

DIN 33872 "Relative Farbwiedergabe" sowie Trends und Daten für einen visuellen RGB^* -Elementarfarbraum

Version 1.1, (22 Seiten, 700 KB), [/DFWG09.PDF](#)

Prof. Dr. Klaus Richter: email: klaus.richter@mac.com

Internet: Technische Universität, Berlin (TUB): <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

Für aktuelle Veröffentlichungen der TUB-Gruppe siehe: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/XY91FDE.html>

Internet: <http://www.ps.bam.de> und <http://130.149.60.45/~farbmetrik/>

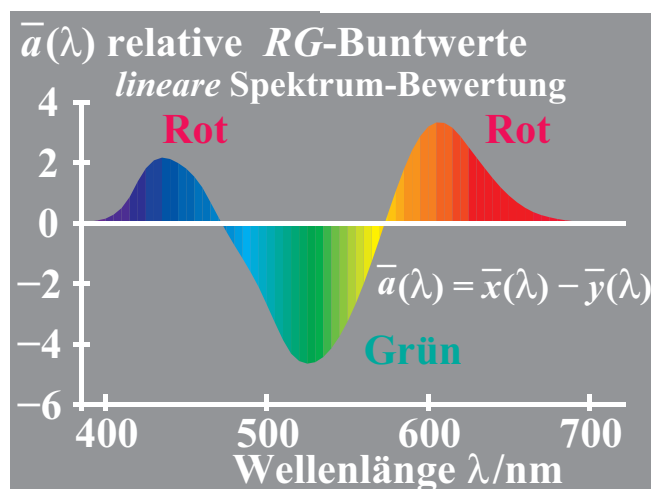
Dieser Vortrag wurde auf der DfwG-Tagung am 9. Okt. 2009 gehalten.

Inhalt:

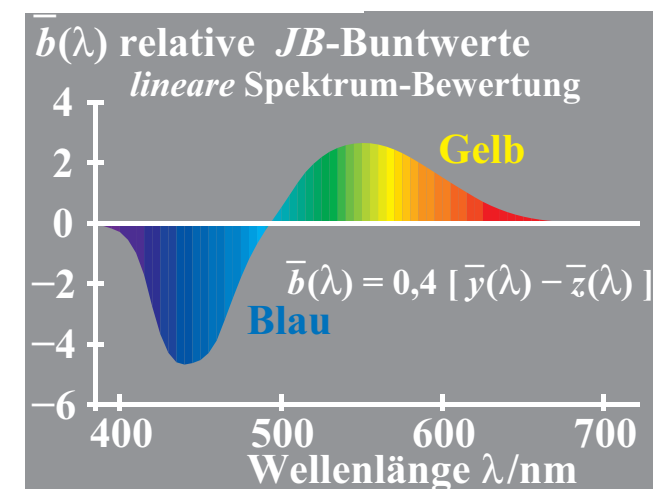
- Farbnamen nach ISO/IEC 15775
- Geräte- und Elementarfarben in DIN 33872-1 bis -6
- Elementarfarben und rgb^* -Farbkoordinaten
- Benutzerfreundliche Farbkoordinaten ncu^*
- Optimale Elementarfarben und „Farbenhalb“
- Gleiche Farbunterscheidung für komplementäre Optimalfarben und physiologische Signale
- CIELAB-Elementarfarbwinkel nach CIE R1-47:2009
- Geräteausgabe-Steuerung mit Elementarfarbwinkeln
- visuelle Maximalfarben der relativen Buntheit $c^*=1$
- CIE TC1-63-Experimente für visuellen RGB^* -Farbraum
- Zusammenfassung und Ausblick

Unbunte Farben	Elementarfarben "Weder-Noch"-Farben	Gerätefarben <i>Fernsehen (TV), Druck (PR) Photographie (PH)</i>
<i>fünf unbunte Farben:</i>	<i>vier Elementarfarben:</i>	<i>sechs Gerätefarben:</i>
<i>N</i> Schwarz (franz. noir)	<i>R</i> Rot <i>weder gelblich noch bläulich</i>	<i>C</i> Cyanblau
<i>D</i> Dunkelgrau	<i>G</i> Grün <i>weder gelblich noch bläulich</i>	<i>M</i> Magentarot
<i>Z</i> Zentralgrau	<i>B</i> Blau <i>weder grünlich noch rötlich</i>	<i>Y</i> Gelb
<i>H</i> Hellgrau	<i>J</i> Gelb (franz. jaune) <i>weder grünlich noch rötlich</i>	<i>O</i> Orangerot
<i>W</i> Weiß		<i>L</i> Laubgrün
		<i>V</i> Violettblau

KG360-1N



XG351-1



XG351-2

Bild 1: Elementar- und Gerätefarben und lineare *RG*- und *JB*-Spektrum-Bewertung.

Die *RG*- und *JB*-Buntwerte bilden nach *Hurvich und Jameson (1955)* ein Modell zum Verständnis der Elementarfarben. Die monochromatischen Elementarfarben Blau B_m , Grün G_m und Gelb J_m haben nach diesem Modell die Wellenlängen $\lambda_d = 475, 500$ und 575nm . Monochromatisches Rot R_m ist nicht im Spektrum enthalten, vergleiche auch Bild 9.

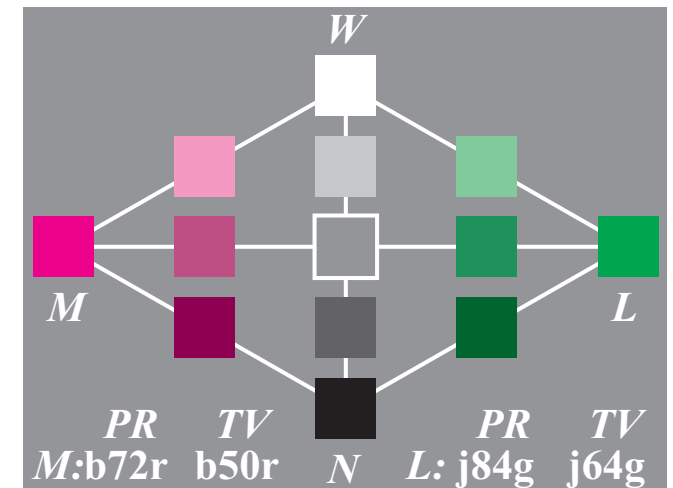
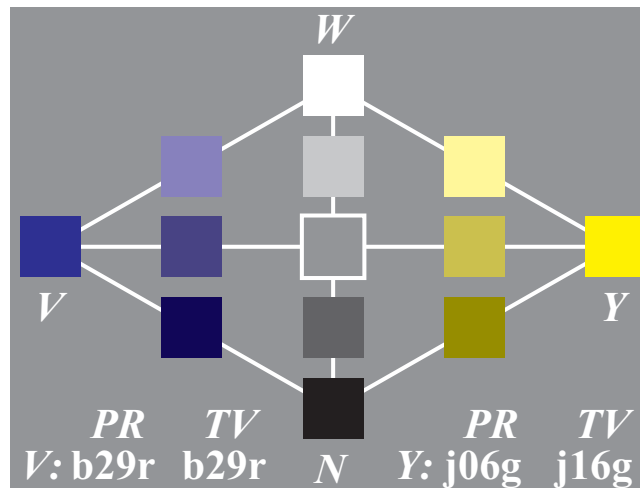
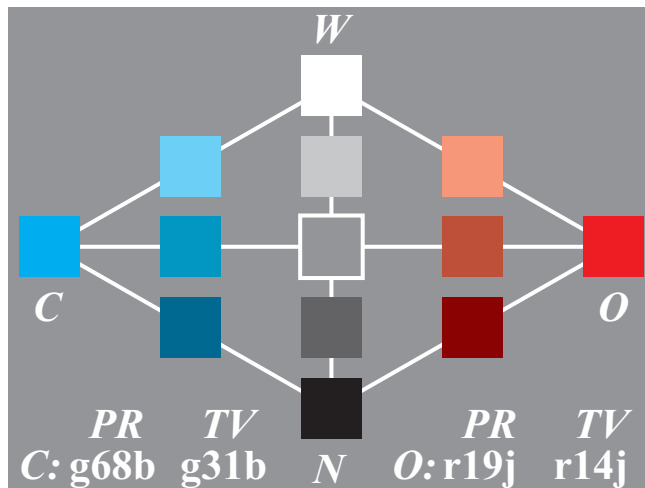
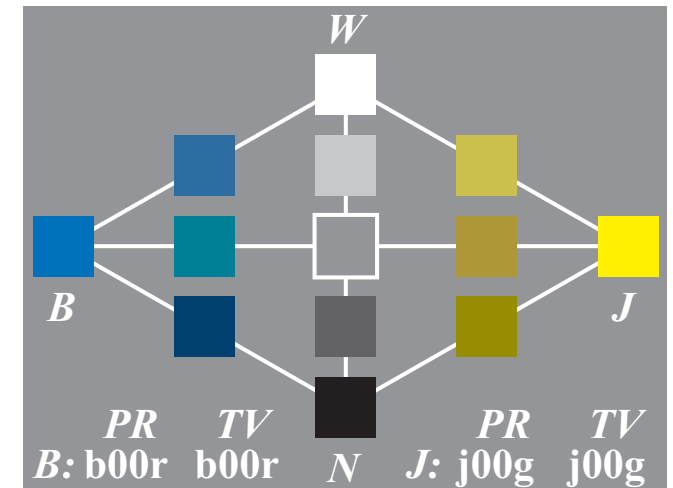
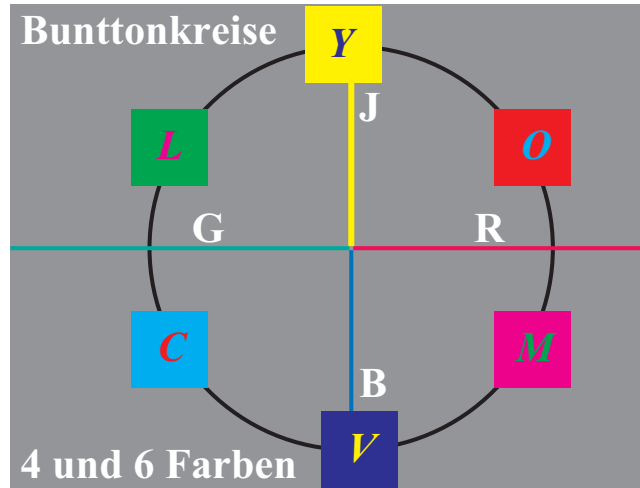
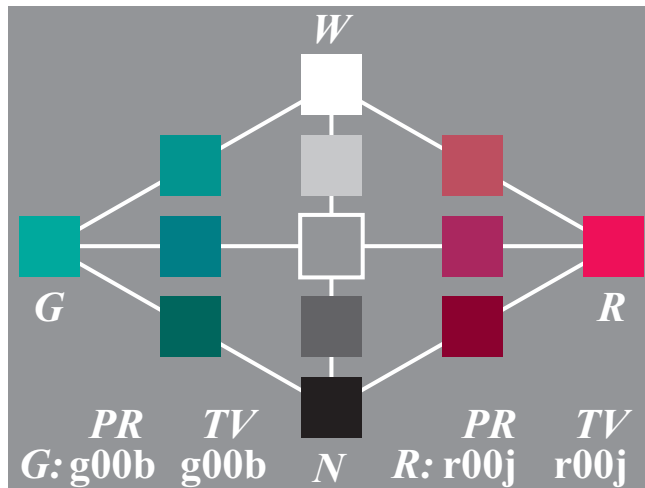


Bild 2: Elementarbuntonkreis und verschiedene Bunttonebenen

Viele Farbordnungssysteme basieren auf einem Doppelkegel mit kreisförmiger Basis (z. B. *Ostwald*, *NCS*). Das *Natural Colour System (NCS)* benutzt drei Koordinaten ncu^* (relative Schwarzheit n^* , relative Buntheit c^* und Elementarbuntontext u^*).

Der Buntonkreis (*oben Mitte*) besteht aus vier Elementarfarben $RJGB$ oder sechs Gerätefarben.

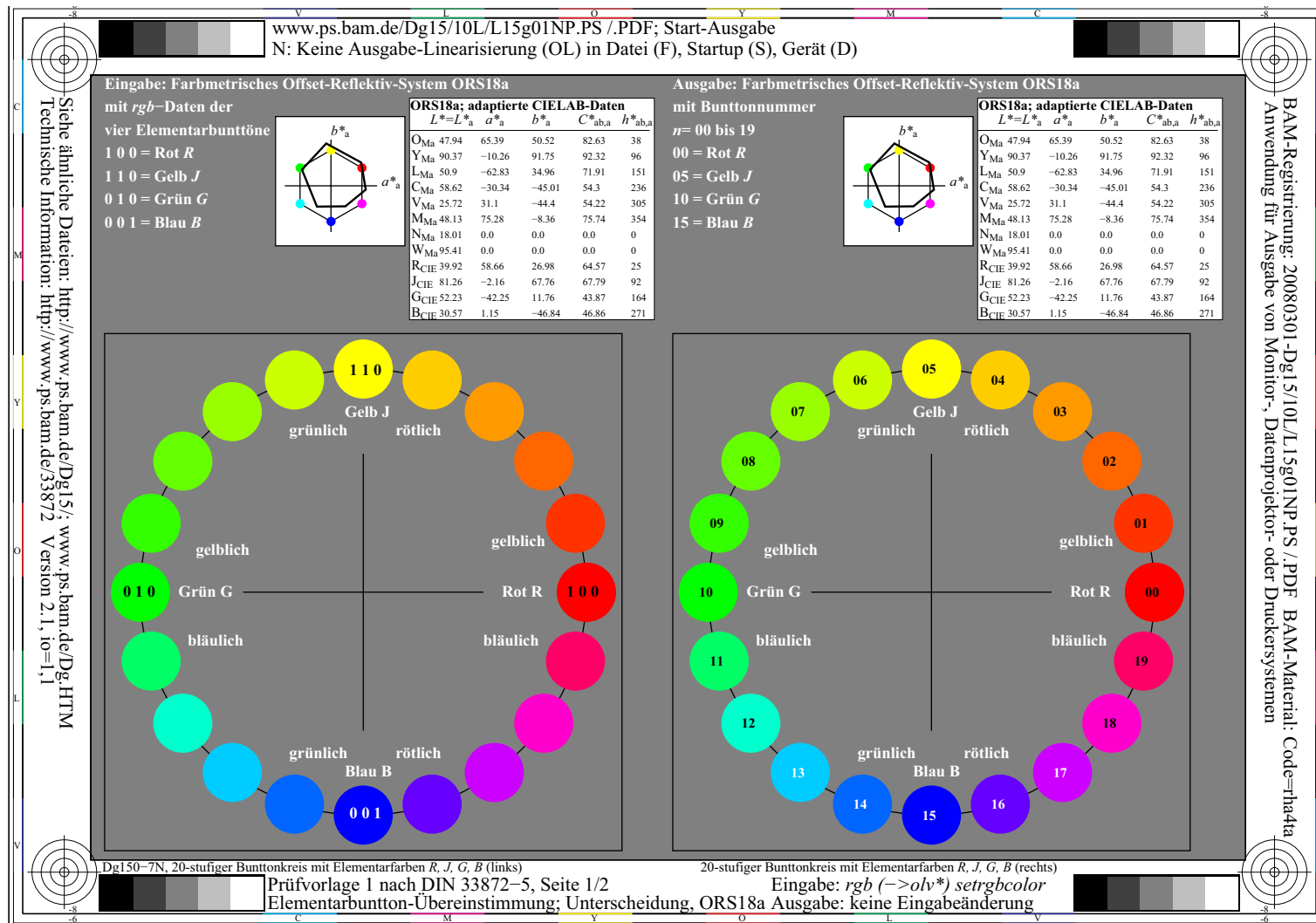


Bild 3: Elementar-Bunttonkreis nach DIN 33872-5

In DIN 33872-5 wird gefragt, ob die Eingabewerte $rgb = 001$ in der Ausgabe den Elementarfarbton Blau B ergeben. Es besteht Elementarfarbton-Übereinstimmung, wenn die Ausgabefarbe Nr. 15 auf einem Drucker oder Monitor weder rötlich noch grünlich erscheint. In vielen Fällen kann dies die Nummer 14 oder 13 oder eine Zwischenfarbe sein.

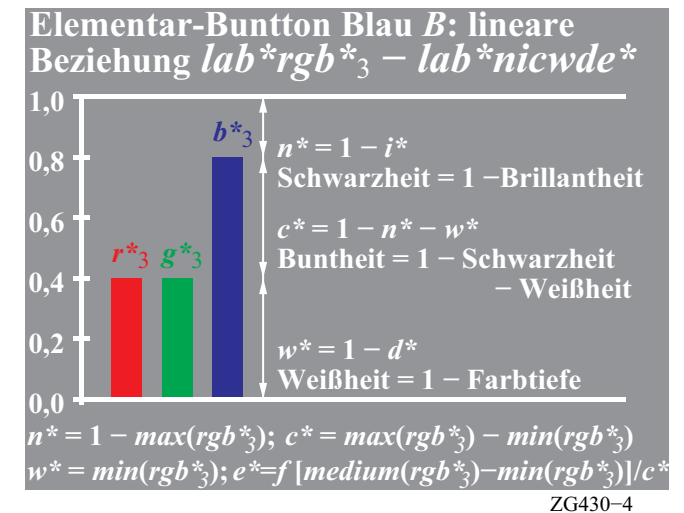
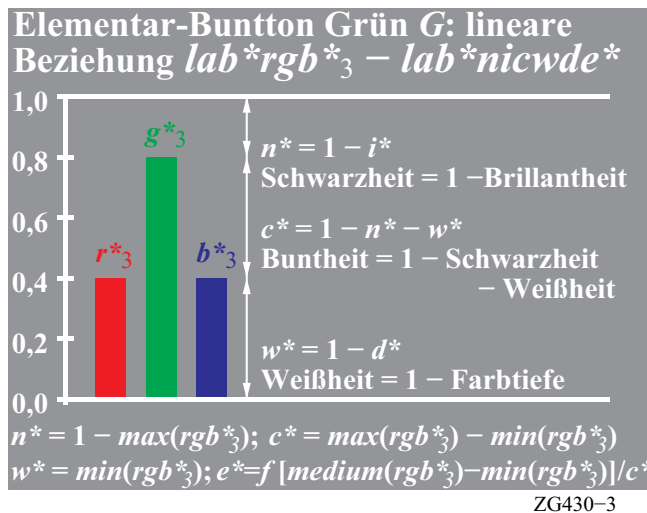
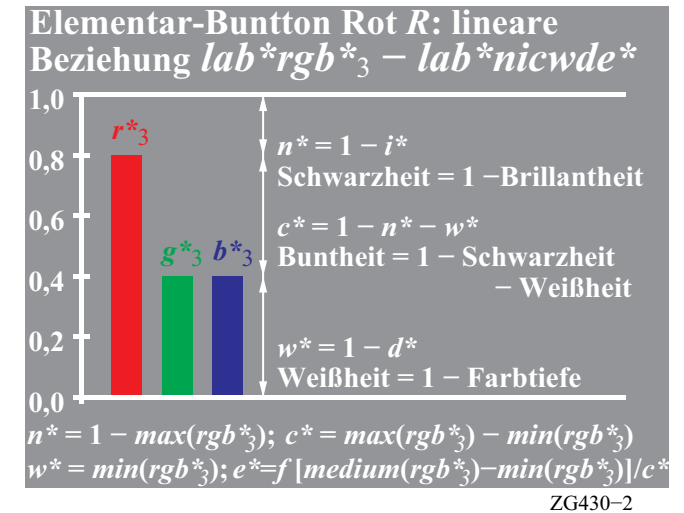
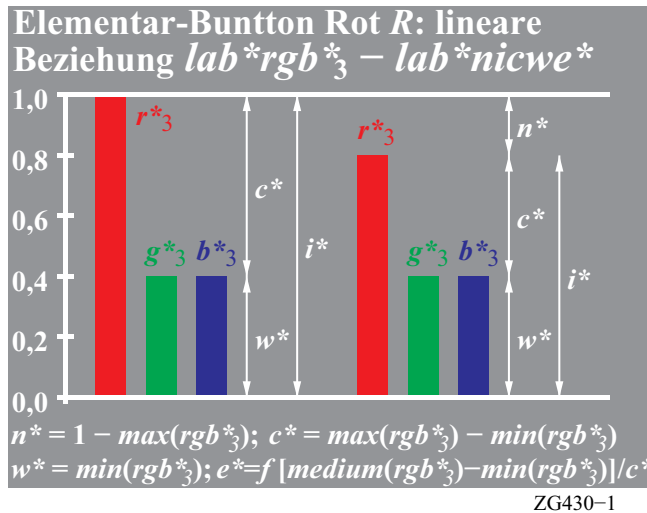


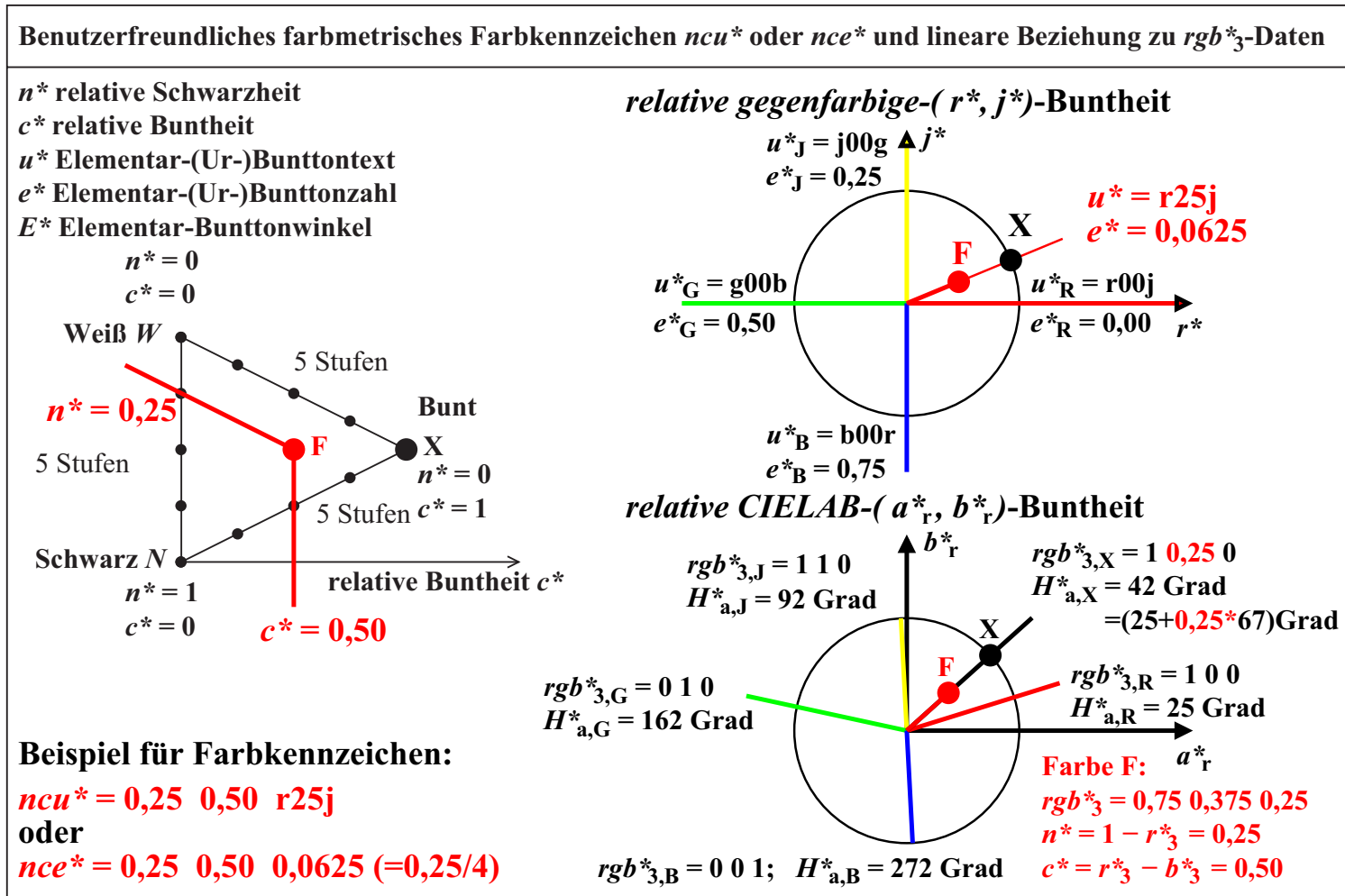
Bild 4: Zusammenhang zwischen Koordinaten rgb^*_3 und z. B. relative Schwarzheit n^*
 Es bestehen lineare Zusammenhänge zwischen den Koordinaten rgb^*_3 und der relativen Schwarzheit n^* , der relativen Weissheit w^* und der relativen Buntheit c^* . Auch die relative Brillantheit i^* , die relative Farbtiefe d^* sowie der Elementarbuntton e^* lassen sich nach Bild 4 aus den Koordinaten rgb^*_3 definieren.

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

YG921-3

Bild 5: Anwendung der Farbe im täglichen Leben

In Design, Architektur, Kunst und für Industriefarben werden überwiegend visuell definierte Farbordnungssysteme und die CIELAB-Farbmessung benutzt. Die Farbinformations-Technologie bevorzugt Koordinaten rgb oder cmy in Dateien für die Monitor- oder Drucker- ausgabe. Das Ziel einer benutzerfreundlichen Verbindung der beiden Welten wird angestrebt.



YG921-7

Bild 6: Verbindung zwischen benutzerfreundlichen Farbkoordinaten ncu^* und rgb^*_3
 Die Umrechnung der benutzerfreundlichen Koordinaten ncu^* bzw. nce^* einer Farbe F im Farbdreieck $N-X-W$ in die Koordinaten $rgb^*_{3,X}$ der Farbe X und anschließend rgb^*_3 der Farbe F ist in beiden Richtungen und anschaulich möglich. Im symmetrischen Elementar-Bunttonkreis und in einem relativen CIELAB-Bunttonkreis ist die Darstellung der Farben X und F möglich.

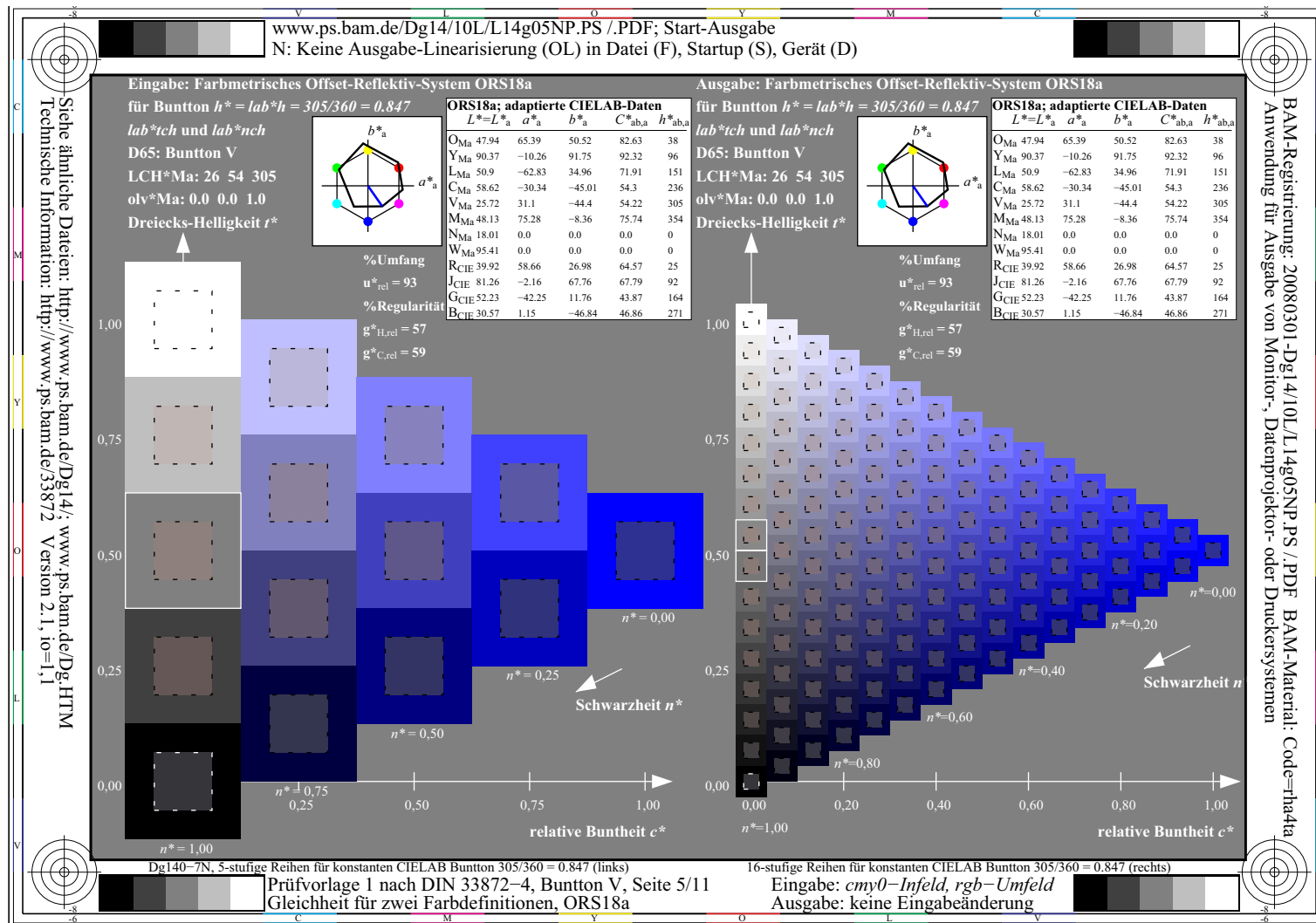
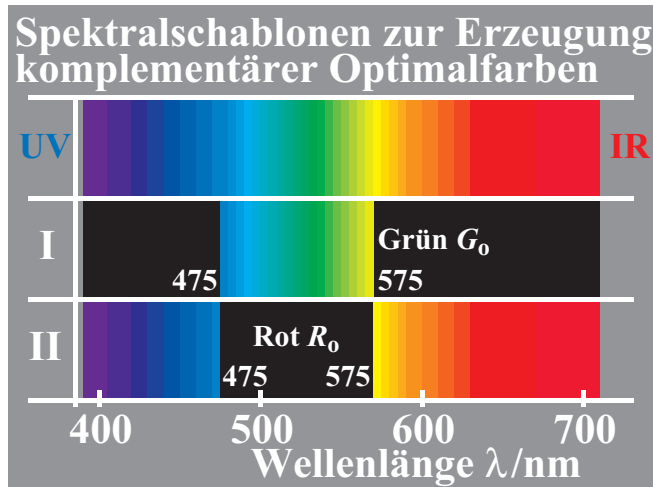
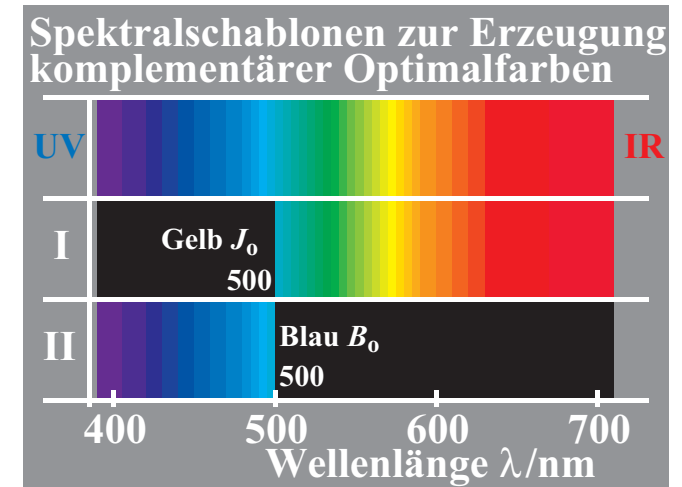


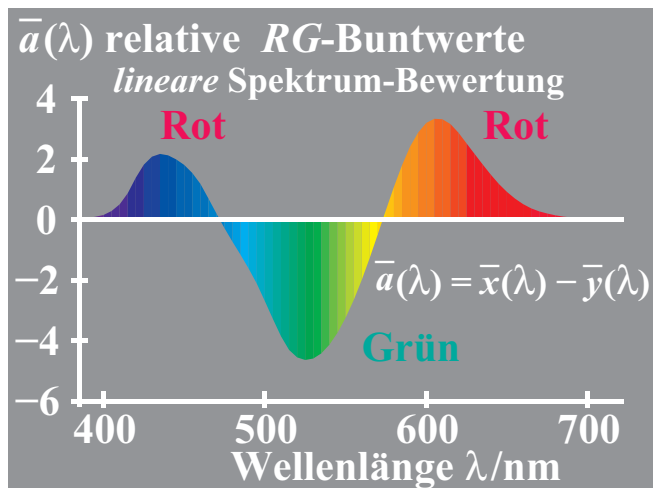
Bild 7: Prüfvorlage 1 nach DIN 33872-4 für gleiche Ausgabe von rgb - und $cmy0$ -Daten
Die Prüfvorlage 1 nach DIN 33872-4 testet auf gleiche Ausgabe von rgb - und $cmy0$ -Eingabewerten, die nach der sogenannten "1-Minus-Beziehung" verbunden sind, z. B. $c = 1 - r$. Ältere Drucker und Monitore, oder neuere z. B. mit der Wahl von "Color Management OFF" im Ausgabetreiber, erzeugen die gleiche Ausgabefarbe, andere völlig verschiedene Farben.



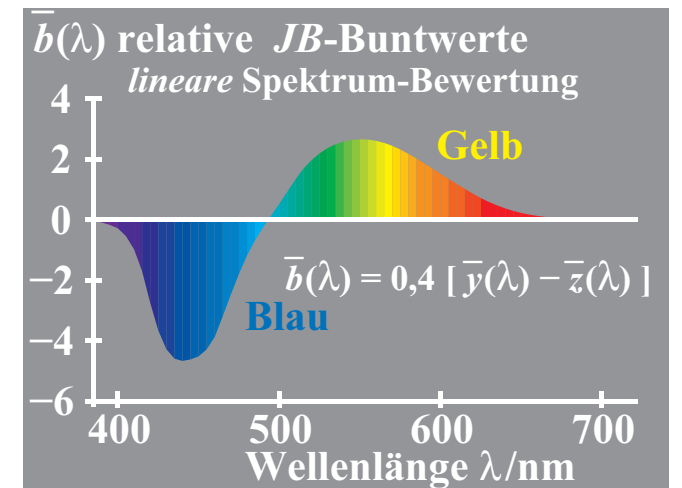
IG101-4A



IG101-3A



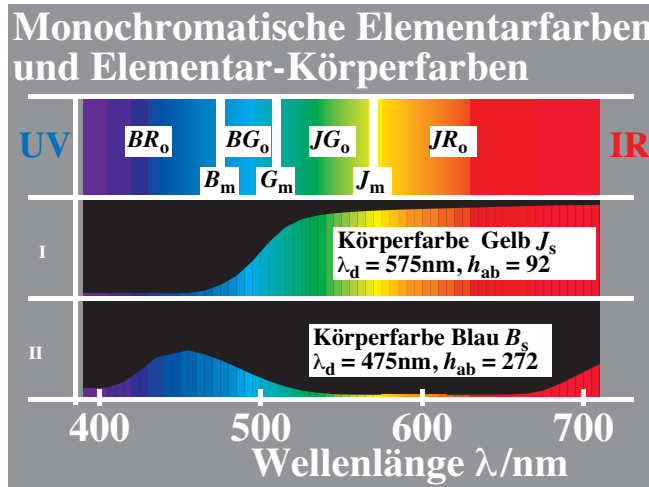
XG351-1



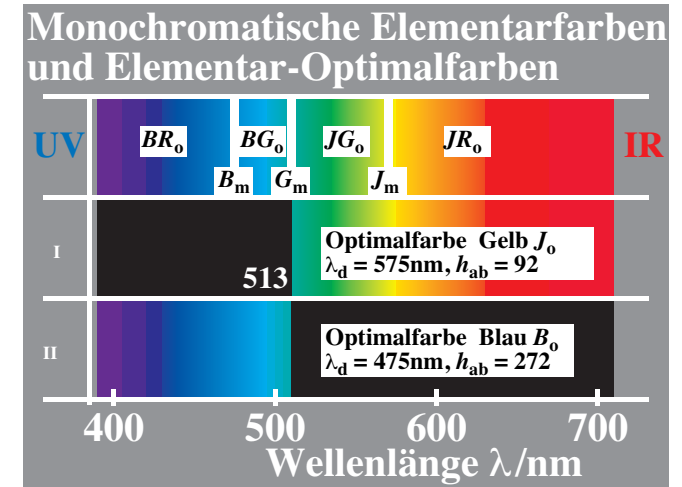
XG351-2

Bild 8: Definition der Elementar-Optimalfarben G_0 , R_0 , B_0 , J_0 und spektrale Bewertung

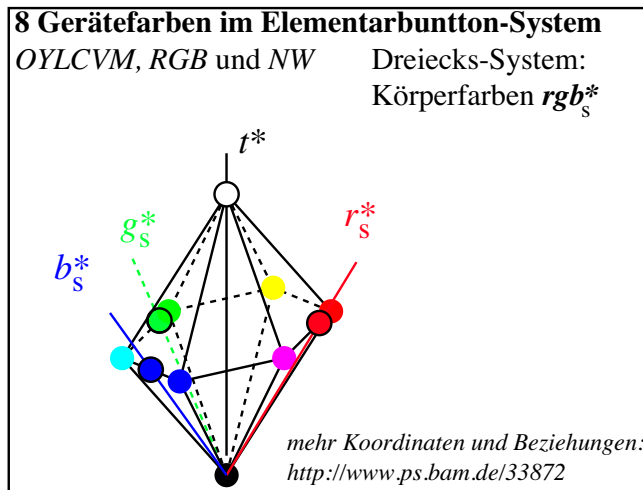
Die Elementar-Optimalfarben G_0 , R_0 , B_0 , J_0 sind durch ein "Farbenhalb" nach Ostwald gekennzeichnet. Die Farben der Wellenlängen $\lambda_d = 475$ und 575 nm sind zu Unbunt komplementär. Genauere Untersuchungen zeigen, dass die visuellen Elementarfarben Rot und Grün nur angenähert komplementär sind und monochromatisches Elementargrün bei $\lambda_d = 513$ nm liegt.



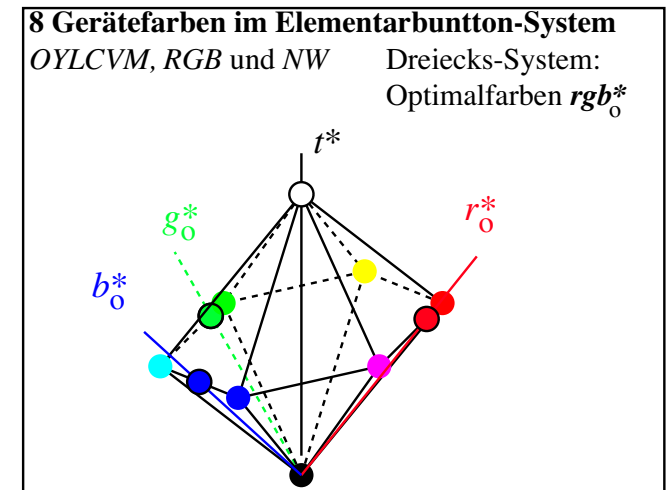
KG300-2N



KG300-1N



KG301-1N



KG301-2N

Bild 9: Körper- und Optimalfarben, spektrale Zusammensetzung und im Farbraum

Monochromatische Elementarfarben sowie Elementar-Körper- und Elementar-Optimalfarben zeigen unterschiedliche spektrale Zusammensetzung und gleiche CIELAB-Bunntonwinkel. Im Farbraum liegen die 8 Gerätefarben für die Körper- und Optimalfarben auf einem Kegel mit sechseckförmiger Basis. Der Optimalfarbenraum ist grösser als der Körperfarbenraum.

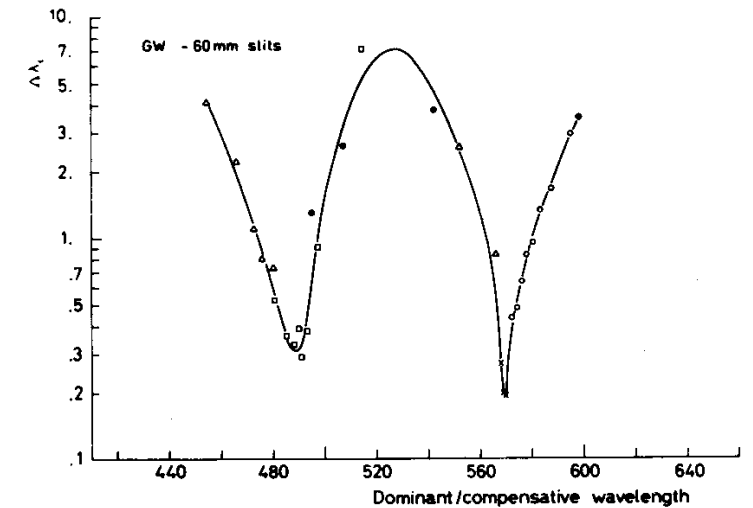
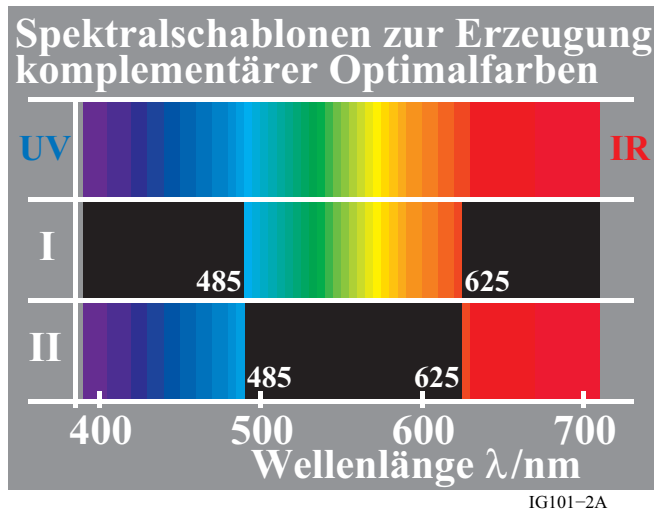
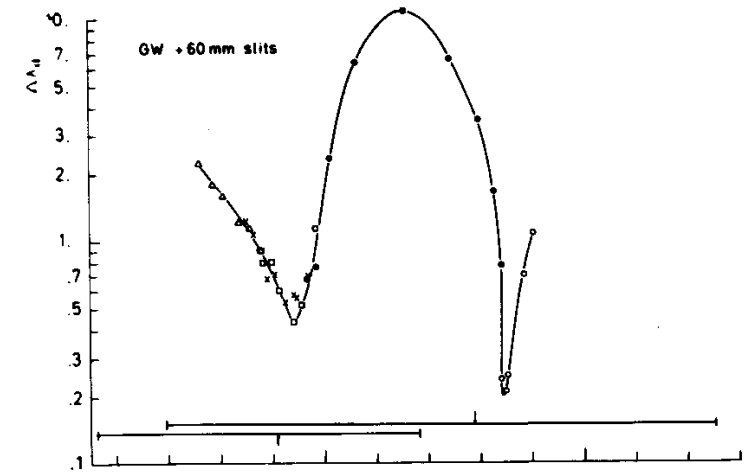
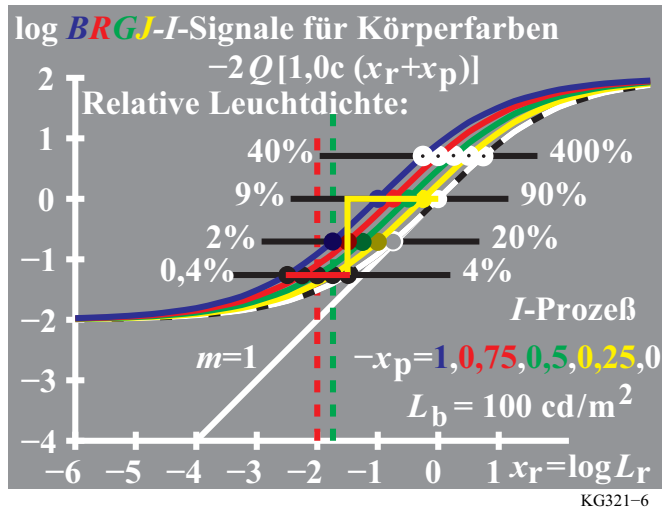
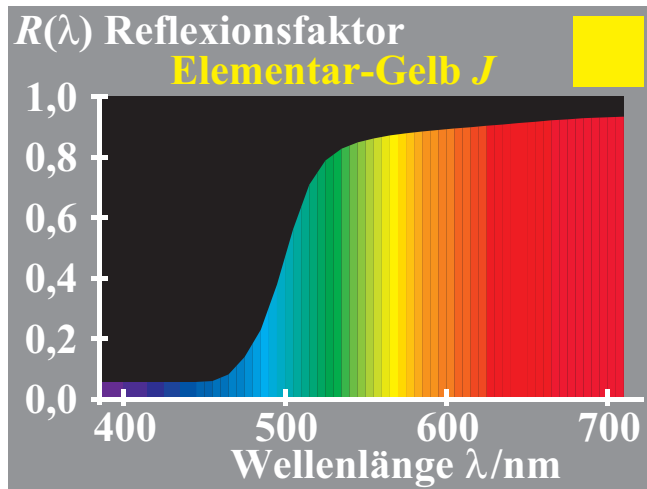
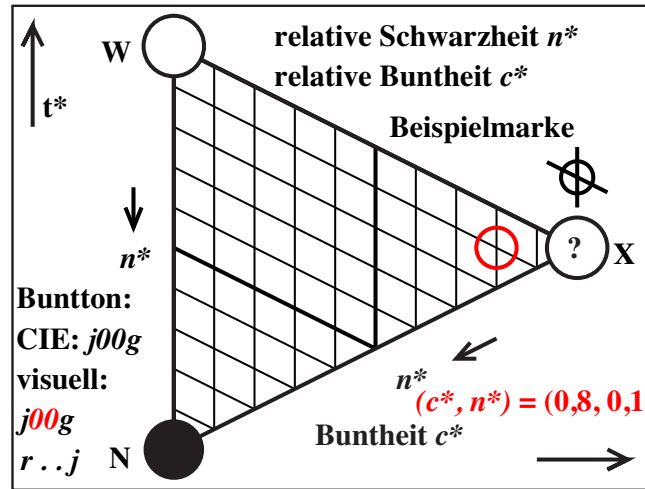


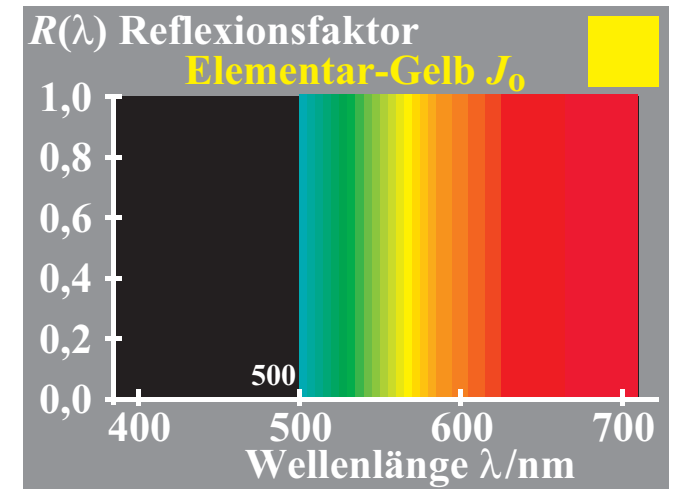
Bild 10: Physiologische Signale und Farbunterscheidung komplementärer Optimalfarben
 In weissen Umfeld der Reflexion 90% (Arbeitspunkt) entstehen gleiche Signale für Gelb, Grün, Rot und Blau bei kleinerer Reflexion als 90%, z. B. für Blau B_s bei 9%. Mit Spektralschablonen haben *Holtsmark und Valberg (1969)* die Farbunterscheidung komplementärer Optimalben gemessen, die für alle Spaltbreiten (*rechts etwa 50% des Spektrums*) angenähert gleich ist.



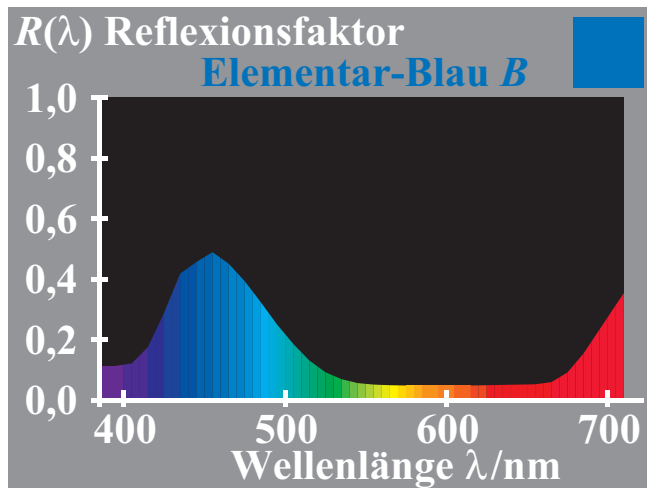
IG100-2A



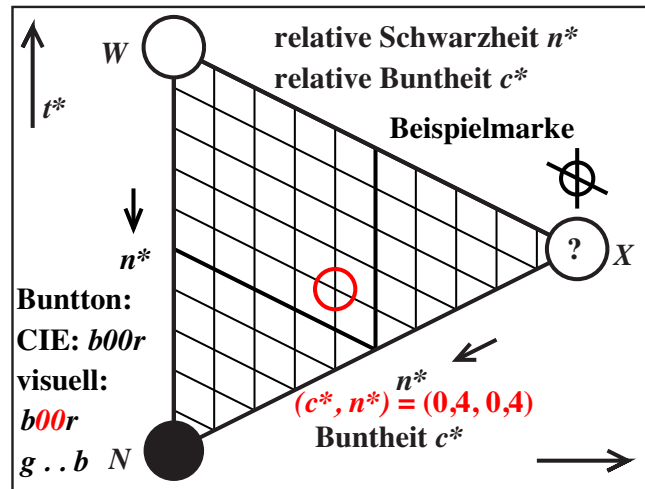
KG360-3N



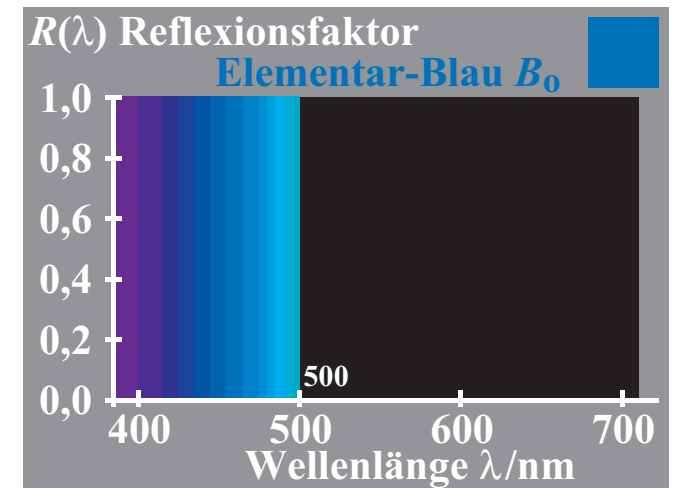
IG100-6A



IG100-4A



KG361-4N



IG100-8A

Bild 11: Schätzung von relativer Buntheit c^* und Schwarzheit n^* für Gelb J und Blau B . Körperfarben haben im Vergleich zu den Optimalfarben grösster Buntheit ("Farbenhalb") eine kleinere relative Buntheit c^* und eine zunehmende relative Schwarzheit n^* . Im *Natürlichen Farbsystem NCS* wurden diese Farbmerkmale für Körperfarben visuell geschätzt und beide Farbmerkmale (c^* , n^*) jeder Körperfarbe neben dem Elementar-Buntontext u^* zugeordnet.

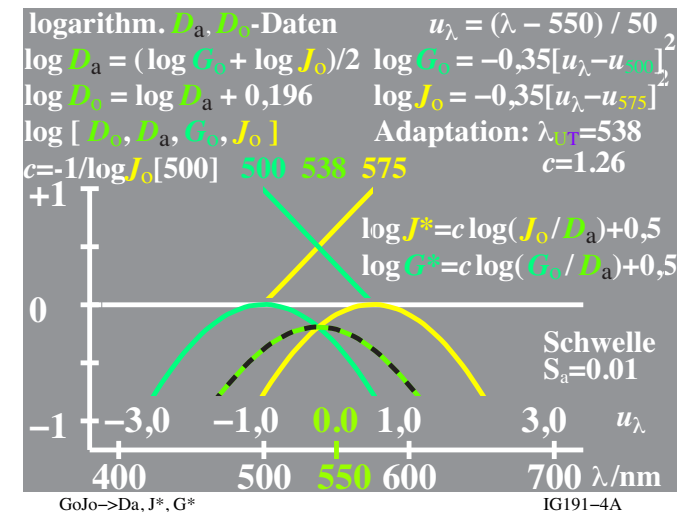
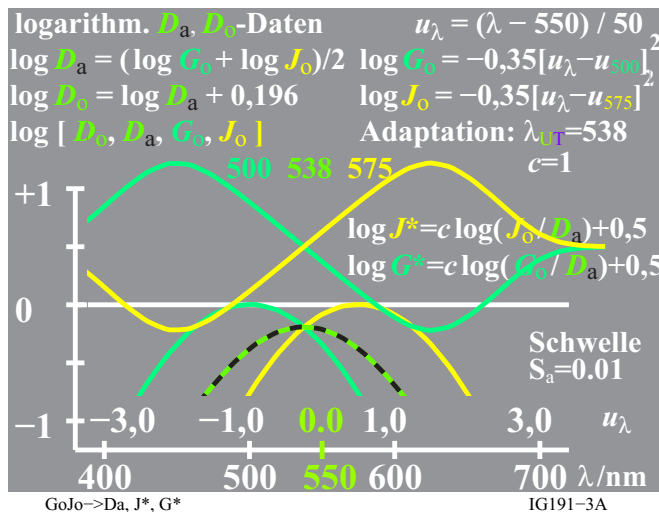
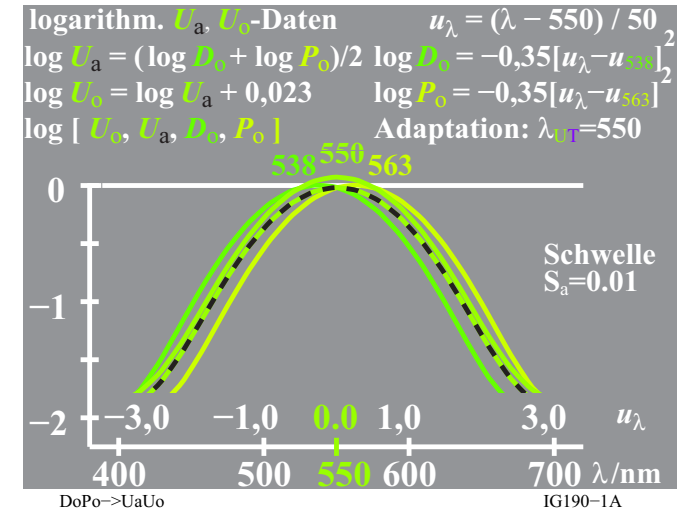
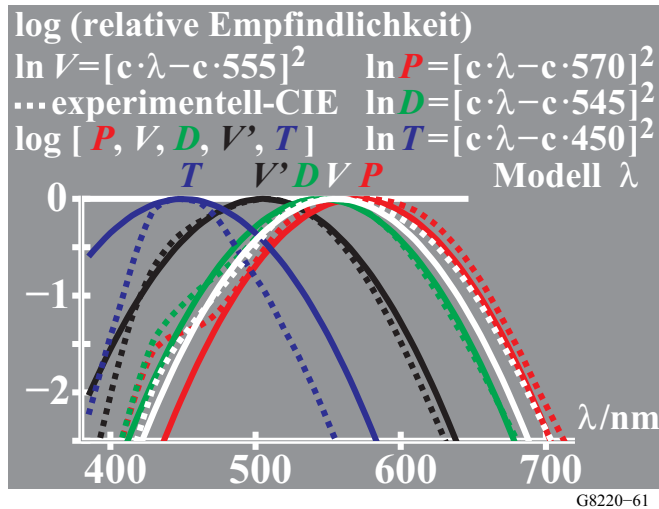



Bild 12: Spektrale Empfindlichkeiten und Modell-Funktionen für Gelb J und Grün G

Die spektralen Empfindlichkeiten des Farbsehens haben in logarithmischer Darstellung und als Funktion der Wellenlänge eine Parabelform mit angenähert gleicher Öffnung (*links oben*). Die Rezeptorempfindlichkeiten P (=Protanop) und D (=Deutanop) oder L und M nach CIE 170-1 werden benutzt, um die relative Gelbheit J^* und Grünheit G^* als Funktion von λ zu berechnen.



Elementary hue angles

Average hue angles

- If we calculate an average of Miescher, NCS, and the CIE hue angles we get 26° , 92° , 166° and 270° for R , J , G and B , respectively, **which happens to be quite close to the hue angles of the CIE colours 25° , 92° , 162° and 271° .**

Bild 13: CIE-Buntonwinkel der Elementarfarben nach CIE R1-47:2009

Der Reportership Bericht CIE R1-47:2009, siehe unter “Meetings” von

<http://div1.cie.co.at/>

ist zum Download frei verfügbar (2,5 Mbyte, 35 Seiten) und empfiehlt auf Seite 10 die Buntonwinkel der CIE Testfarben Nr. 9 bis 12 (Rot R , Gelb J , Grün G und Blau B) nach CIE Publikation 13.3 “Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources”.

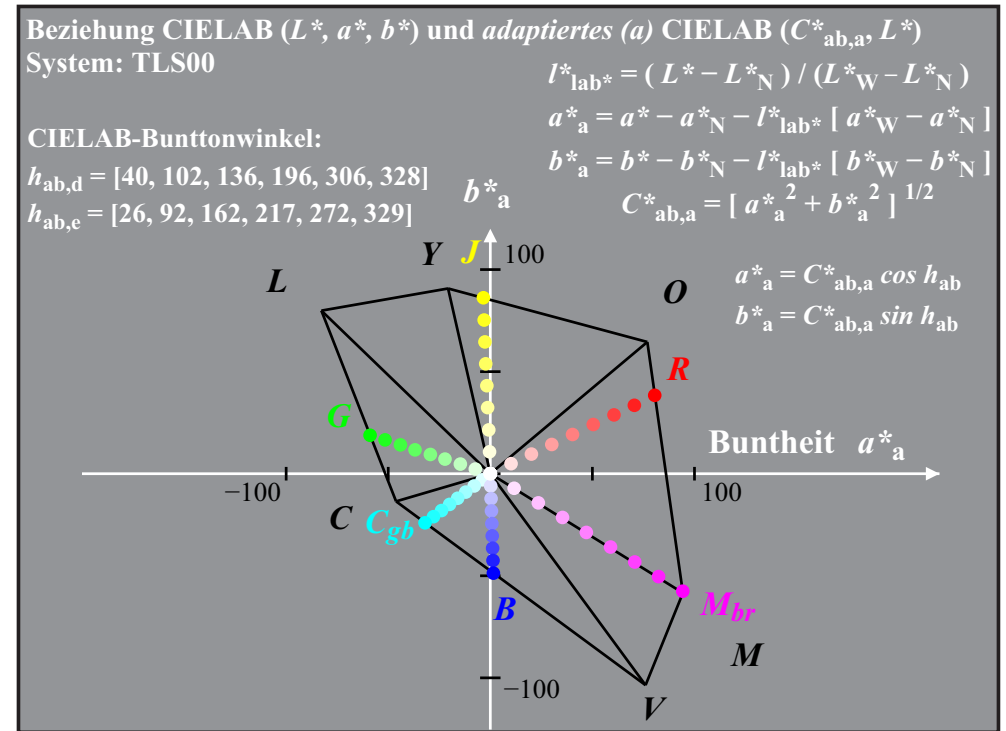
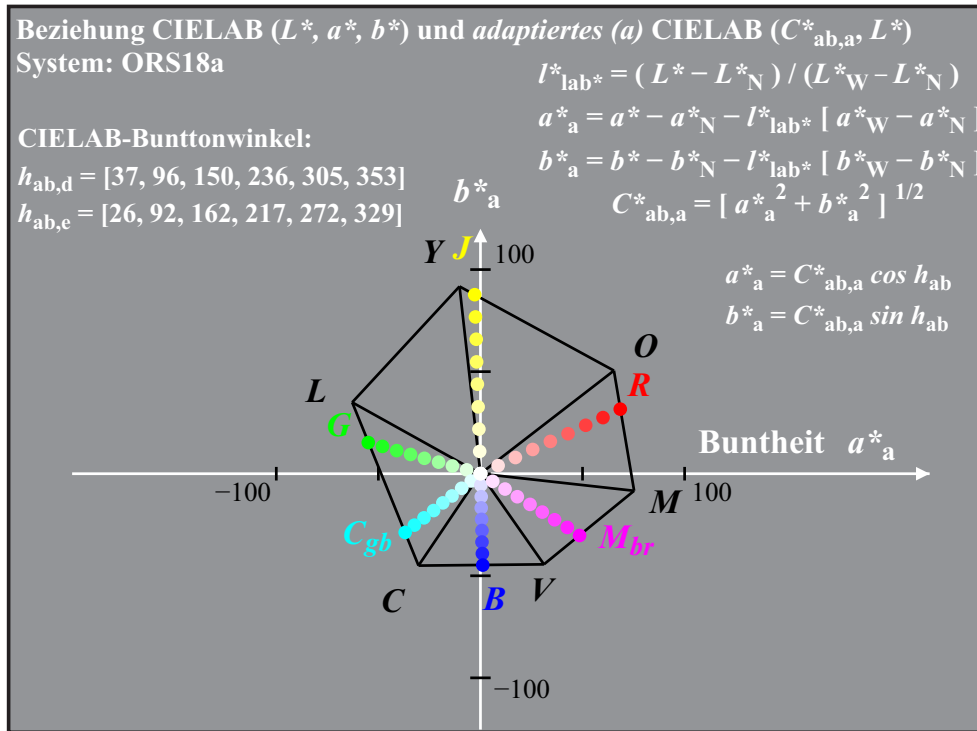
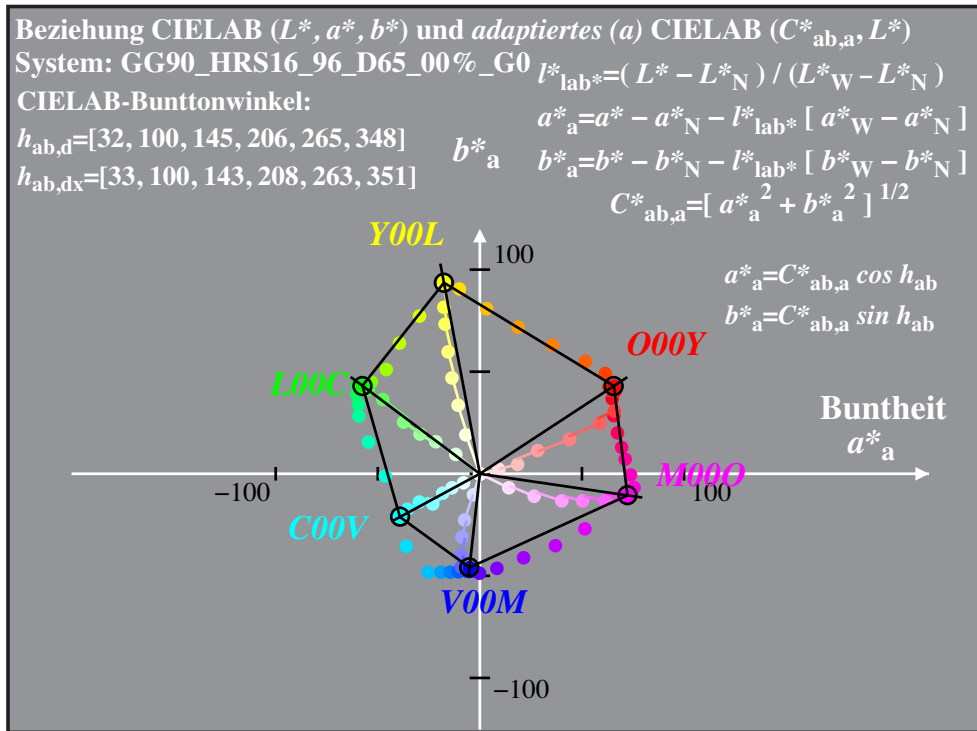


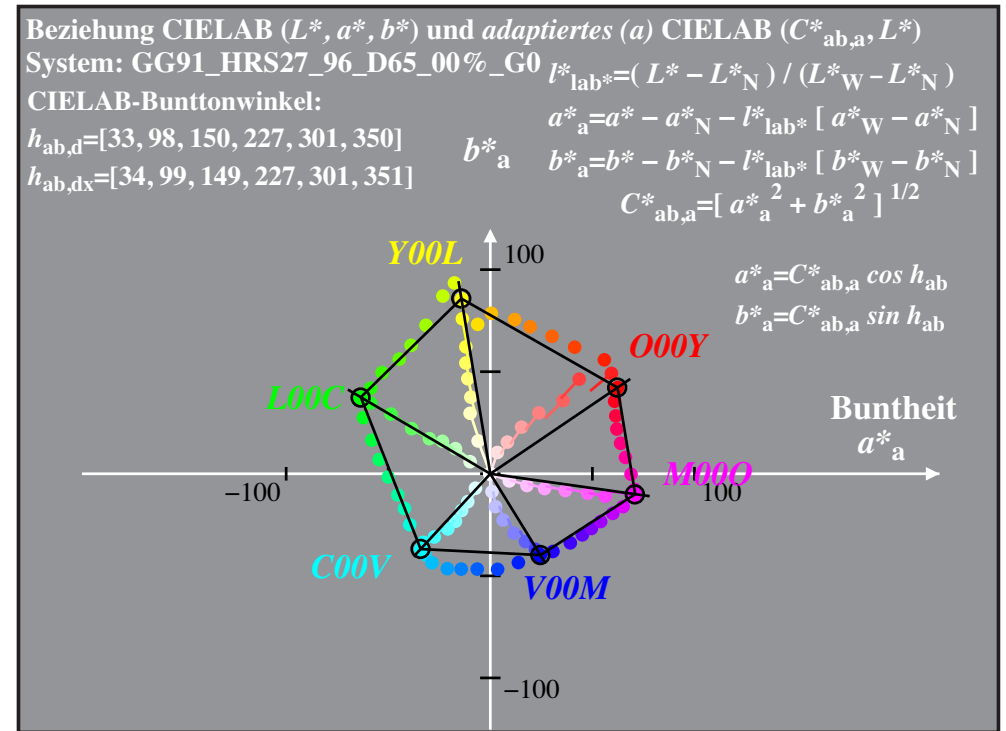
Bild 14: Elementar-Buntonausgabe im Offsetdruck (ORS18) und Fernsehmonitor (TLS00)

Mit jedem Farbausgabegerät können aus den sechs bunten Geräte-Farben die Elementar-Bunttöne gemischt werden. Im Beispiel werden aus den sechs Buntfarben des Norm-Offsetdrucks auf Norm-Offsetpapier ORS18 die Elementar-Bunttöne des Offsetdrucks gemischt (*links*). Analog werden aus den 6 Buntfarben des Norm-Fernsehmonitors im Dunkelraum TLS00 die Elementar-Bunttöne des Fernseh-Monitors gemischt (*rechts*).

Auf neueren Druckern sind die erzeugten 6 Buntfarben oft nicht mehr den sechs Geräte-Bunttönen zuzuordnen. Dies kann an unterschiedlicher Ausgabe für *rgb*- und *cmy0*-Eingabedaten liegen, falls diese nicht mit der "1-Minus-Relation", z. B. $c = 1 - r$, verbunden sind. In diesem Fall liegen die Mischfarben nicht mehr auf den Verbindungslinien von OYLCVM.



GG90-4A, 1



GG91-4A, 1

Bild 15: Drucker-Farbausgabe mit rgb - und $cmy0$ -Eingabedaten (links und rechts)

Viele Drucker erzeugen mit rgb - und $cmy0$ -Eingabedaten, die *nicht* mit der "1-Minus-Relation" verbunden sind, unterschiedliche Ausgaben. Vor einigen Jahren waren die Ausgaben noch weitgehend gleich und z. B. durch unterschiedliches "Colour Management" für rgb - und $cmy0$ -Daten können sie nun verschieden sein.

Im Beispiel liefert ein Laser-Drucker für rgb -Eingabedaten angenähert die Elementarfarbe Blau B bei Eingabe von $rgb = 0\ 0\ 1$ (links). Mit den $cmy0$ -Eingabedaten $1\ 1\ 0\ 1$ (rechts) wird noch angenähert die Gerätefarbe V erzeugt. In Zukunft kann man nicht immer erwarten, dass die sechs Gerätefarben durch die sechs rgb -Eingabewerte $rgb = 1\ 0\ 0, 1\ 1\ 0, 0\ 1\ 0, 0\ 1\ 1, 0\ 0\ 1$ und $1\ 0\ 1$ erzeugt werden, vergleiche Bild 15 (links).

Interpretation *rgb* → *olv**- und CIELAB-Daten
 sRGB-Display mit der Leuchtdichte-Reflexion $L_r=2,5\%$
 Bunttonkreis mit 6 Geräte-Bunttönen *OYLCVM*:
 $h_{ab,a} = 34.8, 103.2, 136.9, 196.4, 304.3, 328.0$
 Elementar-Bunttöne *RJGB*: $h_{ab,a} = 25.4, 92.3, 162.2, 271.7$

Code	L^*	a^*_a	b^*_a	C^*_{ab}	$h_{ab,a}$	<i>rgb</i> → <i>olv</i> *
<i>o00y=O</i>	52.7	71.6	49.8	87.3	34.8	1.00 0.00 0.00
<i>o12y</i>	53.7	68.9	50.7	85.6	36.3	1.00 0.12 0.00
<i>o25y</i>	56.0	62.4	52.9	81.8	40.2	1.00 0.25 0.00
<i>o37y</i>	59.8	52.2	56.4	76.9	47.2	1.00 0.37 0.00
<i>o50y</i>	64.9	39.2	61.0	72.5	57.2	1.00 0.50 0.00
<i>o62y</i>	71.0	24.6	66.4	70.8	69.6	1.00 0.62 0.00
<i>o75y</i>	77.8	9.4	72.3	72.9	82.5	1.00 0.75 0.00
<i>o87y</i>	85.1	-5.5	78.5	78.7	94.0	1.00 0.87 0.00

KG311-5N

Interpretation *rgb* → *olv**- und CIELAB-Daten
 sRGB-Display mit der Leuchtdichte-Reflexion $L_r=2,5\%$
 Bunttonkreis mit 6 Geräte-Bunttönen *OYLCVM*:
 $h_{ab,a} = 34.8, 103.2, 136.9, 196.4, 304.3, 328.0$
 Elementar-Bunttöne *RJGB*: $h_{ab,a} = 25.4, 92.3, 162.2, 271.7$

Code	L^*	a^*_a	b^*_a	C^*_{ab}	$h_{ab,a}$	<i>rgb</i> → <i>olv</i> *
<i>m00o=M</i>	59.0	89.3	-55.7	105.2	328.0	1.00 0.00 1.00
<i>m12o</i>	57.4	85.2	-41.5	94.8	333.9	1.00 0.00 0.87
<i>m25o</i>	56.1	81.5	-26.9	85.9	341.7	1.00 0.00 0.75
<i>m37o</i>	55.0	78.4	-11.7	79.3	351.5	1.00 0.00 0.62
<i>m50o</i>	54.1	75.9	3.8	76.0	2.8	1.00 0.00 0.50
<i>m62o</i>	53.5	74.0	19.1	76.4	14.5	1.00 0.00 0.37
<i>m75o</i>	53.0	72.6	33.4	80.0	24.6	1.00 0.00 0.25
<i>m87o</i>	52.8	71.9	44.4	84.5	31.6	1.00 0.00 0.12

KG311-6N

Bild 16: 9-stufige Farbreihen zwischen Gerätefarben *O* und *Y* sowie *M* und *O*

Die Ausgabe von 8-stufigen Farbreihen mit den Eingabewerten $rgb = 1 \ x \ 0$ mit $x = 0, 1/8, 2/8, 3/8, 4/8, 5/8, 6/8, 7/8$ (vergleiche Bild links) ergibt die CIELAB-Daten und 8 Bunttonwinkel h_{ab} der 8 Ausgabefarben zwischen Orangerot *O* und Gelb *Y* (links). Entsprechendes gilt für den Gerätefarbbereich zwischen *M* und *O* (rechts).

Die Bunttonwinkel $h_{ab}=92,3$ für Elementargelb *J* und $h_{ab}=25,4$ für Elementarrot *R* sind farbig gekennzeichnet. Durch Interpolation werden die CIELAB-Daten für die Elementarfarbe *J* ($rgb^* = 1 \ 1 \ 0$) und die Elementarfarbe *R* ($rgb^* = 1 \ 0 \ 0$) berechnet, die im nächsten Bild verwendet werden.

$rgb \rightarrow rgb^*$ - und CIE-Daten von Elementar-Buntonkreis nach CIE R1-47:2009 für sRGB-Display $L_r=2,5\%$

Code	L^*_a	a^*_a	b^*_a	$C^*_{ab,a}$	h_{ab}	$rgb \rightarrow rgb^*$
Rot R der Elementar-Bunttöne RJGB: $h_{ab,a} = 25.4, 92.3, 162.2, 271.7$						
$r00j=R$	53.0	72.6	34.5	80.4	25.4	1.00 0.00 0.00
$0,5(R+N)$	35.5	36.3	17.2	40.2	25.4	0.50 0.00 0.00
$0,5(R+W)$	74.2	36.3	17.2	40.2	25.4	1.00 0.50 0.50
5-stufige gleichabständige Graureihe: $L^* = 18.0, 37.3, 56.7, 76.0, 95.4$						
$n000w=N$	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00 0.00 0.00
$n025w$	37.3	0.0	0.0	0.0	325.3	0.25 0.25 0.25
$n050w$	56.7	0.0	0.0	0.0	324.8	0.50 0.50 0.50
$n075w$	76.1	0.0	0.0	0.0	323.7	0.75 0.75 0.75
$n100w=W$	95.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00 1.00 1.00

KG310-5N

$rgb \rightarrow rgb^*$ - und CIE-Daten von Elementar-Buntonkreis nach CIE R1-47:2009 für sRGB-Display $L_r=2,5\%$

Code	L^*_a	a^*_a	b^*_a	$C^*_{ab,a}$	h_{ab}	$rgb \rightarrow rgb^*$
Elementar-Buntonkreis mit Bunton: $h_{ab,a} = 25.4, 92.3, 162.2, 271.7$						
$r00j=R$	53.0	72.6	34.5	80.4	25.4	1.00 0.00 0.00
$r25j$	57.1	59.5	53.9	80.3	42.1	1.00 0.25 0.00
$r50j$	65.7	37.3	61.7	72.1	58.8	1.00 0.50 0.00
$r75j$	74.0	17.7	69.0	71.2	75.6	1.00 0.75 0.00
5-stufige gleichabständige Graureihe: $L^* = 18.0, 37.3, 56.7, 76.0, 95.4$						
$n000w=N$	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00 0.00 0.00
$n025w$	37.3	0.0	0.0	0.0	325.3	0.25 0.25 0.25
$n050w$	56.7	0.0	0.0	0.0	324.8	0.50 0.50 0.50
$n075w$	76.1	0.0	0.0	0.0	323.7	0.75 0.75 0.75
$n100w=W$	95.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00 1.00 1.00

KG310-6N

Bild 17: Farben im Farbdreieck und 5-stufige Farbreihen im Buntonkreis und Graureihe

Als Beispiel sind die CIELAB-Daten für einen sRGB-Monitor mit 2,5% Leuchtdichte-Reflexion im Vergleich zum Referenzweiß (100%) angegeben. Zu den rgb^* -Daten gehört die Elementarfarbe Rot R oder Mischungen zwischen Rot R und Schwarz N sowie zwischen Rot R und Weiß W . Für rgb^* -Daten in der Mitte liegen auch die CIELAB-Daten der Ausgabefarben in der Mitte.

Die Gleichungen zur Berechnung der CIELAB-Daten für gegebene rgb^* -Daten und umgekehrt wurden von Richter (2008) veröffentlicht und werden in DIN 33872-1 verwendet. Nach Bild 17 wird der durch die Koordinaten rgb^* definierte CIELAB-Farbraum im Bereich $0 \leq rgb^* \leq 1$ bei $9 \times 9 \times 9$ rgb -Eingabefarben gefüllt. Bei gegebenen CIELAB-Daten werden die rgb^* -Daten (Strich-Stern-Daten) nach Richter (2010b) berechnet, welche die gewünschten Zielfarben erzeugen. Die Effizienz ist fuer alle Display-Reflexionen konstant und groesser als mit ICC-Farbmanagement.

Zusammenfassung und Ausblick

Auf der Basis von geräteabhängigen Farbsystemen und dem Elementar-Farbsystem wurden benutzerfreundliche rgb^* -Koordinaten für DIN 33872 und die tägliche Anwendung sowohl für Farbmessung, Architektur, Kunst und Design als auch für die Farbinformationstechnik entwickelt. Es existiert eine farbmetrische Verbindung der benutzerfreundlichen rgb^* - und ncu^* -Koordinaten mit den CIELAB-Koordinaten L^* , C^*_{ab} und h_{ab} .

Die CIELAB-Elementarfarbwinkel h_{ab} der vier Elementarfarben $RJGB$ werden im Bericht CIE R1-47:2009 empfohlen. Die CIELAB-Buntonwinkel $h_{ab} = 26, 92, 162$ und 272 sind geräteunabhängig. Die benutzerfreundlichen Koordinaten sind so definiert, dass für die Daten $rgb^* = 1\ 0\ 0, 0\ 1\ 0$ und $0\ 0\ 1$ die drei Elementarfarben RGB in der Ausgabe erzeugt werden.

Experimentelle Ergebnisse von *Holtsmark und Valberg* (1969) über gleiche Farbschwellen von komplementären Optimalfarben und physiologische Signale beim Farbsehen als Funktion von Leuchtdichte und Farbart sowie experimentelle Ergebnisse von *Evans* (1974) über Farben gleicher Schwarzheit n^* und Farbschwellen führen wahrscheinlich in den nächsten Jahren zu einer neuen Farbabstandsformel für Farbschwellen.

Es ist das Ziel zum Beispiel Schwellenexperimente von *Kittelman* (2010) auf dieser Basis besser zu beschreiben als mit den bisherigen Farbabstandsformeln CIELAB, CIEDE2000 und DIN99. Erste Daten in dieser Richtung wurden von *Richter* (2010a) gesammelt und diskutiert. Im Rahmen der CIE sollen auch Werte für Farbschwellen (nahe $\Delta E^*_{ab} = 0,4$ nach *Kittelman*) festgelegt werden.

Als Referenzbeispiel für die Elementarfarbausgabe und von gleichabständigen 5- und 16-stufigen Farbreihen dient der Farbatlas REFS (Relatives Elementar-Farbsystem, englisch RECS) mit 2000 Farbmustern im Norm-Offsetdruck auf Norm-Offsetpapier, siehe ISO/IEC 15775 und <http://www.ps.bam.de/REFS>

Literatur und Links zu Veröffentlichungen und Prüfvorlagen

CIE 15: 2004, Colorimetry

ISO 11664-4:2008(E)/CIE S 014-4/E:2007: Joint ISO/CIE Standard: CIE Colorimetry — Part 4: 1976 $L^*a^*b^*$ Colour Space (CIELAB)

ISO/IEC 15775:1999, Information Technology – Office Systems – Method for specifying image reproduction of colour copying machines by analog test charts – Realisation and application, Editor: K. Richter.

ISO/IEC TR 19797:2004, Information Technology – Office Systems – Device output of 16-step colour scales, output linearization method (LM) and specification of the reproduction properties, Editor: K. Richter, Für Information und Prüfvorlagen nach ISO/IEC TR 19797 siehe

<http://www.ps.bam.de/19797TE>

ISO/IEC TR 24705:2005, Information Technology – Office Systems – Method of specifying image reproduction of colour devices by digital and analog test charts, Editor: K. Richter, Für Information und Prüfvorlagen nach ISO/IEC TR 24505 siehe

<http://www.ps.bam.de/24705TE>

Evans, Ralph M. (1974), The perception of color, John Wiley & Sons, N. Y., 248 Seiten.

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

Hurvich, Leo. M (1981), Colour Vision, Sinauer Associates Inc, Sunderland, Massachusetts, ISBN 0 87893-336-0

Kittelman, Philipp (2010), Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln, Dissertation, Technische Universität Berlin, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, (132 Seiten, 9,8 MB, PDF-Format), siehe

<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2010/2634/>

Natural Colour System NCS (1982), Svensk Standard SS 01 91 0:1982, Colour notation system – SS 01 91 01:1982

Richter, K. (1996), Computergrafik und Farbmeterik, Farbsysteme, PostScript, geräteunabhängige CIE-Farben, VDE-Verlag, Berlin, ISBN 3-8007-1775-1, 288 Seiten einschließlich CD-ROM und ungefähr 500 Farbbildern, siehe

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

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

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

DIN-Prüfvorlagen nach DIN 33872-1 to -6 für relative affine Farbbildwiedergabe mit Ausgabefragen auf der jeweils letzten Seite

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

K. Richter (2007), Farbmeterische Ergänzung zu DIN E 33872-1 bis -6, 39 Seiten, 1,4 MB, siehe

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

Richter, Klaus (2008), Relatives Elementar-Farbsystem REFS als digitaler und analoger Farbatlas (36 Seiten mit ca. 2000 Farbmustern), Kurzinformation und Bestellhinweise, 1 Seite, 100 KB

<http://130.149.60.45/~farbmeterik/REFS08.PDF>

Richter, Klaus (2009), Output Linearization in CIELAB for visual displays with 8 different Luminance reflections of indoor illuminants, Light and Lighting Conference with special emphasis on LEDs and Solid state lighting, Proceedings, Budapest, 10 Seiten, Nr. PwDaS-39 auf CD

Richter, Klaus (2009), Klaus, 10 Jahre gleichabständige Farbausgabe in CIELAB für gleichab-

ständige rgb -Farbeingabe in Normen und Elementar-Farbausgabe nach DIN 33872, 10 Seiten, 800 KB

<http://130.149.60.45/~farbmetrik/REFS09.PDF>

Richter, Klaus (2009), Bericht über die CIE-Sitzungen in Budapest 2009, 22 Seiten, 600 KB

<http://130.149.60.45/~farbmetrik/CIEB09.PDF>

Richter, Klaus (2010a), ISO-CIE trend for the description of colour threshold data by new coordinates based on the device independent elementary colour coordinates of the report CIE R1-47:2009, siehe die URL (18 Seiten, 500 KB)

http://130.149.60.45/~farbmetrik/CIE_ISO_10.PDF

Richter, Klaus (2010b), ISO-CIE Trend for Color Output of equally spaced Color Series and Elementary Hues $RJGB$ on Displays for Eight Ambient Reflections of ISO 9241-306:2008, siehe

http://130.149.60.45/~farbmetrik/CIE_ISCCG_10.PDF

Wagenknecht, Hans (2009), Farbmetrische Verarbeitung von Bilddaten von Scanner-Systemen mit geeigneten Prüfvorlagen und Druckerausgabe, Dissertation, Technische Universität Berlin, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, siehe die URL (132 Seiten, 6,3 MB, PDF-Format)

<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2009/2291/>

Anmerkung: Die Zusammenfassung und die Literatur wurde am 1. Juli 2010 an die neuere Entwicklung seit dem Vortrag auf der DfWG-Tagung im Oktober 2009 angepasst.

Dank: Ich danke insbesondere Herrn Dr. Jens Witt, Dr. Stefan Jaeger, Dr. Hans Wagenknecht, Dr. Philipp Kittelmann und Bernd Muschik (alle Mitarbeiter der BAM) für wissenschaftliche Anregungen und andere Unterstützungen dieser Arbeit.