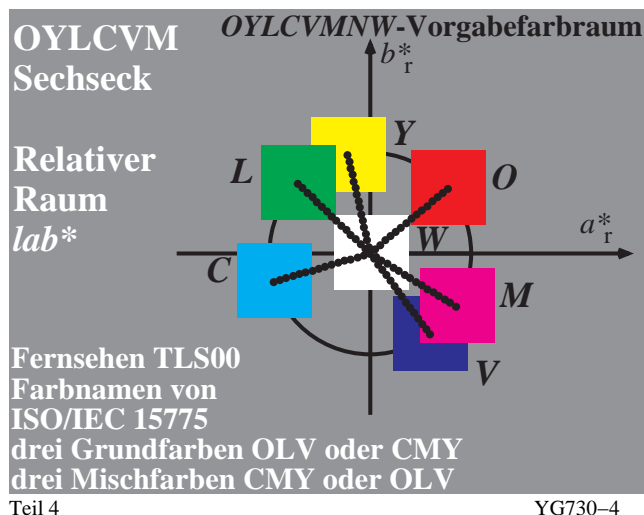
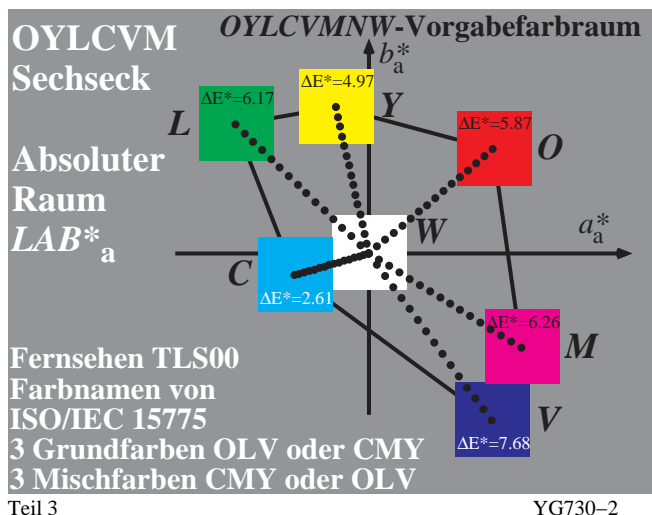
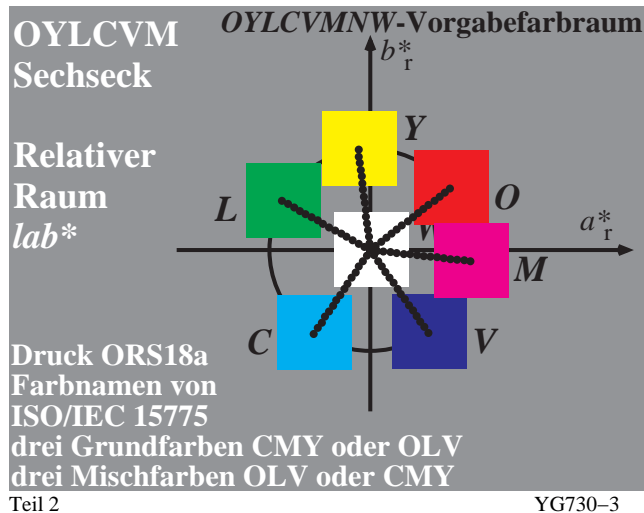
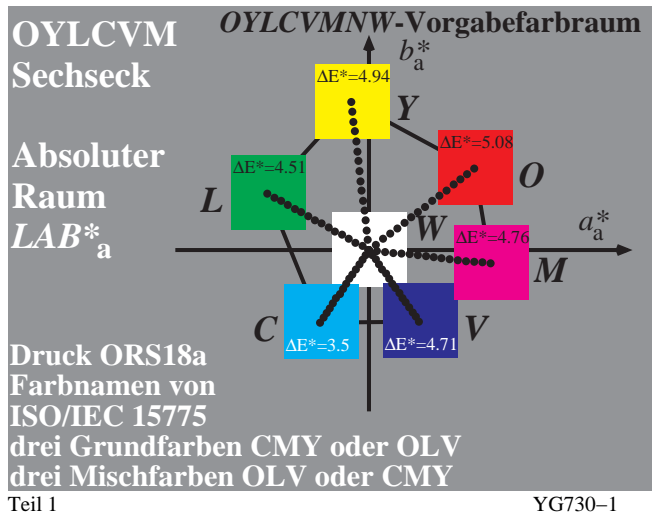
$$n^* = 1 - t^* - 0.5 c^* \tag{4}$$

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. *Lineare* Gleichungen dienen zur Ermittlung der CIELAB-Daten der Maximalfarbe  $M$  aus *adaptierten* CIELAB-Daten einer Farbe  $F$ . Die CIELAB-Daten von  $M$  hängen vom CIELAB-Buntonwinkel  $h_{ab,a}$  von  $F$  und den *adaptierten* CIELAB-Daten der sechs Geräte-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  $L^*=18$ )

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

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 Buntheitskomponenten ( $a^*_a, b^*_a$ ) 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. Die Systeme TLS00 und ORS18 ergeben Winkelabweichung von 183% und 113% im Vergleich zum mittleren Abstand von 60 Grad (100%) 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).

Die farbmetrischen *adaptierten* CIELAB-Bunttonwinkel im System NRS18 sind regelmäßiger als diejenigen von TLS00 und ORS18. Das System NRS18 ist zusätzlich **geräteunabhängig** und basiert auf den Elementarfarben *RJGB*, die viele Eigenschaften des visuellen menschlichen Farbsehsystems 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  $C_{gb}=G50B$  und Magenta  $M_{br}=B50R$ , jeweils in der Mitte zwischen  $G - B$  und  $B - R$  entsteht wieder ein Farbsechseck. Betrachtet man die sechs Farben  $X = RJGC_{gb}BM_{br}$ , welche die vier Elementarfarben *RJGB* und die Mittelbunttöne  $C_{gb}M_{br}$  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.

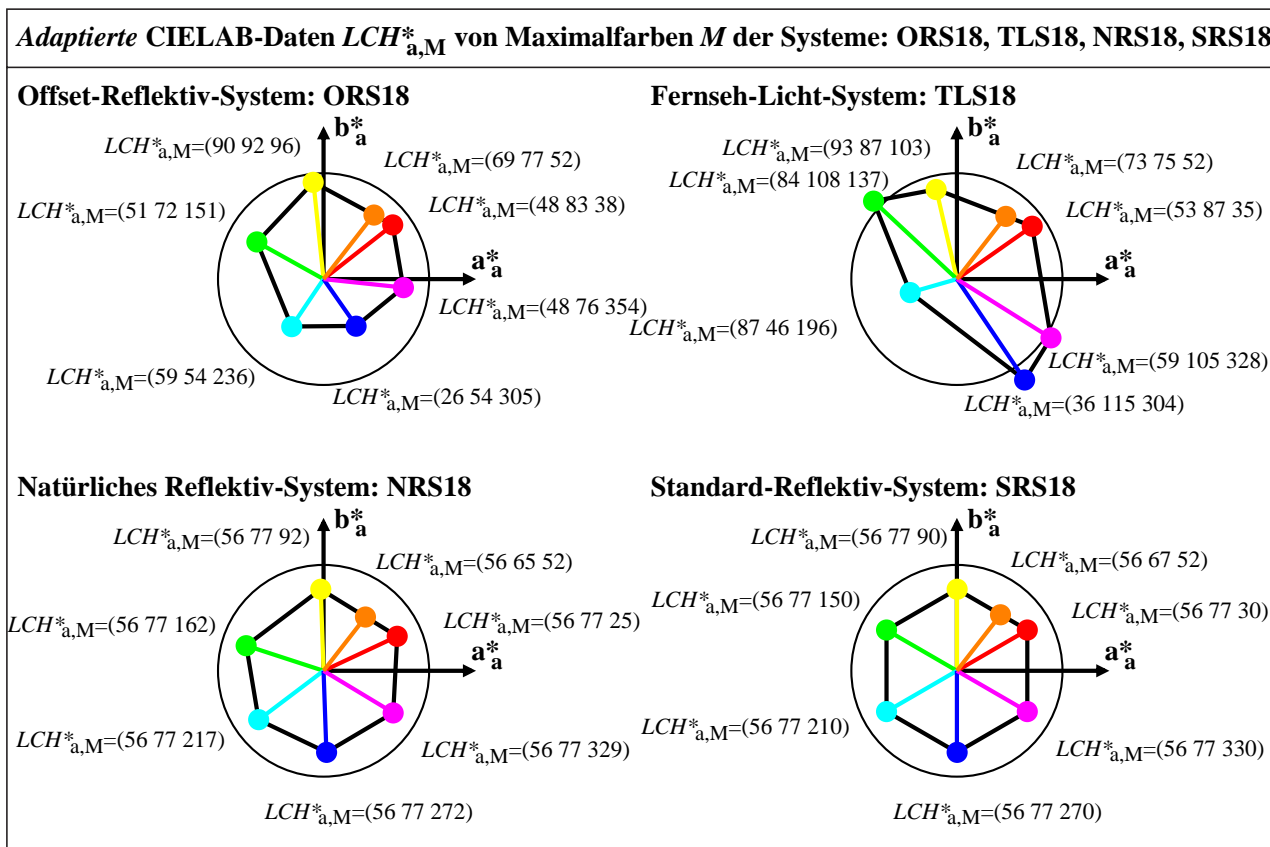
Neue Methoden zur Herstellung von Prüfvorlagen nach DIN 33866, ISO/IEC 15775 und ISO/IEC TR 24705 mit farbmetrisch gleichabständigen 16stufigen Farbreihen hat J. Witt (2005, 2006) entwickelt.

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  $X=RJGC_{gb}BM_{br}$  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 benutzt die Bunttonwinkeln der sechs Gerätefarben mit jeweils 60 Grad Abstand von beliebigen zwei benachbarter Bunttöne.

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  $C^*_{ab}$  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 Farbunterscheidungs-Vermögen. Diese Eigenschaft wurde zum Beispiel von *Holtmark* und *Valberg* (1971) durch experimentelle Messungen an komplementären Optimalfarben nachgewiesen. Die CIELAB-Metrik steht in Teilen mit diesen experimentellen Ergebnissen teilweise im Widerspruch. Eine neue Hexagon-Metrik, die weiter zu entwickeln ist, beinhaltet eine Struktur, welche direkt die experimentellen Ergebnisse beschreiben kann, 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 zwischen zwei benachbarten Bunttönen 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. Elementargelb  $J$  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  $C_{gb}$  in der Mitte zwischen Grün  $G$  und Blau  $B$  und Magentarot  $M_{br}$  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:

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

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

mit

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

Zum Beispiel im Bild 8 beschreibt die Gleichung (1) mit dem *adaptierten* CIELAB-Bunntonwinkel  $h_{ab,a}$  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  $Y$ . Die Berechnung zwischen zwei benachbarten Gerätefarben  $O$  und  $Y$  ermitteln zuerst den *relativen* CIELAB-Bunntonwinkelanteil  $\alpha_M$ . Die Buntheiten  $a^*_{a,M}$  und  $b^*_{a,M}$ , und die Helligkeit  $L^*_M$  der gemischten Maximalfarbe  $M$  werden alle aus dem *relativen* Bunntonwinkelanteil  $\alpha_M$  von  $O$  und  $Y$  ermittelt.

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

Es gilt:

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

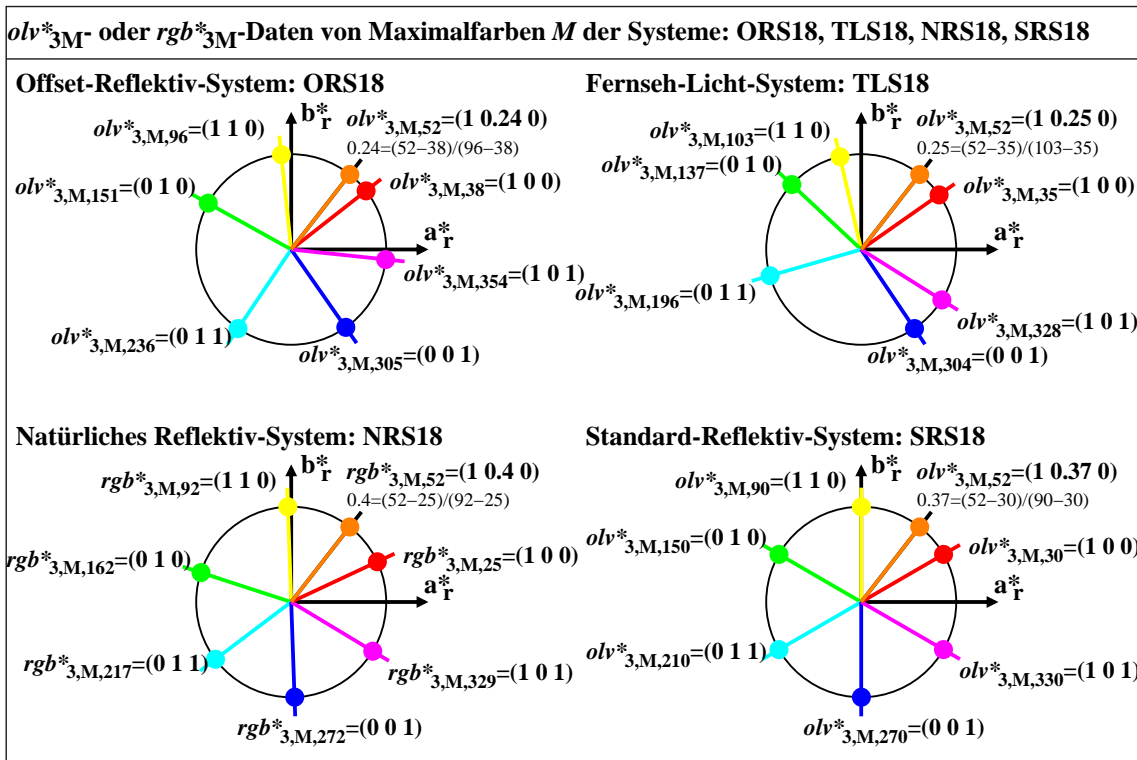
$$a_{a,M}^* = \alpha_M a_{a,Y}^* + (1 - \alpha_M) a_{a,O}^* \quad (5)$$

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

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

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

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) als die Buntheit sowohl von  $O$  und  $Y$  (Wert = 83 und Wert = 92) und kann nicht direkt aus  $\alpha_M$  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 Koordinate von  $olv_{3M}^*$  *linear* mit dem *relativen* Bunttonwinkel  $\alpha_M$  zwischen 0 und 1.

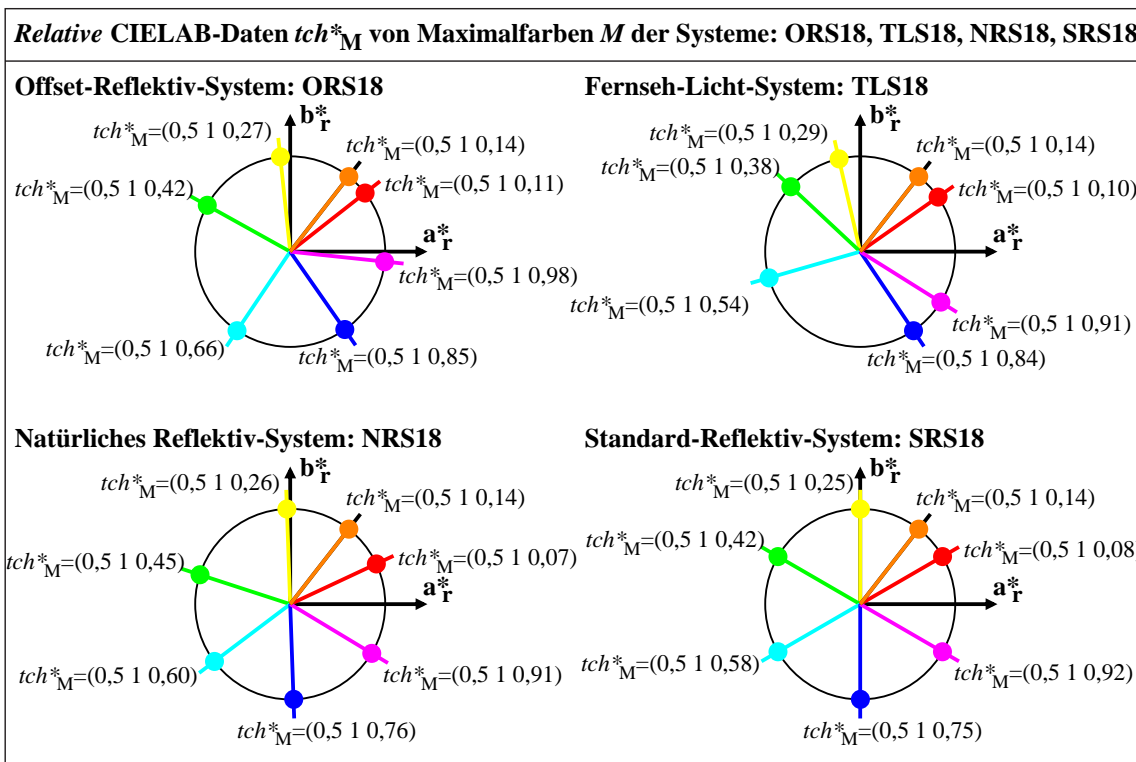
Die Berechnung des *relativen* Bunttonwinkels  $\alpha_M$  ist in jedem der vier Teilbilder für den gleichen CIELAB-Bunttonwinkel  $h_{ab,a,M} = 52$  Grad angegeben. In Bild 9 gelten unter Benutzung von Gleichung (4) für den relativen Bunttonwinkel  $\alpha_M$  die folgenden drei Gleichungen für die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



**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* Schwarzhheit  $n^*$  und *relative* Buntheit  $c^*$ .

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

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

$$t^* = 1 - n^* - 0,5 c^* \quad (14)$$

$$w^* = 1 - n^* - c^* \quad (15)$$

Die *relative* Dreiecks-Helligkeit  $t^*$  und die *relative* Weißheit  $w^*$  berechnen sich nach Gleichung (14) und (15) aus der *relativen* Schwarzhheit  $n^*$  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 *beliebiger* Satz von drei Koordinaten einer *beliebigen* Farbe  $F$  gegeben ist. Wir betrachten im folgenden, daß einer der Datensätze  $LAB^*LCH^*_a$ ,  $lab^*olv^*_3$  und  $lab^*nce^*$  gegeben ist. Es sollen daher 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). Wenn die folgenden Tabellen 3 und 4 benutzt werden ist die Lösung schneller und dies zeigen die folgenden Bilder 12 bis 14.

Tabelle 3 dient zur Ermittlung der Daten  $lab^*olv^*_3M$  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 8 Gerätesysteme (24 Seiten, 2,1 Mbyte) unter der URL:

<http://www.ps.bam.de/YG00/10L/L00G00NP.PDF>

# Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

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

$h_{ab,a}$	$h_{ab,s}$	$h_{ab,e}$	$h^*$	$h^*_s$	$h^*_e=e^*$	$\alpha_{aM}$	$o^*_{3M}$	$l^*_{3M}$	$v^*_{3M}$	$L^*_M$	$C^*_{ab,aM}$	$H^*_{aM}$	$a^*_{aM}$	$b^*_{aM}$
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.



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

Tabelle: CIELAB-Buntonwinkel $h_{ab,a}$ des Systems NRS18 und Transfer nach Buntonwinkel im Standard- (s) oder Elementar- (e) Farbsystem																	
$h_{ab,a}$	$h_{ab,s}$	$h_{ab,e}$	$h^*_s$	$h^*_e$	$e^*$	$h_{ab,s}$	$h_{ab,a}$	$h_{ab,e}$	$h^*_s$	$h^*_e$	$e^*$	$h_{ab,e}$	$h_{ab,a}$	$h_{ab,s}$	$h^*_e$	$h^*_s$	
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-Buntonwinkel  $H^*_s = h_{ab,s}$  und des Elementarfarb-Buntonwinkels  $H^*_e = h_{ab,e}$  als Funktion des adaptierten CIELAB-Buntonwinkels  $H^*_a = h_{ab,a}$  für den Buntonwinkelabstand von  $\Delta H^*_a = 10$  Grad und umgekehrt.

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

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.

Insbesondere bei Anwendung auf Pixel-Graphiken 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  $M$ .

<b>Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von <math>LCH_a^*</math> (CIELAB) nach <math>nce^*</math> und <math>olv_3^*</math></b>	
<b>Gegeben: CIELAB-Daten einer beliebigen Farbe <math>L^*, C_{ab,a}^*, h_{ab,a} = LCH_a^* = LAB^*LCH_a^*</math> oder <math>L^*, a_a^*, b_a^*</math></b>	
<b>CIELAB-Daten <math>L^*, C_{ab,a}^*, h_{ab,a}, a_a^*, b_a^*</math> von 8 Grundfarben <math>X = OYLCVMNW</math></b>	
<b>Gesucht: <math>nce^*</math> und <math>rgb</math>-Gerätedaten <math>olv_3^*</math> der gegebenen Farbe</b> (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 $olv_3^*$ -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  $lab^*nce^*$ . Für diese Transformation 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 mehr Rechenzeit für große Bildmatrizen, z. Beispiel 1000 x 1000 Punkte, 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 8 Gerätesysteme (64 Seiten, 2,1 Mbyte) unter der URL

<http://www.ps.bam.de/YG00/10L/L00G00NP.PDF>

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.

<b>Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von <math>LCH^*_a</math> (CIELAB) nach <math>nce^*</math> und <math>olv^*_3</math></b>		
<b>Gegeben: Adaptierte CIELAB-Daten einer beliebigen Farbe <math>L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a} = LCH^*_a = LAB^*LCH^*_a</math></b>		
<b>Adaptierte CIELAB-Daten <math>L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a}, a^*_a, b^*_a</math> von 8 Grundfarben <math>X = OYLCVMNW</math></b>		
<b>Gesucht: <math>nce^*</math> und <math>rgb</math>-Gerätedaten <math>olv^*_3</math> der gegebenen Farbe</b>		
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 gegeben Daten  $LAB^*LCH^*_a$  nach  $lab^*nce^*$  und  $lab^*olv^*_3$**

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

<b>Gleichungen: Farbmetrischer Datentransfer von <math>nce^*</math> nach <math>olv^*_3</math> (<math>rgb</math>-Daten) und <math>LCH^*_a</math></b>		
<b>Gegeben: <math>nce^*</math>-Daten (ähnlich NCS) einer beliebigen Farbe <math>nce^* = lab^*nce^*</math> (<math>0 \leq n^*, c^*, e^* \leq 1</math>)</b>		
<b>Adaptierte CIELAB-Daten <math>L^*, C^*_{ab,a}, h_{ab,a}, a^*_a, b^*_a</math> von 8 Grundfarben <math>X = OYLCVMNW</math></b>		
<b>Gesucht: <math>rgb</math>-Gerätedaten <math>olv^*_3</math> und <math>LCH^*_a</math> der gegebenen Farbe</b>		
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 gegeben Daten  $lab^*nce^*$  nach  $lab^*olv^*_3$  und  $LAB^*LCH^*_a$**

Bild 13 enthält die Transformationen der gegeben 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	
<b>Gegeben:</b> <i>rgb</i> -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 $X = OYLCVMNW$	
<b>Gesucht:</b> $nce^* = lab^*nce^*$ (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	$h_{ab,s} = \arctan [ b^*_{rs} / a^*_{rs} ]$ ( $0 \leq h_{ab,s} \leq 360$ ) (6)
CIELAB-Buntonwinkel im Gerätesystem	$h_{ab,a} = \text{Funktion} [ h_{ab,s} ]$ (mit Tabelle/Gleichung) (7)
Elementarfarb-Buntonzahl der gegebenen Farbe	$e^* = \text{Funktion} [ h_{ab,a} ]$ (mit Tabelle/Gleichung) (8)
Adaptierte CIELAB- $LCH^*_a$ -Daten von Maximalfarbe $M$	$L^*_M = \text{Funktion} [ h_{ab,a} ]$ (mit Tabelle/Gleichung) (9)
	$C^*_{ab,a,M} = \text{Funktion} [ h_{ab,a} ]$ (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 – Transformationen der gegebenen Daten  $lab^*olv^*_3$  nach  $lab^*nce^*$  und  $LAB^*LCH^*_a$**

Bild 14 enthält die Transformationen 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 Gleichungsbeispiele unter folgender URL

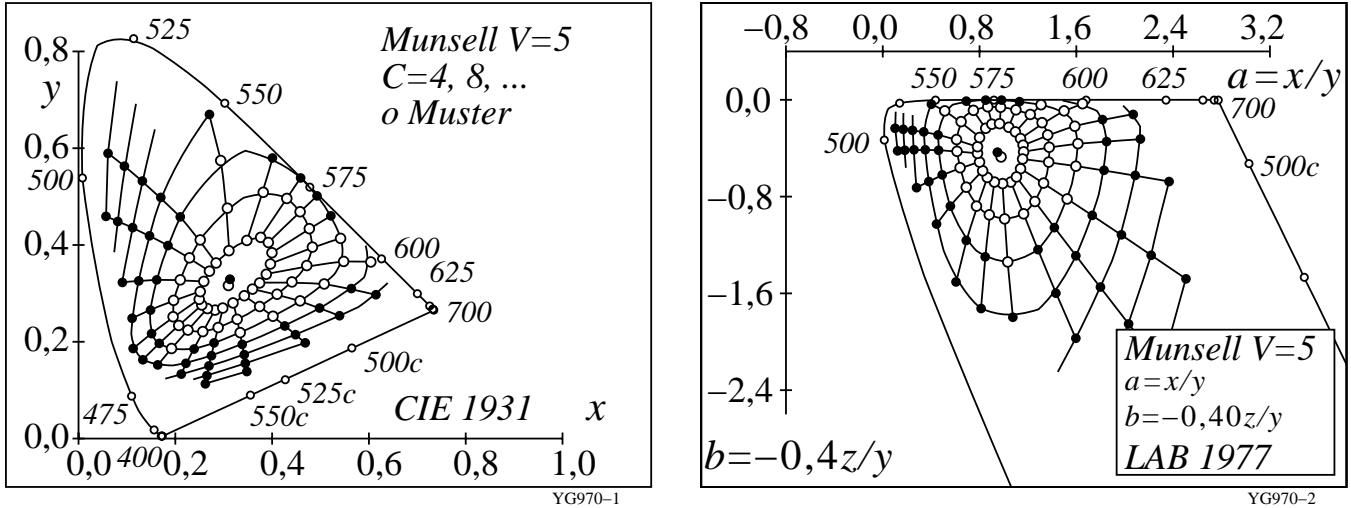
<http://www.ps.bam.de/ZG20/10L/L20G00NP.PDF>

Es gibt verschiedene Beispiel-Gleichungen

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

### 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 den Stufungen in *Munsell*- und/oder *OSA*-Farbordnungssystemen. CIELAB basiert auf dem *Munsell*-Farbsystem und es gibt eine Veröffentlichung von Richter (1980) mit Farb reproduktionen 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	$b = -0,4 [ Z / Y ] = -0,4 [ z / y ]$	<b>P / (P+D)</b>
radial	$c_{ab} = [ ( a - a_n )^2 + ( b - b_n )^2 ]^{1/2}$	<b>T / (P+D)</b>

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 eine lineare Beziehung zu den Normfarbtafel-Koordinaten x und y haben. Die Buntwerte A und B können berechnet werden, wenn der Hellbezugswert Y mit der Differenz der Farbarte a des Musters und der Farbarte a<sub>n</sub> im Umfeld (n) multipliziert wird.

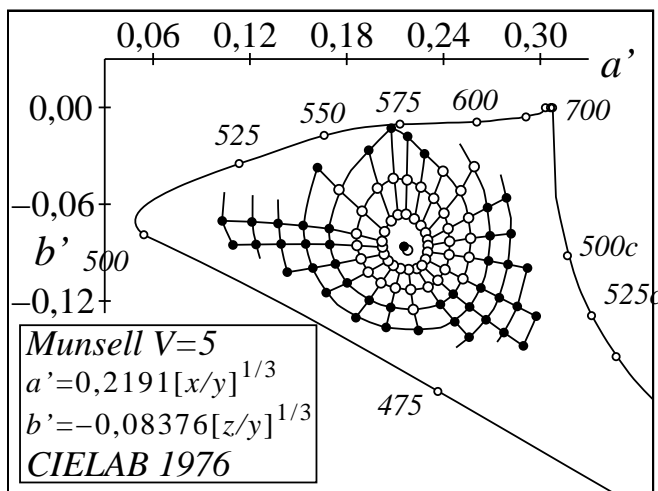
Zusätzlich kann die Farbarte a und b mit den Sättigungen P / (P+D) und T / (P+D) der drei Farbrezeptoren P, D und T oder LMS nach CIE 171-1:2005 verglichen werden. Zum Beispiel in Bild 16 ist das Verhältnis  $Z/Y = z/y = [ (1-x-y) / y ]$  ähnlich wie das Verhältnis  $T / (P+D)$ .

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 <math>a=x/y</math>; <math>b=z/y</math></i>	
Rot-Grün	$a' = (1 / X_n)^{1/3} (x / y)^{1/3}$ $= 0,2191 (x / y)^{1/3}$ für D65	vergleiche mit $\log$ Zapfensättigung
Gelb-Blau	$b' = -0,4 (1 / Z_n)^{1/3} (z / y)^{1/3}$ $= -0,08376 (z / y)^{1/3}$ für D65	$\log[P / (P+D)]$ $\log[T / (P+D)]$
radial	$c'_{ab} = [ (a' - a'_n)^2 + (b' - b'_n)^2 ]^{1/2}$	

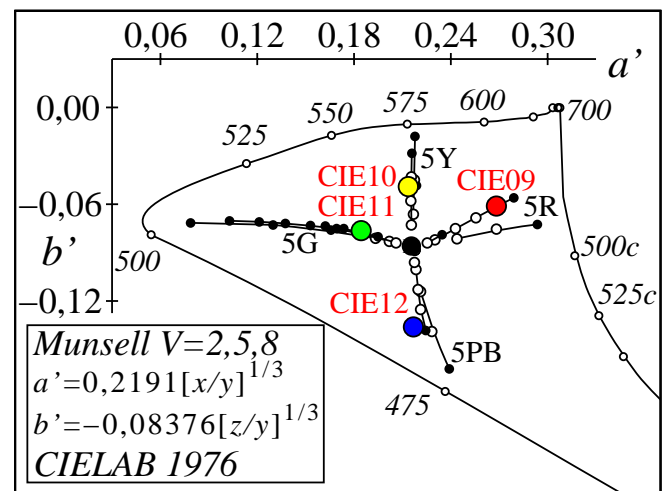
YG970-7

**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<sup>1/3</sup>) des Musters. Diese Berechnungsart ist ähnlich wie im Farbenraum CIELUV 1976. 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)<sup>1/3</sup> = (z/y)<sup>1/3</sup> = [ (1-x-y) / y ]<sup>1/3</sup> sind ähnlich wie log [ T / (P+D) ].



YG970-3



YG970-4

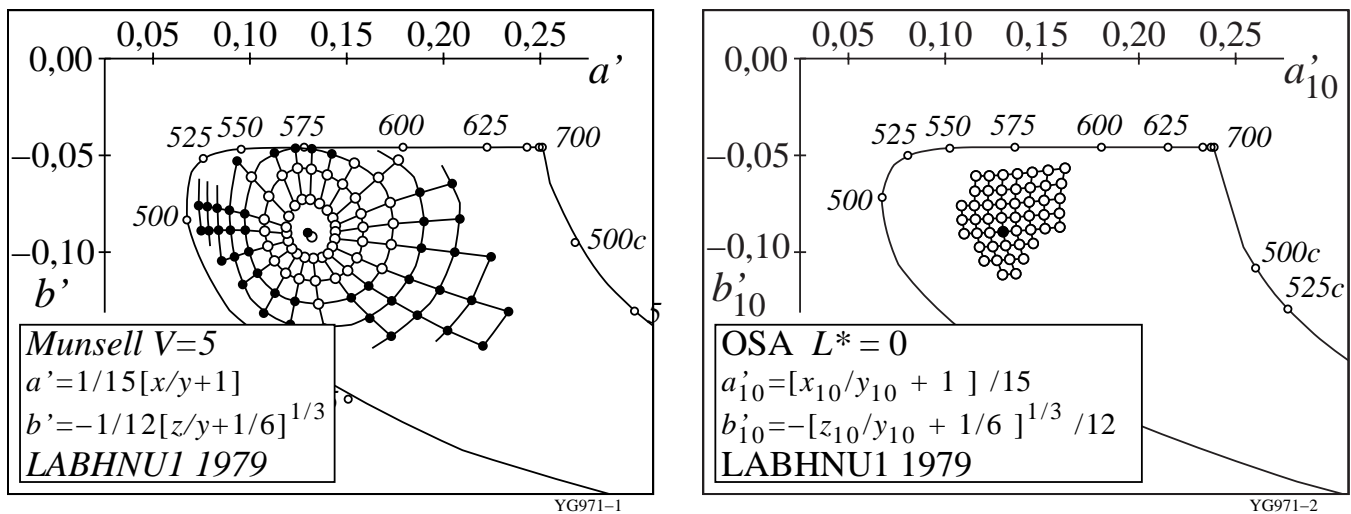
**Bild 18 – Reale und extrapolierte Muster des Munsell-Farbsystems (Value 5) in (a', b')**

Bild 18 zeigt reale (o) und extrapolierte Muster (•) des Munsell-Farbsystems für Value 5 in der *nicht-linearen* Farbarttafel (a', b') (*links*) und die Elementaruntöne 5R, 5Y, 5G und 5PB des Munsell-Farbsystems für Value 2, 5, und 8 in der *nicht-linearen* Farbarttafel (a', b') (*rechts*). Zusätzlich sind die vier CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 von CIE 13.3 dargestellt. Diese Farben dienen als Elementarfarben im Gebiet der Informationstechnik, siehe Richter (2007). Die CIELAB-Daten der vier Elementarfarben wurden 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 und in DIN 33866-2 und ISO/IEC 15775 als Referenzfarben für die Drucker- und Monitorausgabe sowie die Scannereingabe.

In Bild 18 (*rechts*) liegen die Elementarfarben Gelb J und Blau B 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.

DIN 33872-1 bis -6 benutzt die *geräteunabhängige* Lage der CIELAB-Bunttonwinkel der Elementarfarben und erhöht so 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 Ausgabe-Skalierung, 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. Optimalfarben sind durch rechteckförmige Reflexionskurven definiert.

### 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 mit Oberflächenfarben. Die gelbe Normdruckfarbe *Y* liegt angenähert auf dem Spektralfarbenzug der Farbtafeln ( $x, y$ ), ( $a, b$ ) und ( $a', b'$ ). Die Normfernsehfarbe Gelb *Y*, die aus den Gerätefarben Orangerot *O* und Laubgrün *L* gemischt wird, liegt viel mehr im Innern. Zum Beispiel für einen Fotodrucker ergibt sich für den gelben Buntton die CIELAB-Buntheit  $C^*_{ab} = 115$  und für den Norm-Monitor TLS18 die CIELAB-Buntheit  $C^*_{ab} = 60$ . Anstelle des Verhältnisses 115/60 ergibt sich in LABHNU1 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 für gesättigte grüne Farben 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 Elementarbunton Blau *B* und der Elementarbunton Rot *R* zeigen in CIELAB eine Bunttonwinkelverschiebung als Funktion der Helligkeit der Farbmuster. Wenn wir zum Beispiel die Elementarfarbe *B* mit dem CIELAB-Bunttonwinkel  $h_{ab} = 272$  Grad und eine dunklere und hellere Farbe mit gleicher Farbart betrachten, so sieht das hellere Muster rötlich und die dunklere Muster grünlich aus im Vergleich zum Elementarblau.

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, 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 Farbabstands-Berechnung mit der Formel CIE DE2000 von CIE 142 nicht anwendbar. Der Anwendungsbereich von CIEDE2000 wird zur Zeit in CIE TC1-63 „Validity of CIEDE2000“ mit *K. Richter* als Vorsitzenden untersucht.

### Anwendungsgrenzen von CIELAB für verschiedene Lichtarten

CIE 15 definiert zwei Normlichtarten D65 (Tageslicht) und A (Kunstlicht oder angenähert Glühlampenlicht) und andere Lichtarten, zum Beispiel D50, D55 und D75 definiert. Für das Gebiet der Normung empfiehlt CIE 15 eine der beiden Normlichtarten D65 oder A. Im Bürobereich entsteht angenähert die Normlichtart D65 durch Tageslicht. CIE

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

TC1-66 definiert zur Zeit ein „Indoor daylight“, das die Absorption des technischen Fensterglases berücksichtigt. Fensterglas absorbiert insbesondere im UV. Es gibt nur kleinere Änderungen der spektralen Strahlung im sichtbaren Bereich, welche die Normfarbwerte nur unwesentlich verändern.

Nach DIN 18599-4 ist in der EU für jedes neue Bürogebäude ein Energiepaß erforderlich. Tageslichtnutzung mit genügend großen Fenstern und nicht zu großen Raumtiefen begünstigt die Energieeinsparung. Nach IEC 61966-2-1 sind die Standardmonitore für Weiß auf die Farbart D65 eingestellt. Wenn die Normbeleuchtungsstärke 500 lux im Büro erzeugt wird, erfordert die Einstellung auf D50 in der Regel eine um 20% bis 30% höhere elektrische Energie. Deshalb ist die Farbart D50 am Monitor nicht geeignet um Energie zu sparen. Deshalb wird im Bürobereich für den Vergleich Hardcopy – Softcopy aus vielen Gründen die Normlichtart D65 empfohlen.

In DIN 33866-1 und ISO/IEC 15775 wird die Normlichtart D65 in allen Stufen benutzt: für die Definition der Farben der analogen Prüfvorlagen, für die Herstellung, für die visuelle Beurteilung und für die farbmetrische Kennzeichnung vorgeschrieben.

### D65 und D50 in Normen

ISO TC 130 (Graphische Technologie) hat aus anderen 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 verglichen werden, die oft bei Tageslicht D65 beurteilt werden. Für diesen Vergleich diente D50 als Kompromiß, da diese Lichtart angenähert in der Mitte zwischen den Normlichtarten A und D65 liegt.

Im Drucksaal ist am Arbeitsplatz die Tageslichtnutzung wegen der erforderlichen großen Raumtiefen für die großen Druckmaschinen (ohne Oberlichter) nicht anwendbar und zu variabel. Daher sind künstliche Lichtquellen in einer Abmusterungskabine mit definierten Eigenschaften der Lichtquellen erforderlich. Die Lichtquellen in Abmusterungskabinen enthalten die Normlichtarten D65 und A sowie die Lichtart D50 von ISO TC 130.

Die Lichtart D50 liefert nur halb so viel Strahlung im Bereich um 400 nm verglichen mit D65. Zum Beispiel verändert diese unterschiedliche Strahlung die Farbe von weißem Papier oder von Fotopapier, die beide optische Aufheller enthalten. Diese Farbänderung durch Fluoreszenz beträgt oft 10 CIELAB bei D65 und 5 CIELAB bei D50. Diese Farbänderung durch Fluoreszenz können fast alle Standard-Geräte der graphischen Industrie nur ungenau messen, vergleiche CIE 163. Diese Änderungen beeinflussen jedoch wesentlich des 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 beschreibt Möglichkeiten der verbesserten Farbmessung von fluoreszierenden Büro-Papieren mit Meßgeräten, die zum Beispiel Quarzoptik anstelle von Kunststoffoptik enthalten. Eine verbesserte Meßmethode für Bilder 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-Farbabmusterungs-Leuchte erforderlich.

### Probleme in 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. Eine Toleranz ist in CIE 15 nicht definiert.

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 wird eine andere Farbumstimmungsformel zum Test vorgeschlagen. Nach CIE 160 ist die „von Kries-Farbumstimmungsformel“ von CIELAB weniger geeignet. 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, falls D50 aus bestimmten Gründen benutzt werden muß.

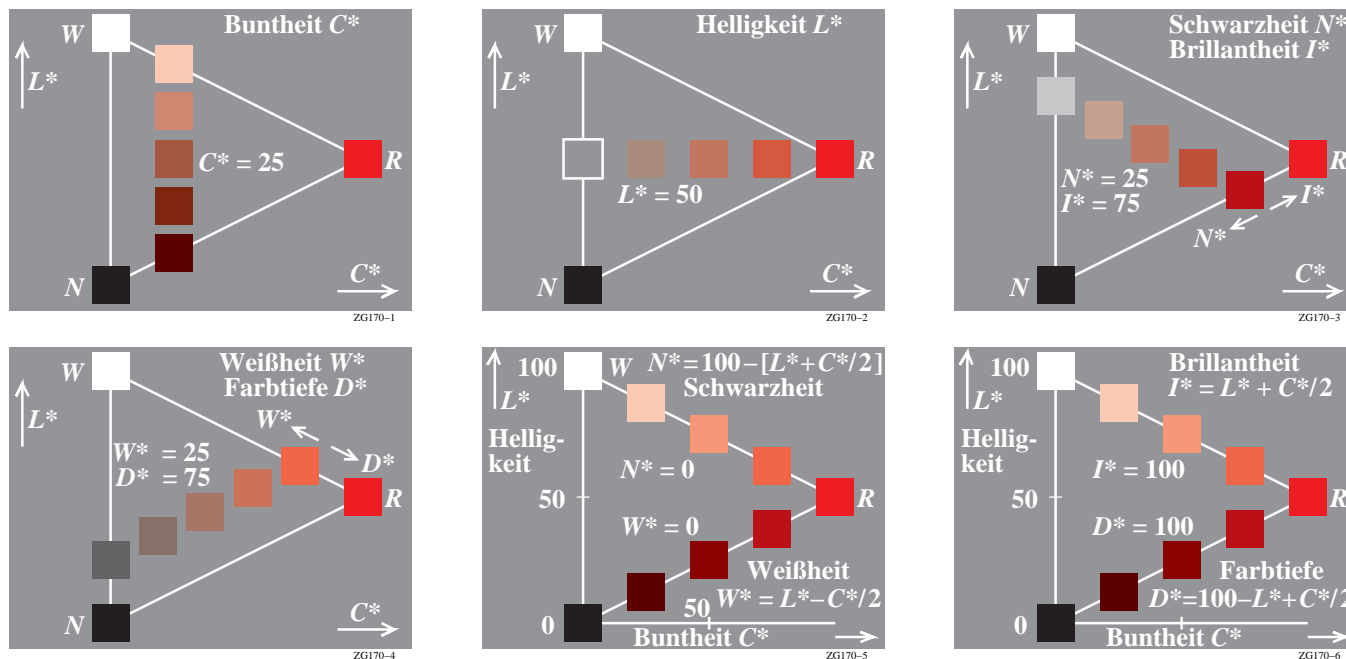
### Relative Farbbildwiedergabe bei D65 und D50

Die Normenreihe DIN 33872 benutzt die Normlichtart D65 und entspricht damit vollkommen den Empfehlungen von CIE 15. In Abschnitt 13 ergeben die Auswertungen der Farbstufungen, die alternativ CIELAB für D65 und für D50 benutzen, daß die *relative* gleichabständige Stufung unter D65 zugleich eine *relative* gleichabständige Stufung unter D50 liefert. Diese Eigenschaft ist erfüllt, wenn die visuelle Toleranz von 3 CIELAB erlaubt wird, die in ISO/IEC 15775 für Farbkopierer definiert ist. Daher entsprechen die visuellen Ausgabe-Eigenschaften unter D65 zugleich den Eigenschaften unter D50. Deshalb besteht keine Notwendigkeit der zusätzlichen Auswertung für die Lichtart D50 im Bürobereich, vergleiche die Berechnungen für D65 und D50 (24 Seiten, 500 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg19/10/L19g00NP.PDF>



## 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:

$$N^* = 100 - I^* \quad (1)$$

$$W^* = 100 - D^* \quad (2)$$

und die Dreiecksgleichung nach Ostwald (1930)

$$N^* + W^* + C^* = 100 \quad (3)$$

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

$$N^* = 100 - [L^* + 0,5 C^*] \quad (4)$$

$$W^* = L^* - 0,5 C^* \quad (5)$$

Nahezu alle farbmetrischen Farbsysteme benutzen drei Farbmerkmale zur Kennzeichnung von Farben. Nahezu 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 in allen Teilen jeweils *separate* Farbmuster auf grauer Umgebung. In vielen Fällen werden auch *aneinandergrenzende* Farbmuster auf grauer Umgebung dargeboten. In beiden Fällen wird der Farbabstand betrachtet und als wesentliches Merkmal in der Reproduktion beurteilt.

Für die beiden Sehsituationen separate und aneinander grenzende Farbmuster hat die Farbmetrik verschiedene Metriken zur Beschreibung des Farbabstands entwickelt. Im Fall für *separate* Farbmuster erscheint die CIELAB-Farbabstandsformel von 1976 nach CIE 15 mehr angemessen und im Fall *aneinandergrenzende* Farbmuster die Farbabstandsformel CIEDE2000 nach CIE 142.

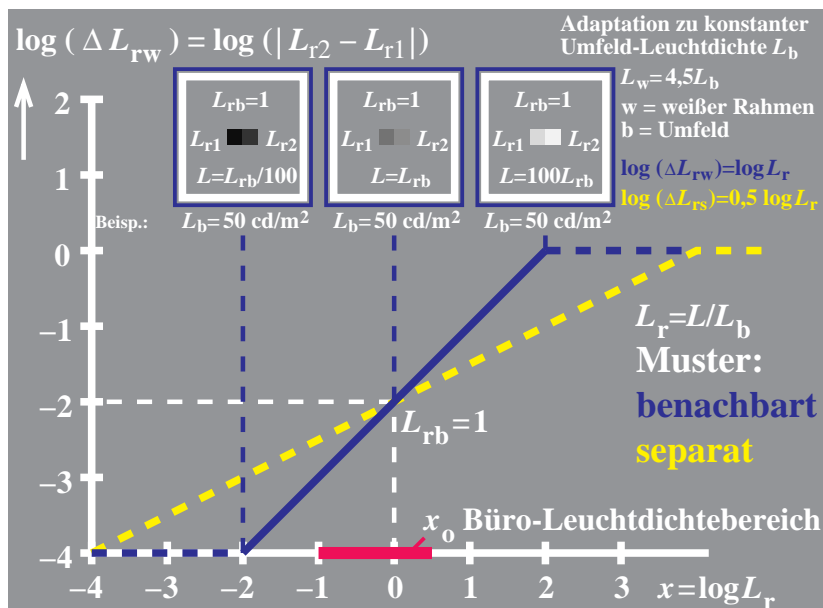
Die Gründe für die erforderlichen unterschiedlichen Metriken zur Beschreibung der experimentellen Ergebnisse sind bisher noch weitgehend ungeklärt. CIEDE2000 wird für kleine industrielle Farbabstände von aneinandergrenzenden Farben im Bereich  $0 \leq \Delta E^*_{ab} \leq 5$  empfohlen. Für das Munsell-Farbsystem betragen die Farbabstände der Farbmuster angenähert  $\Delta E^*_{ab} = 10$  sowohl in Buntheits- als auch Helligkeitsrichtung in jeder Bunttonebene. Deshalb erscheint im allgemeinen CIELAB mehr geeignet für große Farbabstände und CIEDE2000 für kleine Farbabstände. Deshalb erscheint CIELAB mehr geeignet für separate Farbmuster auf grauer Umgebung und CIEDE2000 mehr für aneinandergrenzende Farben in einem mittelgrauen Umfeld.

Das folgende farbmetrische Modell beschreibt *unbunte* Farbschwellen für die Sehsituationen separat und aneinandergrenzend. Anschließend wird das Modell auch für *bunte* Farbschwellen erweitert.

Zuerst wird das Gesetz von *Weber-Fechner* zur Beschreibung der Farbschwellen für *unbunte aneinandergrenzende* Farben wiederholt. Dann wird das Gesetz von *Stevens* (1961) zur Beschreibung der Farbschwellen wiederholt, das

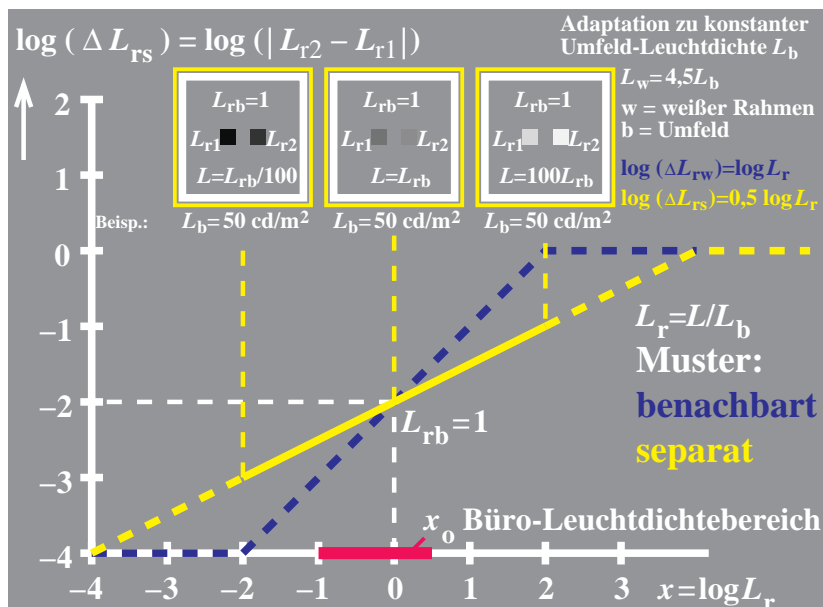
## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

die Farbstufung von unbunten *separaten* Farben betrachtet. Anschließend werden beide Gesetze in einem neuen farbmetrischen Modell zunächst für *unbunte aneinandergrenzende* und *separate* Farben vereinigt. Anschließend werden auch *bunte aneinandergrenzende* und *separate* Farben betrachtet.



**Bild 21 – Weber-Schwellen  $\Delta L_{rw}$  und relative Leuchtdichte  $L_r$  von aneinandergrenzenden unbunten Farben**

Bild 21 zeigt die Weber-Fechner Schwellen  $\Delta L_{rw}$  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 mit gelben unterbrochenen Linien gezeigt.



**Bild 22 – Stevens-Schwellen  $\Delta L_{rs}$  und relative Leuchtdichte  $L_r$  von separaten unbunten Farben**

Bild 22 zeigt die Stevens-Schwellen  $\Delta L_{rs}$  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 mit blauen unterbrochenen Linien gezeigt.

Die Vereinigung der Gesetze von Weber-Fechner und Stevens wurde von Richter (2006c) in einem Modell beschrieben. Ein einfache Erklärung wird im folgenden dargestellt.

Das Farbsehen ist ein Konturensehen 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:

1. aneinandergrenzende Farbmuster:

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

2. separate Farbmuster und wegen  $L_{rb} = 1$ :

$$\log L_{ra} = 0,5 (\log L_r + \log L_{rb}) = 0,5 \log L_r \quad (\text{wegen } L_{rb} = 1) \quad (7)$$

Bild 21 zeigt eine *lineare* Beziehung mit der Steigung 1 für die *Weber-Leuchtdichte-Differenz*  $\Delta L_{rw}$

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

Bild 22 zeigt eine *lineare* Beziehung mit der Steigung 0,5 für die *Stevens-Leuchtdichte-Differenz*  $\Delta L_{rs}$

$$\log \Delta L_{rs} = 0,5 \log L_r \quad (9)$$

Mit den Gleichungen (6) und (7) gibt es eine Kombination der Gesetze von *Weber-Fechner* und *Stevens*, die zu einem *linearen* Modellbeziehung für bei Betrachtungssituationen *aneinandergrenzend* und *separat* führt.

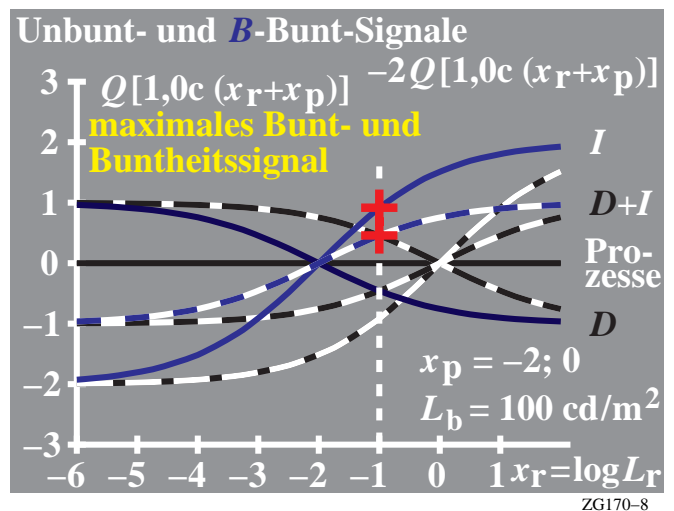
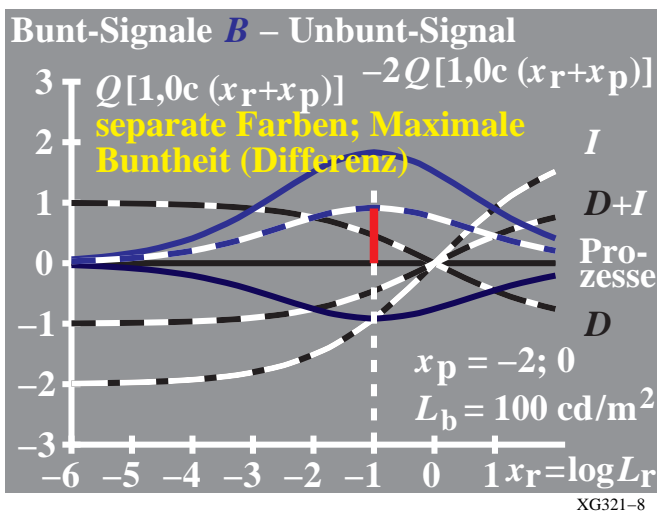
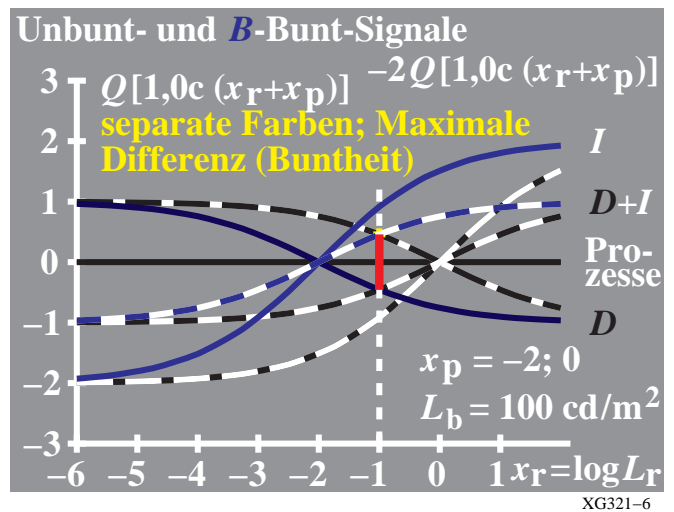
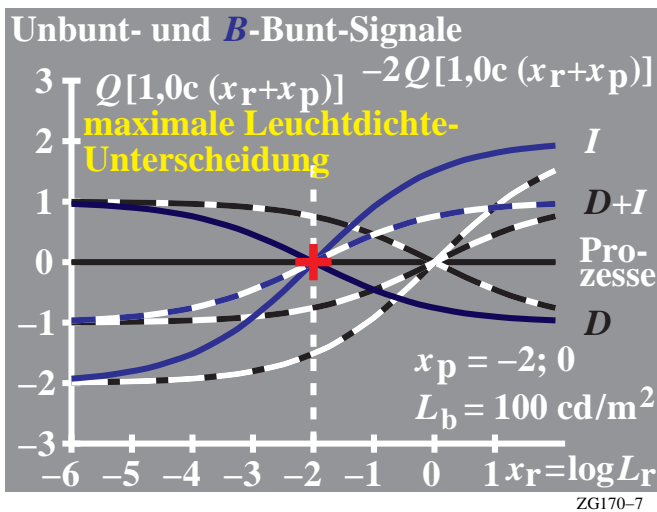
$$\log \Delta L_r = \log L_{ra} \quad (10)$$

oder mit einer linearen Gleichung

$$\Delta L_r = \text{const } L_r \quad (11)$$

Im folgenden werden diese Ergebnisse auch auf bunte Farben angewendet. Eine Beschreibung des Farbmerkmals gleiche Schwarzheit  $N^*$  wird erzeugt unter Benutzung der relativen Leuchtdichte  $L_r$  und der Sättigung (*purity*)  $p$ .

Untersuchungen von Evans (1974) und physiologische Modelle des Farbensehens scheinen anzuzeigen, 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. Das ist ein Grund für die Bevorzugung der Schwarzheit  $N^*$  anstelle der Helligkeit  $L^*$  im NCS-Farbsystem.



## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

### Bild 23 – Unbunt- und Buntsignale für unbunte und blaue Farben

Bild 23 zeigt Unbunt- und Buntsignale als Funktion der relativen Leuchtdichte  $L_r$  für sowohl unbunte Farben als auch blaue Spektralfarben mit der Sättigung  $p = 100$  (oder  $x_p = -\log p = -2$ ).

Nach Valberg (2005) gibt es drei Prozesse:  $I$  (Increment),  $D$  (Decrement) und einen Summenprozeß ( $D+I$ ). Für unbunte Farben werden die Signale in Schwarz und Weiß gezeigt. Für eine blaue Spektralfarben sind die Signale in blau dargestellt. Die Signale für die blaue Spektralfarbe sind um zwei logarithmische Einheiten nach links verschoben.

Für unbunte Farben liegt daher das Maximum der Leuchtdichte-Unterscheidung (maximale Differenz der Signale des  $I$ -Prozesses) bei der grauen Umfeldleuchtdichte  $L_{rb} = 1$ . Für die blaue Spektralfarbe ist die maximale Leuchtdichte-Unterscheidung um zwei logarithmische Einheiten nach links verschoben (*oben links*).

Bild 23 zeigt weiter eine Markierung bei der größten Differenz zwischen den blauen und unbunten Signalen (*oben rechts*) für den  $D+I$ -Prozeß, der für alle relativen Leuchtdichten (*unten links*) berechnet wird. Die Differenz kann als Buntheitssignal interpretiert werden. Zwei Markierungen zeigen die relative Leuchtdichte der maximalen chromatischen und Buntheitssignale für den  $I$ - und  $D+I$ -Prozeß (*unten rechts*). Das Modell berechnet die Differenz der beiden Signale für die blauen und unbunten Farben für jede relative Leuchtdichte. Für den  $I$ - und  $D+I$ -Prozeß ist das Maximum der chromatischen und Buntheits-Signale nur eine logarithmische Einheit (und nicht zwei) nach links verschoben (*unten rechts*), siehe Richter (2006c).

Unter den Körperfarben gibt es nur sehr dunkle blaue Spektralfarben von hoher Sättigung ( $p = \text{purity}$ ). Die mehr bunten blauen Oberflächenfarben haben ein 10fach kleinere Sättigung verglichen mit der Spektralfarbe. Wegen 4% Oberflächenreflexion für alle matten Körperfarben ergeben sich im grauen Umfeld mit der Reflexion 20% relative Leuchtdichten von Blau von 20% (4% von 20%). Daher sind die im Bild 23 dargestellten Eigenschaften für blaue Farben mit 1% relativer Umfeldleuchtdichte mit Farbmustern nicht nachprüfbar. Nur optische Geräte mit Lichtern oder Farblaser sind für diesen Test geeignet.

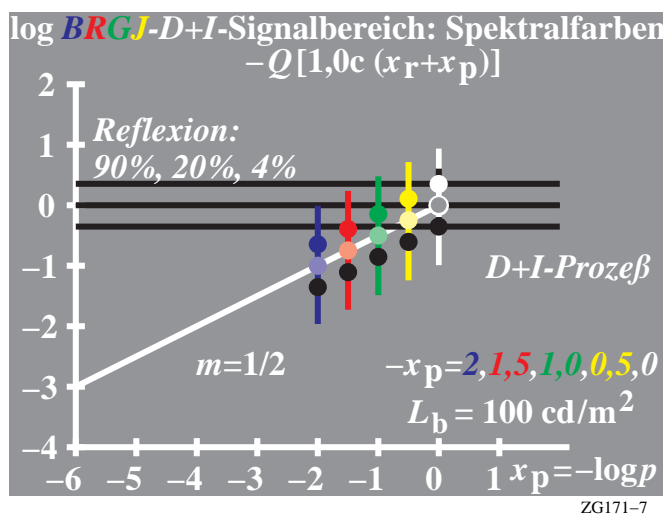
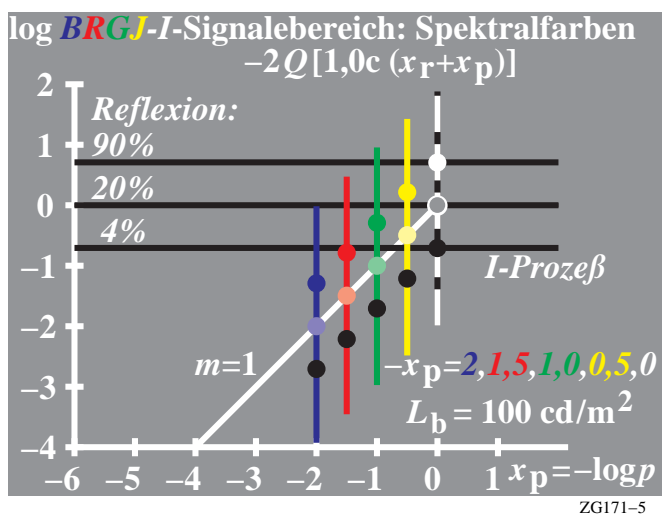
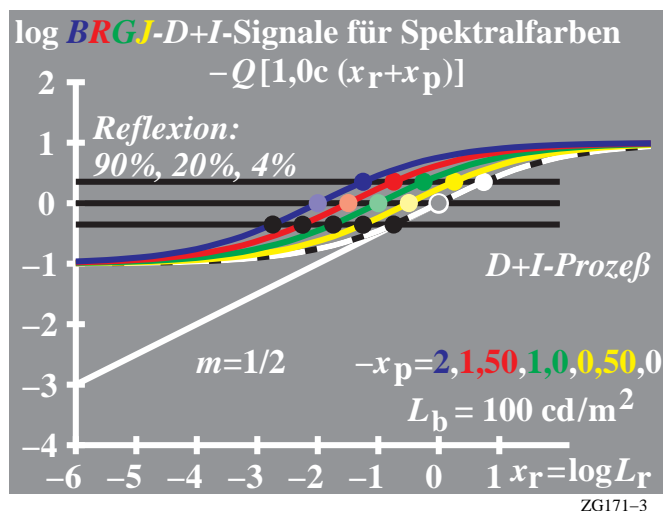
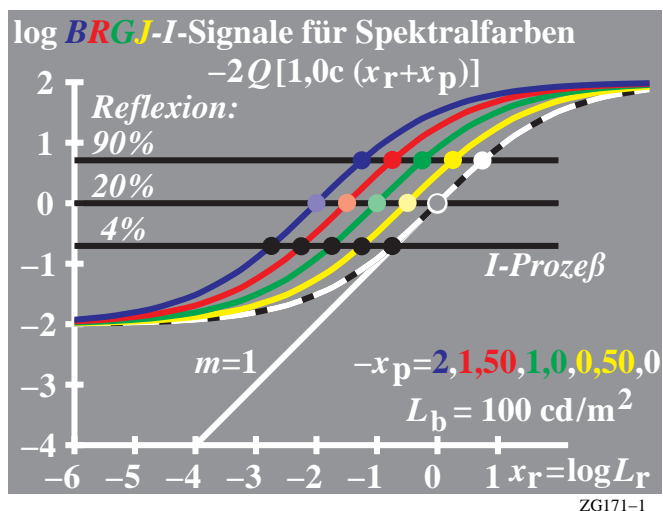


Bild 24 – Physiologische Signale Änderungsbereich der relativen Leuchtdichte und Sättigung

Bild 24 zeigt physiologische Signale mit der Steigung  $m=1$  (*Weber Fechner-Gesetz*) und mit der Steigung  $m = 0,5$  (*Stevens-Gesetz*), siehe oben links und rechts. Ein Modell zur Vereinigung der beiden Gesetze von *Weber-Fechner* (*Fechner*:1860) und *Stevens* (1961) für die unbunte Farbreihe Schwarz – Grau – Weiß wurde von *Richter* (2006c) entwickelt. Dieses Modell führt zu den Gleichungen (10 und 11). Dieses Modell für unbunte Farben wird hier erweitert für bunte Farbserien zwischen Schwarz und den Farben Gelb, Grün, Rot und Blau. Die Sättigung  $p$  dieser Serien erhöht sich von  $p = 1$  nach  $p = 100$ . Mit einer logarithmischen Skala liegt der Bereich von  $x_p$  zwischen  $-2$  und  $0$ , siehe Bild 24.

Bild 24 zeigt die 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  $m=0,5$  nahe der Umfeldleuchtdichte. Das ist bereits aus den Bildern 21 bis 23 bekannt. Zusätzlich sind hier die Sättigungs-Signale für sehr kleine und große relative Leuchtdichte beschrieben, vergleiche *Richter* (1996). Der relative Leuchtdichtebereich ist mehrere logarithmische Einheiten größer verglichen mit dem relativen Leuchtdichtebereich, der im Büro benutzt wird, vergleiche Bild 21 und 22.

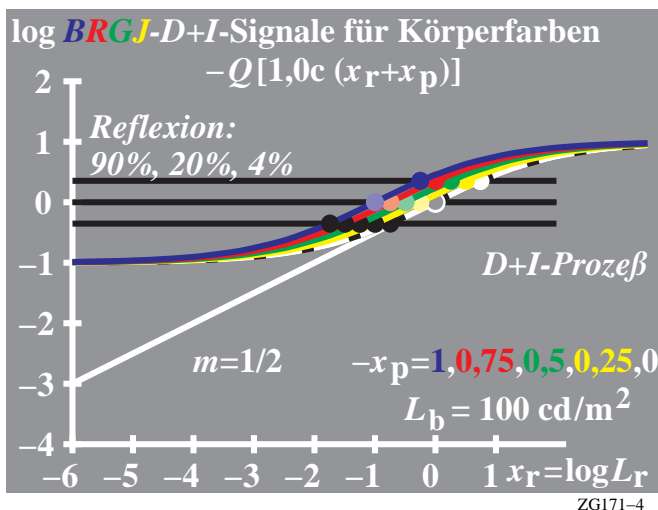
Es ist zum Beispiel von der Farbmetrik des Farbenraums CIECAM02 (CIE Publ. 159) bekannt, daß die physiologischen Signale als Funktion der abnehmender Umfeldleuchtdichte kleiner werden. Ähnlich werden die Signale für zunehmende Umfeld-Leuchtdichte größer. Die Differenz zwischen Maximum und Minimum nimmt mit dem Exponenten  $1/6$  als Funktion der Umfeldleuchtdichte ab, vergleiche *Richter* (1996).

Es ist in der Farbmetrik weniger bekannt, daß sich die physiologischen Signale von Spektralfarben mit der Farbsättigung  $p$  nach links verschieben. Die Sättigung  $p$  erhöht sich von Weiß zu den Spektralfarben zwischen dem Wert 1 und einem Maximalwert, der von der Sättigung  $p$  der Spektralfarbe Blau abhängt. Das farbmetrische Experimentelle Ergebnis von *Evans* (1974) führt bei achromatischen Farben zu einem Sättigungswert von 1 und für bunten Spektralfarben zu den Sättigungswerten 2 für gelbe, 10 für grüne, 20 für rote und 100 für blaue Spektralfarben.

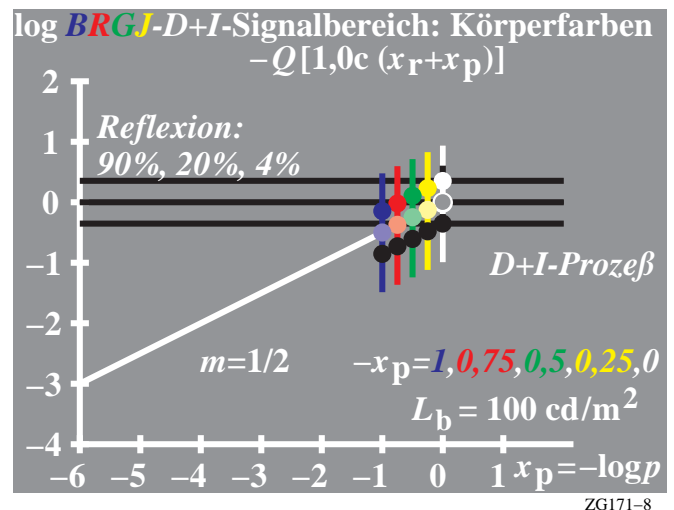
Die Sättigungs-Verschiebung um zwei logarithmische Einheiten für eine blaue Spektralfarbe ist in allen Teilbildern von Bild 24 dargestellt. In den unteren beiden Bildern wird anstelle von  $x_r = \log L_r$  die Variable  $x_p = -\log p$  benutzt.

Die lokale Adaptations-Leuchtdichte hat den Wert  $1/100$  für blaue *aneinandergrenzende* Spektralfarben. Für die spektralen separat liegenden blauen Farben in einer grauen Umgebung hat die relative Adaptations-Leuchtdichte nur den Wert  $1/10$  verglichen mit der Adaptationsleuchtdichte der Umgebung.

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*).



ZG171-4



ZG171-8

### 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  $p$  für blaue Spektralfarben hat angenähert den Wert 100. Für  $x_p$  ergibt sich mit  $x_p = -\log p$  der Wert  $-2$ , vergleiche Bild 24. Für blaue Körperfarben erreicht die Sättigung  $p$  höchstens den Wert 10. Für  $x_p$  ergibt sich mit  $x_p = -\log p$  der Wert  $-1$ , vergleiche Bild 25. Die Verschiebungen mit der relativen Leuchtdichte ( $L_r$ ) und der Sättigung ( $p$ ) sind in Bild 25 für Blau und andere 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

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

solche Reihe gilt nach Bild 25 (*unten rechts*):

$$\log L_{ra} = 0 \text{ für } \log p = 0 \quad (12)$$

und daher

$$\log L_{ra} = -0,5 \log p = 0,5 x_p \quad (13)$$

und mit

$$\log L_{ra} = 0,5 (\log L_r + \log L_u) = 0,5 \log L_r \quad (14)$$

folgt

$$\log L_r = -\log p \quad (15)$$

oder

$$L_r = 1 / p \quad (16)$$

Damit sind die relativen Leuchtdichten  $L_r$ , die wir hier im Modell als Farben gleicher Schwarzheit  $N^* = \text{konstant}$  interpretieren, umgekehrt proportional der Sättigung  $p$ . 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:

$$N^* = 100 - (L^* + 0,5 C^*_{ab,a}) \quad (17)$$

Die Helligkeit beträgt für die Schwarzheit  $N^*=0$

$$L^*_{N^*=0} = 100 - 0,5 C^*_{ab,a} \quad (18)$$

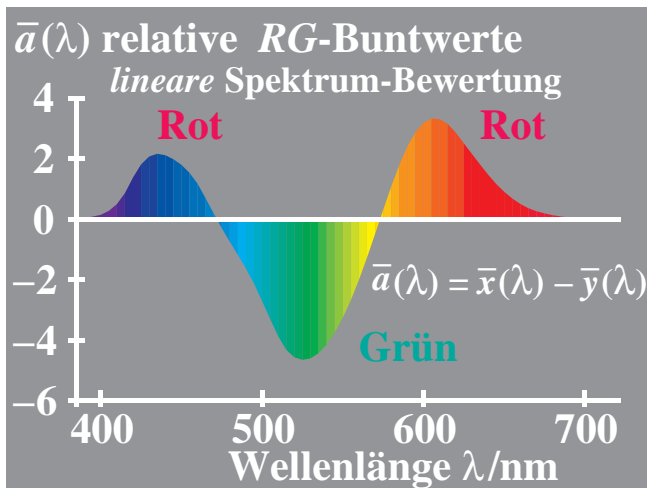
Die Helligkeit beträgt für die Schwarzheit  $N^*=50$

$$L^*_{N^*=50} = 50 - 0,5 C^*_{ab,a} \quad (19)$$

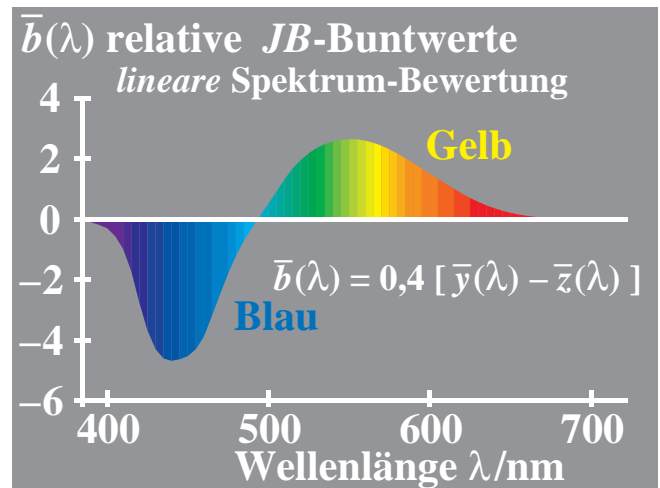
Es war das Ziel des Modells, die ausgezeichnete Stellung der Farben gleicher Schwarzheit  $N^*$  im Vergleich zu den Farben gleicher Helligkeit  $L^*$  darzustellen. Im NCS-Farbsystem wurde das Farbmerkmal Schwarzheit  $N^*$  ausgewählt anstelle der Helligkeit  $L^*$  des CIELAB-Farbsystem oder der Helligkeit (*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 Buntheit  $C^*_{ab,a}$  ab, vergleiche Gleichung (18) oder (19). Daher ist es für das Farbsehen sinnvoll, den Farben dieser Farbreihen ein besonderes Farbmerkmal zuzuordnen. Dies führt zum Farbmerkmal Schwarzheit  $N^*$ , die in CIELAB durch die einfache Gleichung (4) in Übereinstimmung mit *Evans* (1974) und *Richter* (1980) beschrieben wird. Für den Zusammenhang zwischen den drei Farbmerkmalen Schwarzheit  $N^*$ , Helligkeit  $L^*$  und Buntheit  $C^*$  gilt die Gleichung (4). Der Zusammenhang dieser drei Farbmerkmale ist in Bild 20 dargestellt.

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



XG351-1



XG351-2

**Bild 26 – Elementarbunttöne *BGJ* 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. Die Transformationsgleichungen sind in Bild 26 angegeben. Die Werte der beiden Buntwertfunktionen sind Null bei angenähert den Wellenlängen 475nm, 503nm und 575nm. Die Farben dieser Wellenlängen beschreiben die drei spektralen Elementarfarben Blau *B*, Grün *G* und Gelb *J*.

Die Nullstellen der spektralen Buntwerte entsprechen dem visuellen Kriterium für die Elementarfarben Blau und Gelb als werden rötlich noch grünlich (*links*) oder für die Elementarfarbe Grün als weder bläulich noch gelblich (*rechts*). Für die Elementarfarbe Rot erscheint die Nullstelle, wenn eine geeignete Mischung der beiden Spektralfarben 700nm und 400nm benutzt wird. Diese Mischfarbe liegt in der Normfarbtafel auf der Purpurgeraden. Sie kann durch die bunttongleiche Wellenlänge  $\lambda_c = 498\text{nm}$  im Vergleich zur Farbart D65 beschrieben werden.

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 (Nordhimmel, angenähert D65) ermittelt. Zu dieser Zeit diente für die farbmetrischen Berechnungen die CIE Lichtart C, die in CIE 15 durch die Normlichtart D65 ersetzt wurde. Die CIE-Farbmeßdaten für die CIE Lichtart C sind ähnlich den CIE-Farbmeßdaten für die CIE-Normlichtart D65, falls die Muster nicht fluoreszieren. Alle Muster des *Miescher*-Elementar-Buntonkreises sind fluoreszenzfrei.

**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 Bunton	$X_c$	$Y_c$	$Z_c$	$x_c$	$y_c$
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 den Elementarbunttönen Rot *R*, Gelb *J*, Grün *G* und Blau *B* die Bunttöne mit den *Munsell*-Kennzeichnungen 5R, 5Y, 5G und 5PB. Diese Bunttöne wurden für die CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 (Rot, Gelb, Grün und Blau) in CIE 13.3 („Farbwiedergabe“) ausgewählt.

# Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

Tabelle 6 – *Miescher*-Elementarfarben, *Munsell*-Kennzeichnung und bunttongleiche Wellenlänge

Elementarfarben und Mittelfarben					Munsell-Bezeichnung (Value 5) bunttongleiche Wellenlänge	
Bunton	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). In Tabelle 6 ergeben sich für Blau *B*, Grün *G* und Gelb *J* erneut die bunttongleichen Wellenlängen in der Nähe von 475, 503 und 575nm.

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 und D50 und den 2-Grad-Beobachter									
CIE-Testfarbe	Licht	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>	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 darstellen. Wegen der angenäherten visuellen Farbkonstanz von Oberflächenfarben bei Farbumstimmung von D65 nach D50 sind diese auch angenähert Elementarfarben für die Lichtart D50. 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.

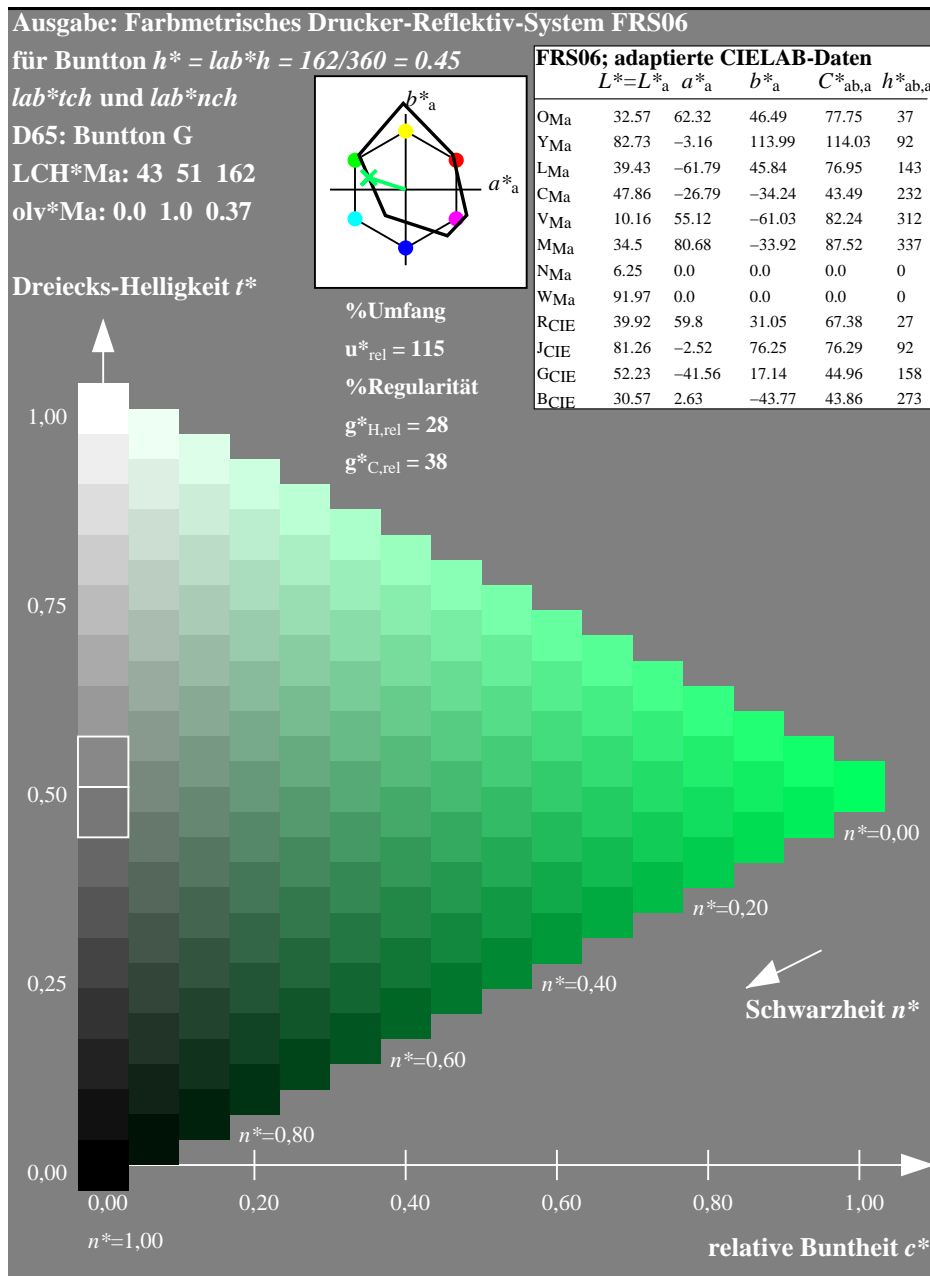
## 11. Bunttongleiche Farbdreiecke mit 16stufigen Farbreihen

In der Bildtechnologie werden die CIELAB-Buntonwinkel  $h_{ab,a} = 26, 92, 162, 272$  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/VG39/10/L39G00NP.PDF>

Die CIELAB-Buntonwinkel  $h_{ab,a}$  werden in der Ausgabe für beides angegeben: die sechs Geräte-Basisfarben  $X = OYLCVM$  (Seite 1 bis 6) und die vier CIE-Elementarbunttöne  $X = RJGB$  (Seite 7 bis 10), die vom Drucker angenähert produziert wurden





**Bild 27 – 16stufige Farbreihen in einem Bunttdreieck mit dem Elementarbunton Grün G**

Bild 27 zeigt die 16stufigen Farbreihen in einem Bunttdreieck mit dem Elementarbunton Grün des CIELAB-Buntonwinkels  $h_{ab,a} = 162$  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 Linearisierungs-Methode, um dieses Ausgabeziel zu erreichen.

Ein Bunttdreieck 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

$$relative\ Weißheit + relative\ Schwarzheit + relative\ Buntheit = 1$$

oder

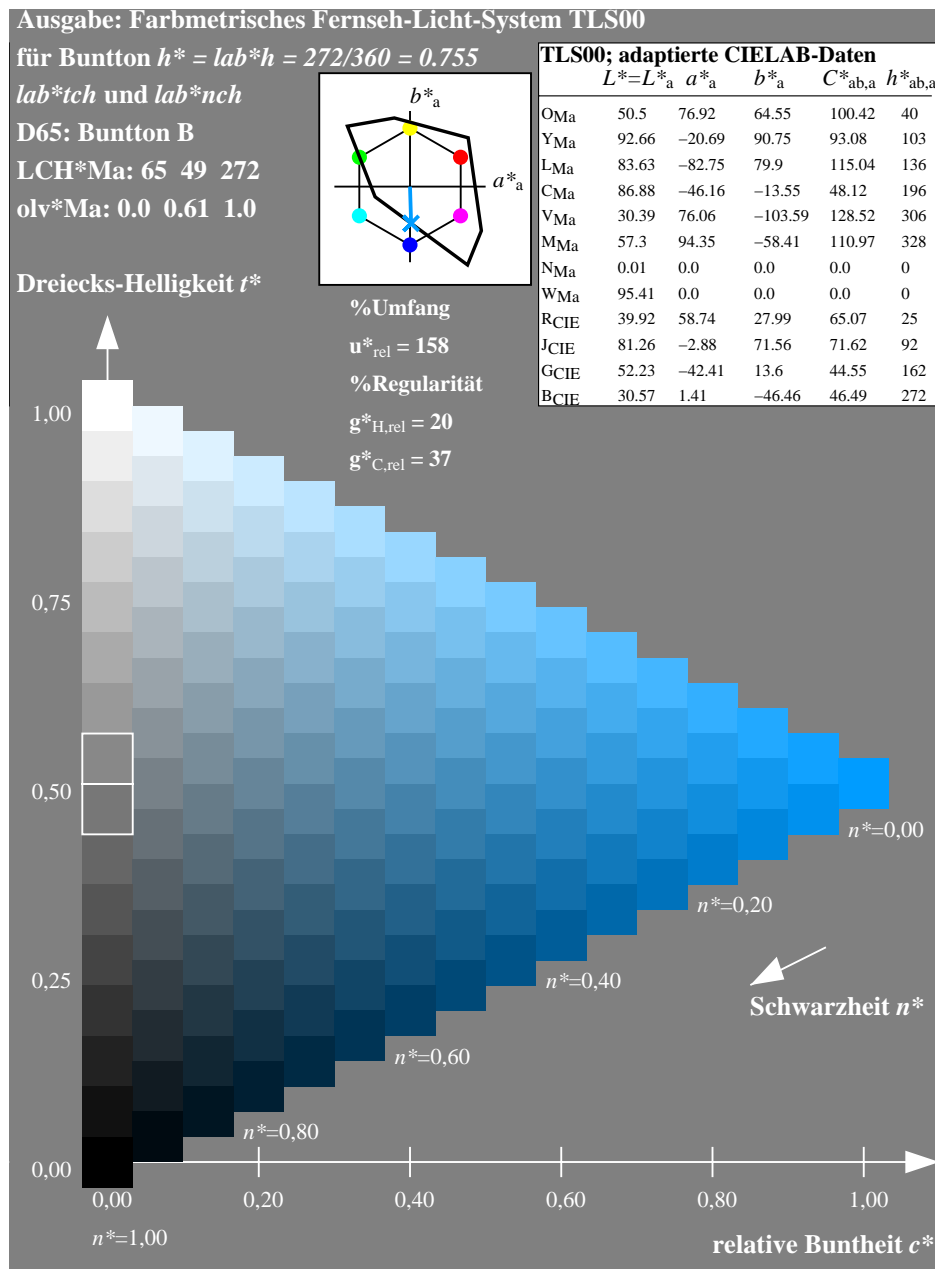
$$w^* + n^* + c^* = 1$$

In einem Bunttdreieck 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: Bunton, Buntheit und Helligkeit (*Value*). Die Definitionen von Dreiecks-Helligkeit  $t^*$  und *relativen* Schwarzheit  $n^*$  in Bild 27 sind verschieden von der Definition der CIE-Helligkeit  $L^*$  und der CIE-Buntheit  $C^*_{ab}$ , siehe Richter (2006a).

Die 16stufigen Farbreihen im Bunttdreieck erfordern zunächst die CIELAB-Daten der sechs bunten Gerätefarben

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

OYLCVM und der zwei unbunten Gerätefarben NM. Die Ausgabe von Elementarfarben erfordert die vier Bunttonwinkel 26, 92, 162 und 272 Grad der vier Elementarfarben *RJGB* in CIELAB. Bild 27 enthält diese Daten als Tabelle (*oben rechts*). Zur Erzeugung von Elementargrün G werden die *rgb*-Eingabedaten 0, 1, 0 als *rgb*\*-Eingabedaten von Elementarfarben interpretiert. Für die Ausgabe der Elementarfarbe Grün G werden die Gerätedaten  $olv^*_{Ma} = 0, 1$  und 0,37 berechnet, vergleiche Daten in Bild 27.



**Bild 28 – 16stufige gleichabständige Farbreihen für Elementarbunton Blau B am Standard-Monitor TLS00**

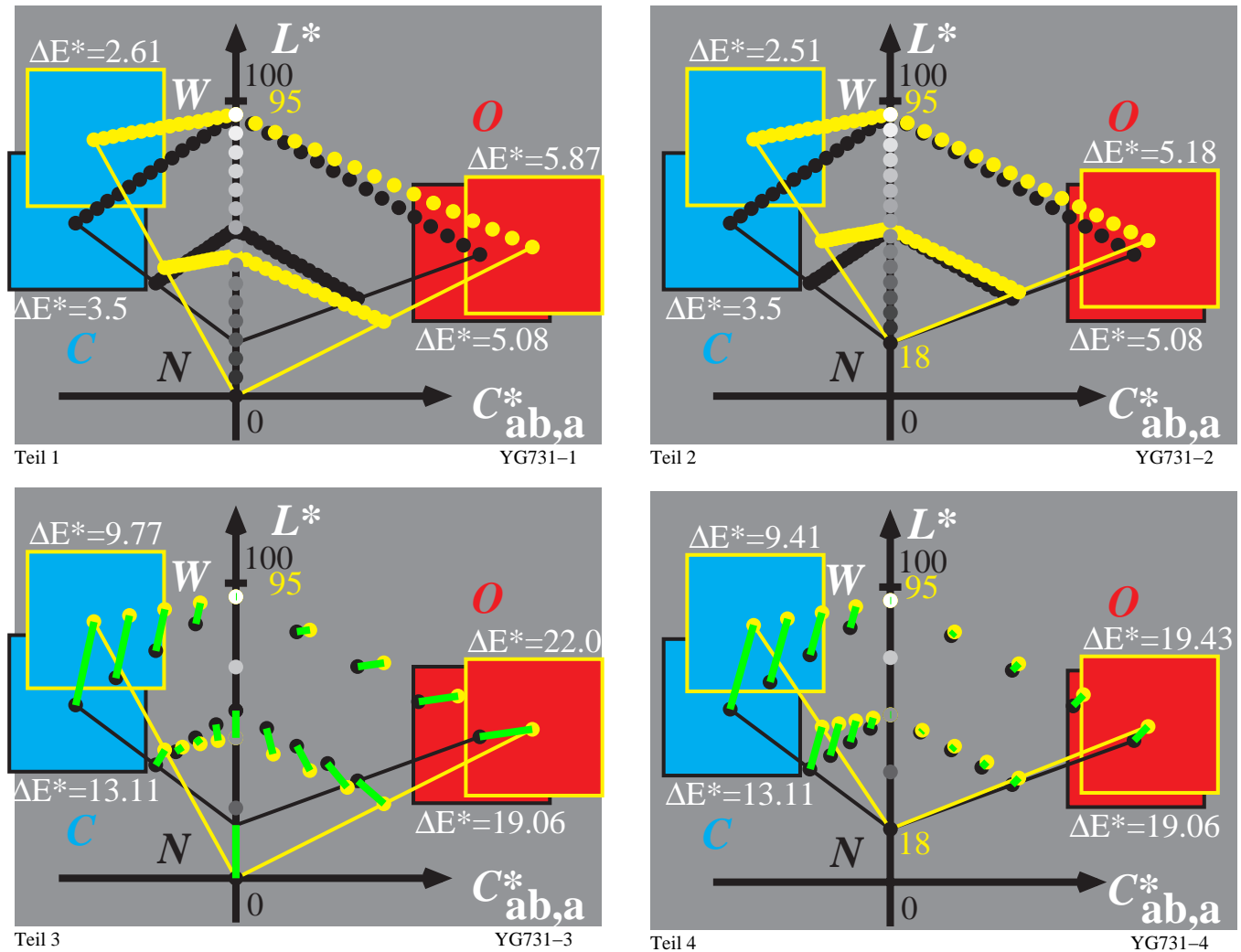
Bild 28 zeigt das Bunttendreieck mit 16stufigen gleichabständigen Farbreihen für den Elementarbunton Blau B des Standard-Monitors TLS00. Für den Standard-Monitor TLS00 werden die *rgb*\*-Koordinaten (0, 0, 1) in *olv*\*-Koordinaten (0, 0,61, 1) mit geeignetem *PostScript*-Programmcode in der PS- bzw.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

Bild 28 zeigt das Standard-Farbensechseck mit den 60 Grad Standard-Bunttonverschiebungen. Zusätzlich sind die Standard-Monitorfarben im Vergleich zu diesem Standard-Sechseck dargestellt. Die Gerätefarbe Violettblau V hat den Bunttonwinkel 306 Grad. Dies ist eine große Bunttonabweichung im Vergleich zu 272 Grad für Elementarblau B. Zur Erzeugung einer gleichabständige Ausgabestufung für Blau B auf dem Monitor wird z. B. die Linearisierungsmethode nach ISO/IEC TR 19797 angewendet. Eine verbesserte Methode wurde von Witt (2006) entwickelt. Diese Methode arbeitet mit einer Farbtabelle, zum Beispiel von den 9x9x9 *rgb*-Eingabefarben und den erzeugten  $L^*a^*b^*$ -Farben. Mit dieser Methode können 16stufige gleichabständige Farbreihen in jedem Bunttendreieck erzeugt werden, also z. B. für die Bunttonwinkel der sechs Gerätefarben OYLCVM und den Bunttonwinkeln der vier Elementarfarben *RJGB*, und zusätzlich für jeden anderen Bunttonwinkel.

In der Anwendung wird die gemessene Gerätetabelle  $rgb - L^*a^*b^*$  in den *PostScript*-Programcode eingetragen, der die Ausgabe dieser Prüfdatei und jeder beliebigen *PS*- oder *PDF*-Datei linearisiert, vgl. ISO/IEC TR 19797. Mit diesem *PostScript*-Code können die  $rgb$ -Eingabedaten jeder *PS*- oder *PDF*-Datei wahlweise als Gerätefarbdaten  $ol^*$  oder als Elementarfarbdaten  $rgb^*$  interpretiert werden. In einer ersten Stufe sind beide Interpretations- und Ausgabe-Methoden für *PostScript*-Vektorcode realisiert und beschrieben, vergleiche Richter (2006b).

## 12. Benutzer-Koordinaten und Farbworkflow

Die Normenreihe DIN 33872 beinhaltet die Ausgabe von digitalen Prüfdateien auf vielen Ausgabegeräten, zum Beispiel auf Monitoren und Druckern für verschiedene Betrachtungssituationen. In jeder Bunttonebene können die Ausgabefarben jedes Gerätes in guter Näherung durch ein Bunttondreieck im CIELAB-Farbenraum mit den Koordinaten adaptierte Buntheit  $C^*_{ab,a}$  und Helligkeit  $L^*$  beschrieben werden. Die folgenden Bilder zeigen komplementäre Bunttönschnitte und übliche Transformaitonen zwischen zwei Geräten in realen Anwendungen.



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

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

Mit der Transformations-Methode von DIN 33872 werden die 16stufigen Reihen durch eine *affine* Abbildung ineinander transformiert. Die Transformation ist eindeutig zwischen zwei beliebigen Bunttondreiecken definiert. Diese Art der Reproduktion hält den Buntton konstant. Jedoch erzeugt sie zum Beispiel für den Buntton Cyan 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 Linien für die 5stufigen Reihen angezeigt. Die Transformationen erscheinen auf den ersten Blick komplex. Jedoch ist die Transformations-Struktur und die Durchführung einfach und eindeutig.

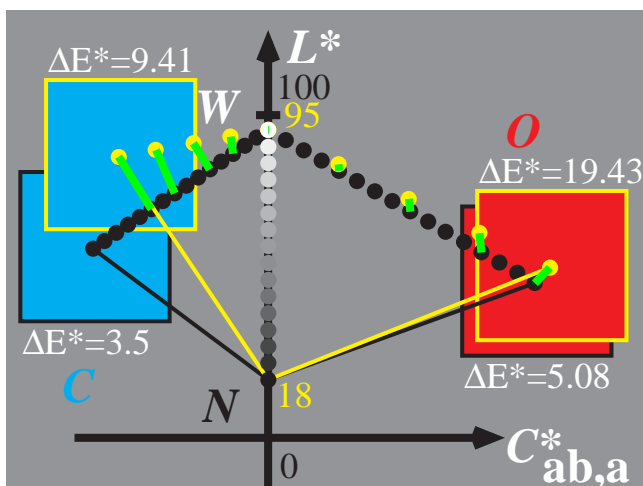
In ISO 9241-306 wird die *affine* Abbildung auch bei unterschiedlichen Reflexionen der Bürobeleuchtung auf der Monitoroberfläche oder dem Datenprojektor-Display angewandt. Wenn zum Beispiel in einem Extremfall die

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

Leuchtdichte des Datenprojektors und die Leuchtdichte der Büros auf der Displayfläche gleich sind, so beträgt der Leuchtdichtekontrast zwischen Weiß und Schwarz 2:1. Dann 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 nach ISO 9241-306 (16 Seiten, 1,7 Mbyte)

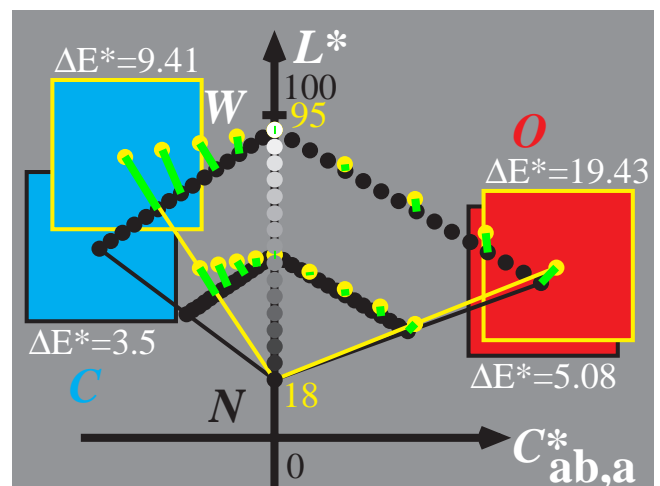
<http://www.ps.bam.de/MG15/10L/L15G00FP.PDF>

In diesem Fall muß gelten: Gamma = 1 und nicht Gamma = 2,2, das im Farbenraum sRGB von IEC 61966-2-1 für einen hohen Leuchtdichtekontrast benutzt wird. Dieser hohen Leuchtdichtekontrast, zum Beispiel größer 255 : 1, kann nur mit einem Monitor in einem dunklen Raum ohne Raumlichtreflexion an der Monitoroberfläche realisiert werden. Bei realen Büroarbeitsplätzen liegt der Leuchtdichtekontrast gewöhnlich zwischen 20 : 1 und 40 : 1 sowohl für Monitore als auch für Drucker. Der Farbenraum sRGB von IEC 61966-2-1 scheint nicht geeignet für diesen realen Büro-Anwendungsfall.



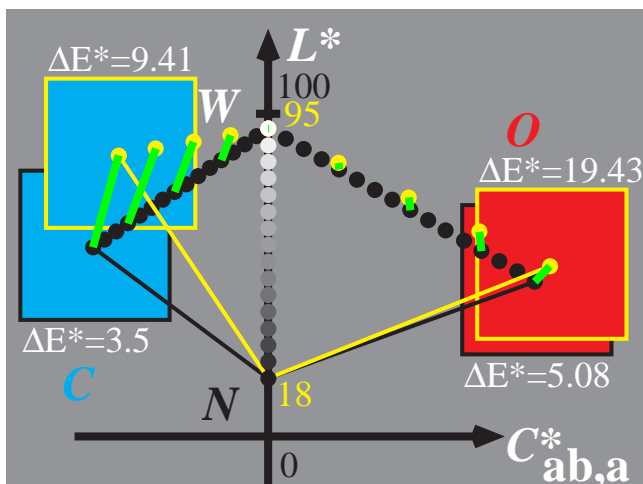
Teil 1

YG731-5



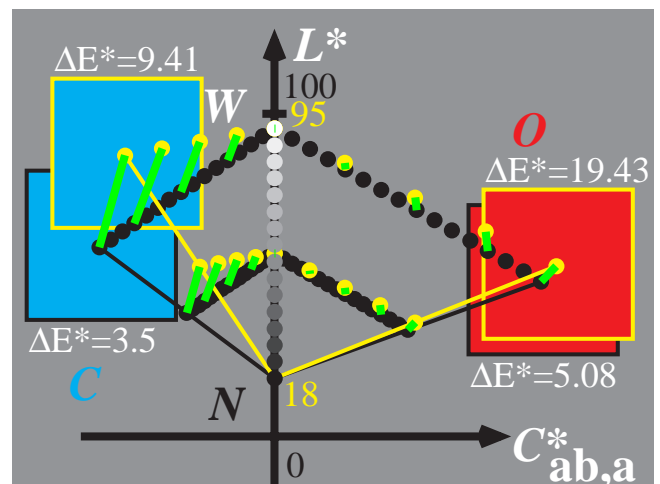
Teil 2

YG731-6



Teil 3

YG731-7



Teil 4

YG731-8

### Bild 30 – Komplementäre Bunttondreiecke für TLS00 und ORS18 (*links*) und Farbmanagement (*rechts*)

Bild 30 zeigt komplementäre Bunttondreiecke für das Fernseh-Licht-System TLS18 (*gelbe Bälle*) und das Offset-Reflektiv-System ORS18a (*schwarze Bälle*). Diese Transformationen unterscheiden sich wesentlich von der in Bild 29 vorgestellten *affinen* Abbildung. Nur die *affine* Transformation erhält den wichtigen Buntton, die Farb-Unterscheidbarkeit und gleiche relative Stufung auf verschiedenen Gerätesystemen.

Bild 30 Teil 1 und 3 beinhaltet ein Abschneiden („Clipping“) von Monitorfarben und eine Transformation auf die Oberfläche der Druckerfarbraums. Bild 30 Teil 2 und 4 beinhaltet eine Farbverschiebung auch im Innern des Farbraums ähnlich wie in den *affinen* Transformation in Bild 29. Die *affine* Transformation in Bild 29 und die Transformationen in Bild 30 definieren die *affine* Farbmanagement-Methode.

Nach ISO 15076-1 gibt es eine „Norm“-Methode für „Farbmanagement“, die auch den obigen Standardfall Monitor – Drucker beinhaltet. In der Anwendung liefert die *relative* Ausgabe nach ISO 15076-1 für diesen Standardfall sehr

# Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

verschiedene Ausgaben auf dem gleichen Drucker. Nach ISO 15076-1 sind die verschiedenen Abbildungen von Bild 30 und zusätzlich verschiedene Gamma- oder Tonwert-Transformationen der Stufen erlaubt. Die verschiedenen Color-Management-Module (CMMs) und Betriebssysteme benutzen viele der erlaubten und möglichen verschiedenen Transformationen nach ISO 15076-1. Durch Abschneiden („Clipping“) der Ausgabe können Ausgabefarbunterschiede um 30 CIELAB auf dem gleichen Gerät entstehen. Diese Differenzen sind groß im Vergleich zu der Toleranz von 3 CIELAB nach ISO/IEC 15775 für Farbkopierer.

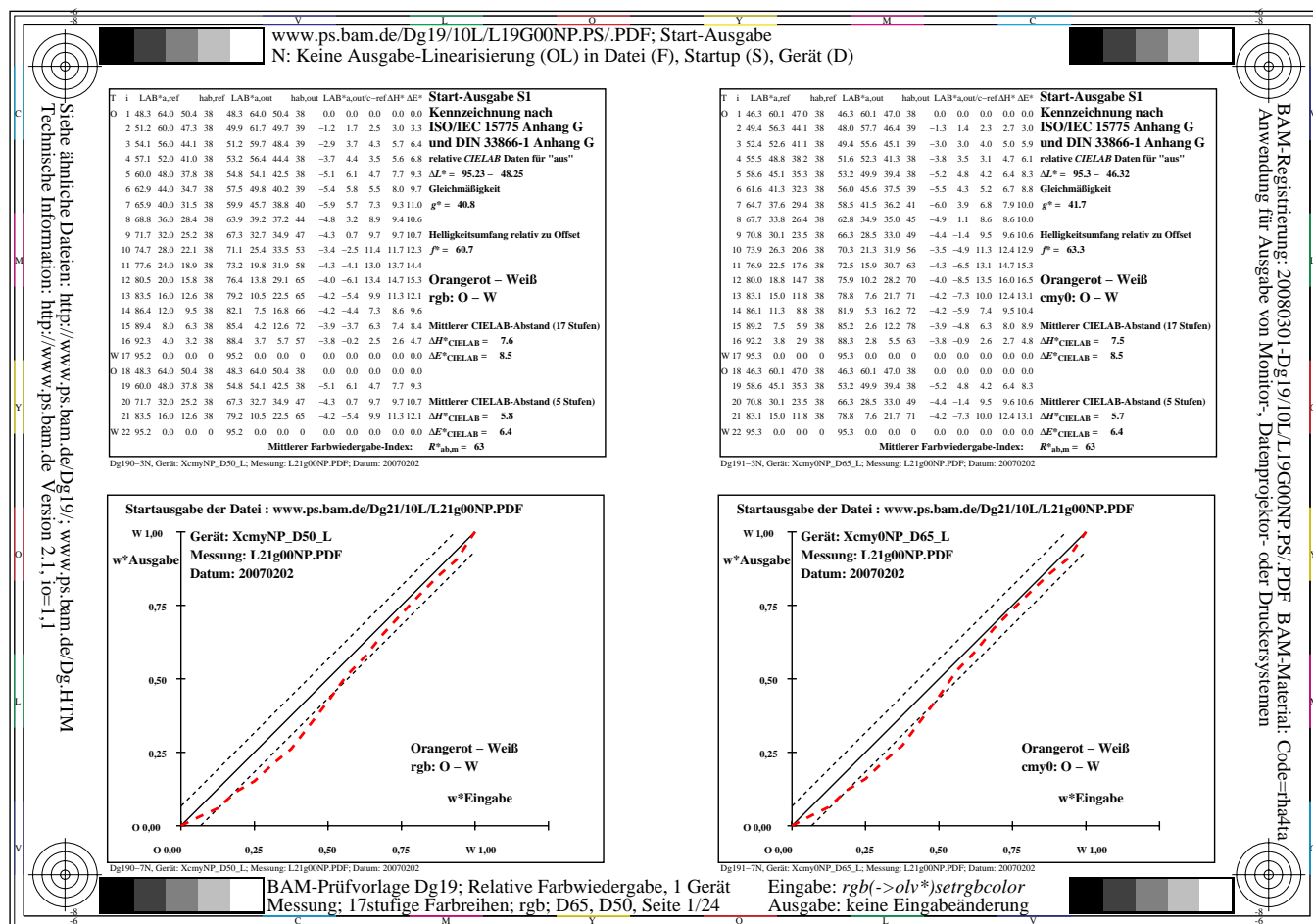
Mit den verschiedenen CMMs, zum Beispiel von den Firmen *Apple*, *Adobe*, *Windows*, *Heidelberg* und anderen, entstehen daher in der Regel verschiedene Ergebnisse entsprechend Bild 30. Nur durch Anwendung der *affinen* Transformation von Bild 29 werden Ergebnisse entstehen, die auf dem gleichen Gerät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

## 13. Farbmetrische Ausgabekennzeichnung für Lichtarten D50 und D65

Farbmessung ist die Grundlage der farbmetrischen Ausgabekennzeichnung, die zum Beispiel 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. in den Bunttonebenen O–C, Y–V und L–M, die Zentralgrau Z enthalten.

Die farbmetrische Ausgabekennzeichnung basiert auf der Ausgabe der Prüfdatei von Bild 8 in DIN 33872-1 mit 24 Farbreihen in den Spalten A bis X, die jeweils 17 Farbstufen enthalten. Für die entsprechende *rgb*-Prüfdatei 1 nach DIN 33872-1, siehe ( 3 Seiten, 120 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg11/10L/L1g00NP.PDF>



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

Bild 31 zeigt die farbmetrische Ausgabekennzeichnung für *rgb*-Eingabedaten. Das Beispiel zeigt die 17stufige Reihe Orangerot–Weiß der Spalte A für das Gerätesystem X. Die farbmetrische Kennzeichnung gilt für die CIE-Lichtart D50 (*links*) und die CIE-Normlichtart D65 (*rechts*).

Die Durchführung der farbmetrischen Kennzeichnung erfordert zum Beispiel die Ausgabe der *rgb*-Datei, siehe (3

## Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6

Seiten, 120 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg11/10L/L11g00NP.PDF>

oder/und die Ausgabe der *cmy0*-Datei, siehe (3 Seiten, 120 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg21/10L/L21g00NP.PDF>

Die gemessenen  $L^*a^*b^*$ -CIELAB-Daten können in drei *PS*-Dateien eingefügt werden, die unter den folgenden drei Internetadressen zu finden sind.

Nach der Messung werden zum Beispiel die CIELAB  $L^*a^*b^*$ -Daten in eine *PS*-Datei eingefügt. Dann wird eine *PDF*-Datei aus der *PS*-Datei mit einem *PS*-Interpreter erzeugt.

Alle notwendigen Berechnungen sind bereits in der *PS*-Programmiersprache enthalten, siehe (*PS*-Code, 220 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg17/10L/L17g00NP.PS>

Für die farbmetrische Kennzeichnung mit *rgb*-Farbdaten von zwei Gerätesystemen F und X für D65 wird die *PDF*-Datei zum Beispiel mit dem *PS*-Interpreter *Adobe Acrobat Distiller 3.0* erzeugt, siehe (24 Seiten, 700 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg17/10L/L17g00NP.PDF>

Ähnlich wird für die farbmetrische Kennzeichnung mit *rgb*- und *cmy0*-Farbdaten des Gerätesystems X für D65 die folgende *PS*-Datei in die folgende *PDF*-Datei transformiert, siehe (220 kByte und 24 Seiten, 700 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg18/10L/L18g00NP.PS>

<http://www.ps.bam.de/Dg18/10L/L18g00NP.PDF>

Ähnlich wird für die farbmetrische Kennzeichnung mit *cmy0*-Farbdaten des Gerätesystems X für D50 und D65 die folgende *PS*-Datei in die folgende *PDF*-Datei transformiert, siehe (220 kByte und 24 Seiten, 700 kByte)

<http://www.ps.bam.de/Dg19/10L/L19g00NP.PS>

<http://www.ps.bam.de/Dg19/10L/L19g00NP.PDF>

## 14. Literaturhinweise

### 14.1 Normen und ähnliche Dokumente

- CIE13.3:1995: Colour rendering – Method of measuring and specifying colour rendering of light sources
- 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<sup>o</sup>-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, Device output of 16-step colour scales, output linearization method (LM) and specification of the reproduction properties, siehe für Prüfvorlagen und die letzte öffentliche ISO-Version (20 Seiten, 280 kByte).
- <http://www.ps.bam.de/19797T>
- <http://www.jbmia.or.jp/sc28/sc28docs/j28n656.zip>
- ISO/IEC TR 24705:2005, Method of specifying image reproduction of colour devices by digital and analog test charts, siehe für Prüfvorlagen und die letzte öffentliche ISO/IEC-Version (80 Seiten, 1 Mbyte).
- <http://www.ps.bam.de/24705T>
- <http://www.jbmia.or.jp/sc28/sc28docs/j28n689.zip>
- 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 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 der Normenreihe DIN 33872 und den CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 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 Farbensehen 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 Elementaruntton 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>

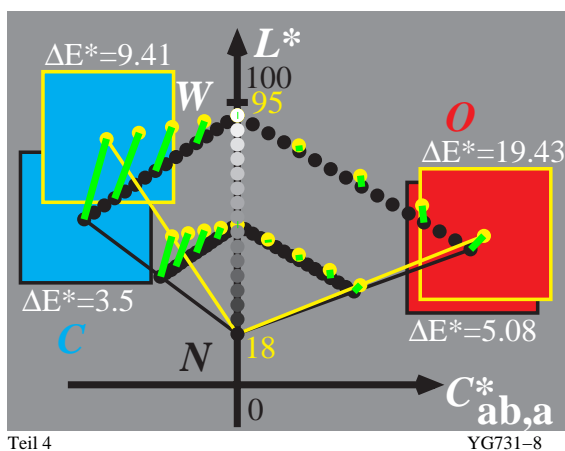
Witt, J. (2006), Verfahren zur Reproduktion von im CIELAB-Farbraum definierten Farben, (33 Seiten, 3,2 MByte)

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

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

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

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:



Teil 4

YG731-8

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. „ZG“:

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