

Rahmendatei-Farbmanagement (FF_CM) für die ergonomische Display Ausgabe von SDR- und HDR-rgb*-Bildern auf SDR- und HDR-Displays

Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität Berlin, Sektion Lichttechnik, 2024-07-01

Zum Download dieser Veröffentlichung siehe

<http://farbe.li.tu-berlin.de/disgam25d.pdf> auf deutsch oder <http://color.li.tu-berlin.de/disgam25e.pdf>

oder https://web.archive.org/web/*/http://farbe.li.tu-berlin.de/disgam25d.pdf

oder siehe *Publikationen* unter <http://color.li.tu-berlin.de/XY91FDE.html>

Inhalt

- 1. Einleitung**
- 2. CIEXYZ- und CIELAB-Daten für Displays mit drei Weiß W_{D0} , W_{P1} und W_{P2}**
- 3. Definition und Prüfvorlageausgabe mit HDR-rgb*-Werten in drei Anwendungsfällen**
- 4. Rahmendatei (FF), Linearisierungsmethode (LM) und Farbmanagement (CM)**
- 5. Ausgabe von Bildern der meisten Formate mit einem möglichen HDR-Inhalt ($rgb^* \geq 1$)**
- 6. Prüfvorlageausgabe für 16 verschiedene Gammawerte**
- 7. Farbmetrische Grundlagen für unterschiedliche Gamma-Werte in Anwendungen**
- 8. Diffuses Schwarz N_{d0} und Weiß W_{D0} , sowie Kopfschwarz N_{p1} und Kopfweiß W_{P1} und W_{P2}**
- 9. CIEXYZ- und CIELAB-Daten für unbunte und chromatische Farben**
- 10. Diskussion der Ergebnisse mit Vorteilen und Nachteilen**
- 11. Literatur**

1. Einleitung

Neue Displays des Hochdynamischen Bereichs (HDR) führen zu neuen Möglichkeiten für die Ausgabe von Bildern im Vergleich zum Normdynamischen Bereich (SDR). Die ergonomische Ausgabe nach ISO 9241-306 [1] und ISO/IEC 15775 [2] für SDR-Bilder und die Ausgabe von HDR-Bildern wird beschrieben und diskutiert.

Zwei weiße Kreise mit +1 und +2 Blendenstufen Überbelichtung werden zu einem neuen Bild kombiniert, das auf zwei Bildern mit Farbmustern und dem Blumenmotiv von [1] basiert. In den *pdf*-Dateien wird der Bereich $0 \leq rgb^* \leq 1$ für SDR-Displays erweitert, um den Bereich des HDR-Display-Kopfraum abzudecken.

Die *relative* Graustufung für den Normleuchtdichtebereich $L_W : L_N = 36 : 1$ von [1] und [2] muss auf Papier und auf Displays für Arbeitsplätze identisch sein. Im Anwendungsfall kann das weiße Papier die Hälfte des Displays abdecken. An ergonomischen Arbeitsplätzen wird die Leuchtdichte des weißen Displays an die Leuchtdichte des weißen Papiers angepaßt, um eine Ermüdung der Benutzer zu vermeiden.

Für die CIE-Normfarbwerte entspricht dem Bereich $2,5 \leq Y \leq 90$, der Leuchtdichtebereich $3,6 \leq L \leq 142 \text{ cd/m}^2$ und der CIELAB-Bereich $18 \leq L^* \leq 95$. Die Leuchtdichte $L=142 \text{ cd/m}^2$ wird durch die Gleichung $L = R (I / \pi) \text{ cd/m}^2$ mit der Reflexion $R=0,9$ und der Beleuchtungsstärke $I = 500 \text{ Lux}$ definiert, die für Büros gemäß ISO 8895-1 empfohlen wird [7].

2. CIEXYZ- und CIELAB-Daten für Displays mit drei Weiß W_{D0} , W_{P1} und W_{P2}

<http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm9/fgm9I0np.pdf> / .ps; nur Vektorgrafik VG; Start-Ausgabe
 Siehe separate Bilder dieser Seite: <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm9/fgm9.htm>

Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für Weiß $Y_W=200$	Normfarb- wertenteile x_d y_d	Normfarbwerte ($Y_d=200$ für Weiß D65) X_d Y_d Z_d	Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für Weiß $Y_W=200$	CIELAB-Daten $L^*a^*b^*C^*_{ab}h_{ab}$ ($Y_d, P1=200$ für Weiß D65) L^*_d a^*_d b^*_d $C^*_{ab,d}$ $h_{ab,d}$
Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1			Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1	
C_{P0} Cyan 200 (rgb*=0 p p)	0,224 0,328	107,62 157,48 213,96	C_{P1} Cyan 200 (rgb*=0 p p)	118,95 -60,58 -17,81 63,14 199
M_{D0} Magenta 200 (rgb*=p 0 p)	0,320 0,154	118,56 56,96 193,99	M_{P1} Magenta 200 (rgb*=p 0 p)	80,15 123,76 -76,65 145,57 324
Y_{D0} Gelb 200 (rgb*=p p 0)	0,419 0,505	153,98 185,56 27,70	Y_{P1} Gelb 200 (rgb*=p p 0)	126,54 -27,18 119,03 122,10 110
Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1			Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1	
R_{D0} Rot 200 (rgb*=p 0 0)	0,640 0,330	82,46 42,52 3,86	R_{P1} Rot 200 (rgb*=p 0 0)	71,22 100,89 84,66 131,71 19
G_{D0} Grün 200 (rgb*=0 p 0)	0,300 0,600	71,52 143,04 23,83	G_{P1} Grün 200 (rgb*=0 p 0)	114,70 -108,59 104,80 150,91 144
B_{D0} Blau 200 (rgb*=0 0 p)	0,150 0,060	36,10 14,44 190,12	B_{P1} Blau 200 (rgb*=0 0 p)	44,85 99,77 -135,89 168,59 290
Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:			Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:	
W_{P1} Weiß 200 (rgb*=p p p) $p=1,30$	0,312 0,329	190,10 200,00 217,80	W_{P1} Weiß 200 (rgb*=p p p) $p=1,30$	130,15 0,00 0,00 0,00 0,00
W_{D0} Weiß 100 (rgb*=rgb*=1 1 1)	0,312 0,329	95,05 100,00 108,90	W_{D0} Weiß 100 (rgb*=rgb*=1 1 1)	100,00 0,00 0,00 0,00 0,00
N_{D0} Schwarz 2,5 (rbg=rgb*=0 0 0)	0,312 0,329	2,37 2,50 2,72	N_{D0} Schwarz 2,5 (rbg=rgb*=0 0 0)	17,91 0,00 0,00 0,00 0,00
N_{P1} Schwarz 1,8 (rgb*=q q q) $q=-0,03$	0,329 1,71	1,80 1,96	N_{P1} Schwarz 1,8 (rgb*=q q q) $q=-0,03$	14,40 0,00 0,00 0,00 0,00
Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für Weiß $Y_W=100$			Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für Weiß $Y_W=500$	
Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1			Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1	
C_{P1} Cyan 100 (rgb=rgb*=0 1 1)	91,11 -48,08	-14,13 50,11 199	C_{P2} Cyan 500 (rgb*=0 p p)	167,16 -82,22 -24,17 85,70 199
M_{P1} Magenta 100 (rgb=rgb*=1 0 1)	60,31 98,22	-60,84 115,54 324	M_{P2} Magenta 500 (rgb*=p 0 p)	114,50 167,96 -104,04 197,58 324
Y_{P1} Gelb 100 (rgb=rgb*=1 1 0)	97,13 -21,57	94,48 96,91 110	Y_{P2} Gelb 500 (rgb*=p p 0)	177,46 -36,89 161,56 165,72 110
Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1			Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1	
R_{P1} Rot 100 (rgb=rgb*=1 0 0)	53,23 80,07	67,19 104,53 19	R_{P2} Rot 500 (rgb*=p 0 0)	102,38 136,93 114,90 178,75 19
G_{P1} Grün 100 (rgb=rgb*=0 1 0)	87,73 -86,18	83,18 119,78 144	G_{P2} Grün 500 (rgb*=0 p 0)	161,38 -147,38 142,24 204,82 144
B_{P1} Blau 100 (rgb=rgb*=0 0 1)	32,30 79,19	-107,86 133,81 290	B_{P2} Blau 500 (rgb*=0 0 p)	66,59 135,41 -184,44 228,81 290
Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:			Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:	
W_{P1} Weiß 200 (rgb*=p p p) $p=1,30$	130,15 0,00	0,00 0,00 0,00	W_{P2} Weiß 500 (rgb*=p p p) $p=1,82$	182,35 0,00 0,00 0,00 0,00
W_{D0} Weiß 100 (rgb*=rgb*=1 1 1)	100,00 0,00	0,00 0,00 0,00	W_{D0} Weiß 100 (rgb*=rgb*=1 1 1)	100,00 0,00 0,00 0,00 0,00
N_{D0} Schwarz 2,5 (rbg=rgb*=0 0 0)	17,91 0,00	0,00 0,00 0,00	N_{D0} Schwarz 2,5 (rbg=rgb*=0 0 0)	17,91 0,00 0,00 0,00 0,00
N_{P1} Schwarz 1,8 (rgb*=q q q) $q=-0,03$	14,40 0,00	0,00 0,00 0,00	N_{P1} Schwarz 1,8 (rgb*=q q q) $q=-0,03$	14,40 0,00 0,00 0,00 0,00

TUB-Prüfvorlage fgm9; Displayssystem sRGB nach IEC 61966-2-1 (1,8 <= Y <= 500)
 CIE-Daten von 3 Grund- und Mischfarben, CIEXYZ & CIELAB, $Y_{WD0/P1/P2}=100, 200, 500$

Bild 1: CIE-Normfarbwerte Y und CIELAB-Werte für SDR- und HDR-Displays.

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm9/fgm9I0np.pdf>

ISO 22028-5 [3] definiert für die Leuchtdichte von Weiß W drei Werte, die hier als diffus Weiß (W_{D0}), und Kopfweiß (W_{P1}) und (W_{P2}) bezeichnet werden. In Bild 1 sind die Normfarbwerte Y zusammen mit einem Wert für diffuses Schwarz (N_{D0}) nach [1] und [2] und einem Kopfschwarz (N_{D1}) angegeben. In Bild 1 ist das Leuchtdichteverhältnis $L_{P2} : L_{P1} : L_{D0}$ von [3] identisch mit $Y_{P2} : Y_{P1} : Y_{D0} = 5 : 2 : 1$. Für Tabellen, die auf [1] und [2] basieren, und für das Y-Verhältnis $360 : 180 : 90 = 4 : 2 : 1$, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm8/fgm8I0np.pdf>. Siehe auch Bild 20 dieser Veröffentlichung.

3. Definition und Prüfvorlageausgabe mit HDR-rgb*-Werten in drei Anwendungsfällen

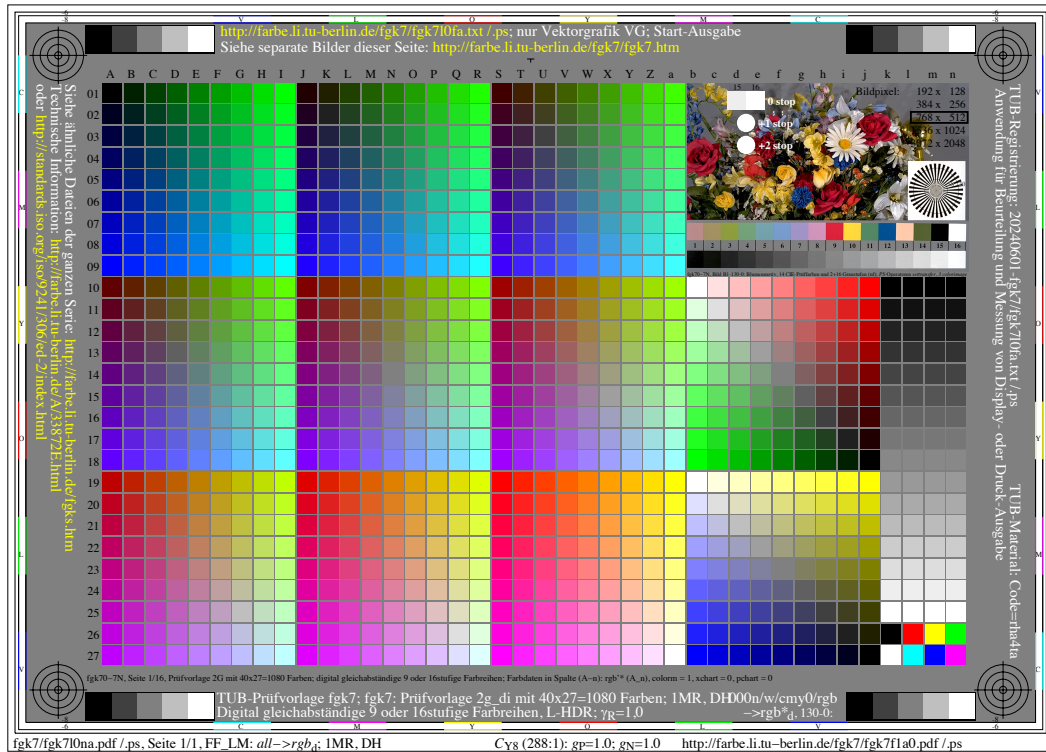


Bild 2: Prüfvorlagenausgabe mit Blumenbild von [1] auf einem SDR-Display mit Weiß Y_{D0}

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk7/fgk7fia0.pdf>

In Bild 2 ist die Ausgabe der drei Weiß mit den drei Blendenstufen +2, +1 & 0 (Y_{P2} , Y_{P1} , Y_{D0}) gleich. Für W_{P1} und W_{P2} werden die Werte $rgb^*_{P1=1,25}$ und $rgb^*_{P2=1,56}$ nach $L^*_{P1} = 125$ und $L^*_{P2} = 156$ verwendet. Beide rgb^* -Werte sind in der *eps*- und *pdf*-Datei größer 1. Alle Werte $rgb^* \geq 1$ werden jedoch standardmäßig gemäß den Programmiersprachen *eps* und *pdf* auf 1,0 reduziert. Die Ausgabe enthält daher keine HDR-Inhalte. Die weißen Kreise sind gleich dem Beispielweiß Nr. 16 im Blumenbild mit $rgb^*=1$. Daher wird die übliche SDR-Ausgabe dargestellt.

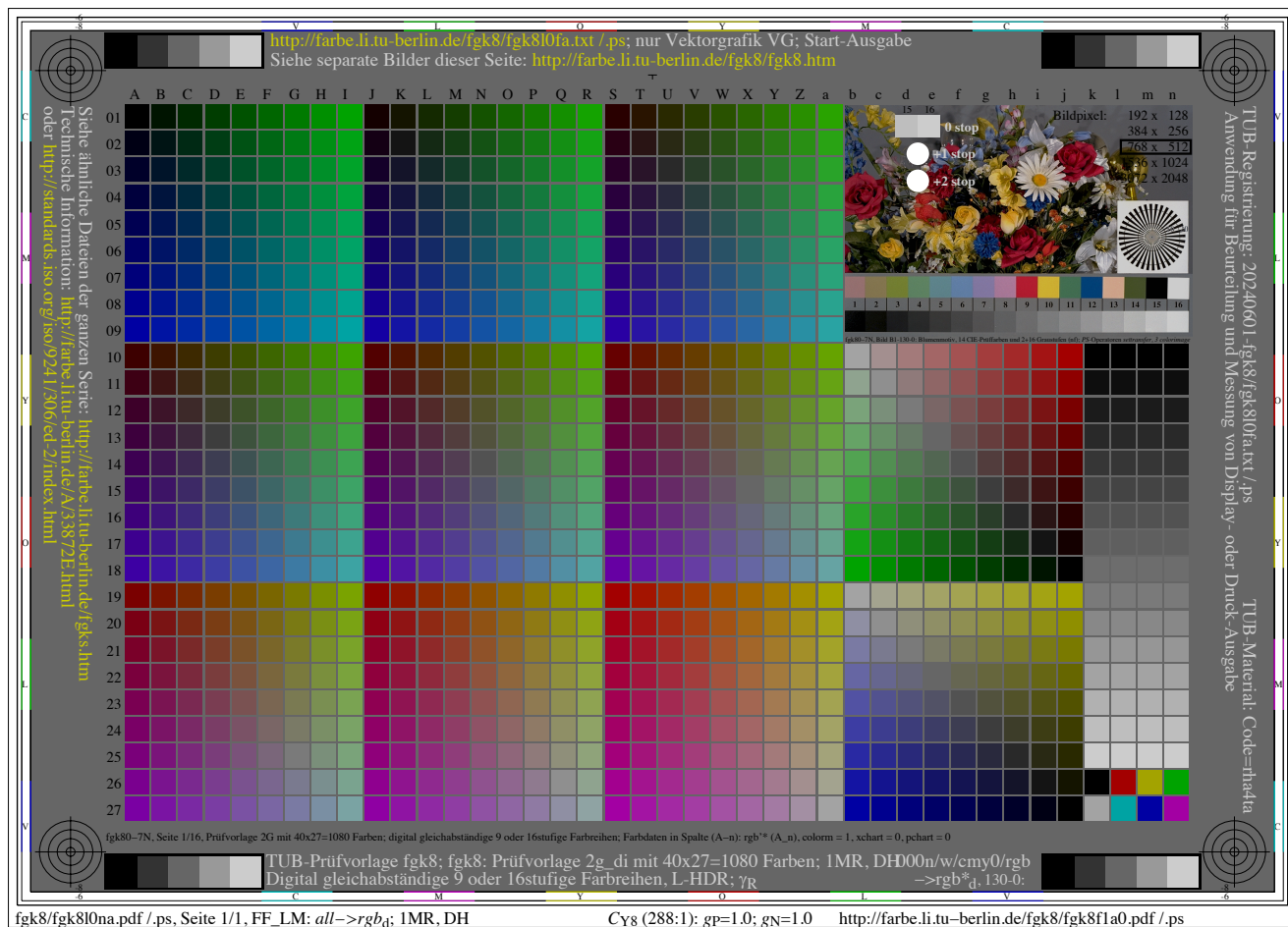


Bild 3: Prüfvorlagenausgabe mit Blumenbild von [1] auf einem SDR-Display mit Weiß Y_{D0} .
 Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk8/fgk8fia0.pdf>
 Die Ausgabe der beiden Weiß der Blendenstufen +2 (Y_{P2}), +1 (Y_{P1}) ist gleich und beide sind heller als +0 (Y_{D0}). Im Vergleich zu Bild 1 sind die Graustufen im Blumenbild und im Beispieldiagramm dunkler. Bild 2 basiert auf einer Reduktion aller rgb^* -Werte um den Faktor $GammR= 0,80$.

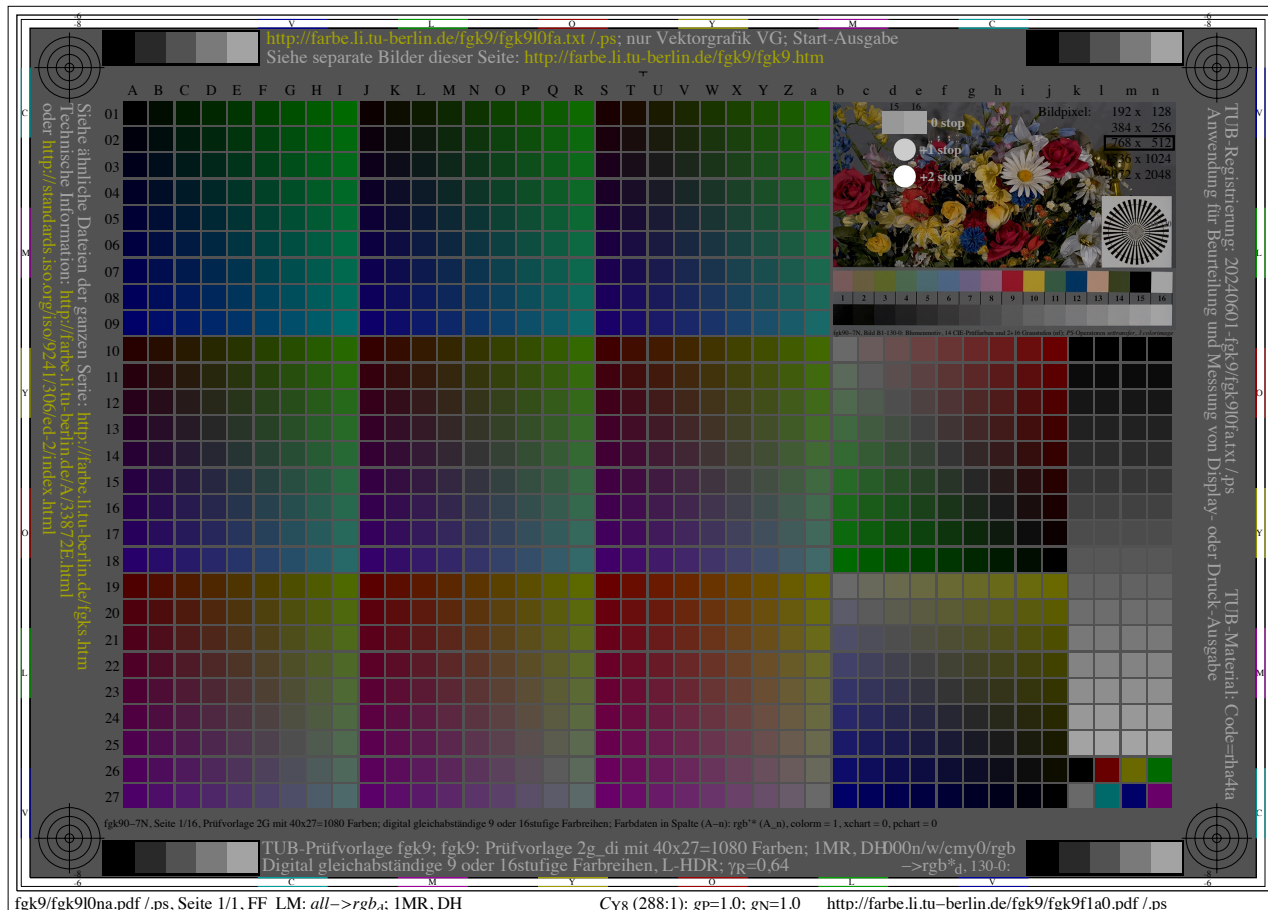


Bild 4: Prüfvorlagenausgabe mit Blumenbild von [1] auf einem SDR-Display mit Weiß Y_{D0} .

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk9/fgk9f1a0.pdf>

Die Helligkeit der drei Weiß der Blendenstufen +2 (Y_{P2}), +1 (Y_{P1}) und +0 (Y_{D0}) nimmt ab. Im Vergleich zu Bild 1 sind die Graustufen im Blumenbild und im Beispieldiagramm dunkler.

Bild 2 basiert auf einer Reduktion aller rgb^* -Werte um den Faktor $GammR = 0,64$. Auf HDR-Displays mit Weiß Y_{P2} wird der Inhalt $0 \leq rgb^* \leq 1,56$ angezeigt. Die Farben sehen dunkler aus als in Bild 2.

4. Rahmendatei (FF), Linearisierungsmethode (LM) und Farbmanagement (CM)

<http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm0/fgm0l0np.pdf> ;ps; nur Vektorgrafik VG; Start-Ausgabe
 Siehe separate Bilder dieser Seite: <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm0/fgm0.htm>

Links (Original Code):
 Frame File PostScript Code (FF_PS) mit drei Schleifen (wichtige Teile) und Zeile 05 (%line 139) zum Einfügen von Transfer-PS-Codes und Zeile 20 (%line 239) zum Einfügen der ISO- oder DIN-Prüfvorlage
 01 !IPS-Adobe-3.0 EPSF-3.0 fgm0LMFF.ps 20110801
 02 %%BoundingBox: 0 0 842 595
 03
 04 %%line169 %%BEG INCLUDE TRANSFER PS CODES
 05
 06 %%END INCLUDE TRANSFER PS CODES
 07 %%endprolog
 08 gsave
 09
 10 color10f 1 color20f (/color1f exch def /color10f,color20f
 11 gsave
 12
 13 xcolor10f 1 xcolor20f (/xcolor1f exch def /xcolor10f,xcolor20f
 14 gsave
 15
 16 xchart10f 1 xchart20f (/xchart1f exch def /xchart10f,xchart20f
 17 gsave
 18
 19 %line 239 %%BEG INCLUDE TEST FILE PS CODE
 20
 21 %%END INCLUDE TEST FILE PS CODE
 22
 23 68 IM 1.5 NM moveto
 24 (http://130.149.60.45/~farbmetrik/fgm0/fgm0LMFF.PDF) showdef
 25
 26 showpage
 27 grestore
 28
 29) for tend for xchart=xchart10f,xchart20f
 30 grestore
 31) for tend for xcolor=xcolor10f,xcolor20f
 32 grestore
 33) for tend for color=color10f,color20f
 34 %%trailer
 Erläuterungen:
 Die äußere Schleife 10 bis 34 ist ohne/mit Linearisierungs-Methode color1f=0/1 ohne/mit Rahmendatei-Linearisierungs-Methode (FF_LM)
 Die mittlere Schleife 13 bis 31 ist für die Anzahl der Raum-Reflexionen xcolor1f=0 bis 7 für 8 Display-Leuchtdichte-Reflexionen
 Die innere Schleife 16 bis 29 ist für die Anzahl der ISO-Prüfvorlagen xchart1f=0 bis 11 für 1 bis 12 ISO- und DIN-Prüfvorlagenseiten
 Einfügen von TRANSFER PS CODE, zum Beispiel IMR, DEH, an Zeile 05
 Einfügen von TEST FILE PS CODE, zum Beispiel MG16 von ISO 9241-306

Rechts (Modifizierter Code):
 Frame File PostScript Code für 1-Minus-Relation (IMR) nach setrgbcolor und Zeile 05 bis 07 zum Ändern von setgray nach setrgbcolor und Zeile 09 bis 13 zum Ändern von setcmykcolor nach setrgbcolor
 01 !IPS-Adobe-3.0 EPSF-3.0, IMR for change to setrgbcolor
 02 /IMR-0000 (%BEG procedure IMR-0000
 03 /IMR-Transform of setgray and setcmykcolor to FFM_setrgbcolor
 04
 05 /setgray (%BEG procedure setgray to setrgbcolor
 06 dup dup FFM_setrgbcolor
 07) def %%END procedure setgray to setrgbcolor
 08
 09 /setcmykcolor (%BEG procedure setcmykcolor to setrgbcolor
 10 /FFM_k exch def /FFM_y exch def /FFM_m exch def /FFM_c exch def
 11 /FFM_k 0 eq (1 /FFM_c sub 1 /FFM_m sub 1 /FFM_y sub FFM_setrgbcolor)
 12 (1 /FFM_k sub dup dup FFM_setrgbcolor) ifelse
 13) def %%END procedure setcmykcolor to setrgbcolor
 14
 15) def %%END procedure IMR-0000
 16 %%trailer %%END 1-Minus-Relation (IMR) to setrgbcolor
 Erläuterungen:
 Der FF_PS-Code enthält: /FFM_setrgbcolor (setrgbcolor) bind def
 Dann wird aus setgray und setcmykcolor das Norm-setrgbcolor
 fgm0-3N

TUB-Registrierung: 20240201- fgm0/fgm0l0np.pdf /ps
 Anwendung für Bearbeitung und Messung von Display- oder Druck-Ausgabe
 TUB-Material-Code=thm4th

TUB-Prüfvorlage fgm0: Frame File PS-Code (FF_PS), Hauptdatei mit Schleifen zur PS-Code-Änderung
 TRANSFER-PS-CODE für 1-Minus-Relationen: /setgray & /setcmykcolor -> /setrgbcolor

Bild 5: PostScript (PS) Code einer Rahmendatei (links) mit 2 Ausgabesteuerungsbeispielen

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm0/fgm0l0np.pdf>

Die Ausgabe jeder EPS-Datei kann durch einen EPS-Code in einer Rahmendatei (FF) gesteuert werden, siehe linker Teil. Die Steuerungsmethode wird als Linearisierungsmethode (LM) oder Farbmanagementmethode (CM) bezeichnet. Eine Beschreibung dieser Methode für den Consumer- und professionellen Bereich basiert auf *PostScript*.

Diese FF_CM ist in CIE R09 (2014, nur für CIE-Mitglieder) oder in einer Veröffentlichung mit ähnlichem technischen Inhalt, siehe *Richter* (2013) [4] verfügbar.

Der rechte Teil enthält den PS-Code, mit dem die PS-Werte *setgray* und *setcmykcolor* durch *setrgbcolor* ersetzt werden. Ein Anwendungsbeispiel ist in Bild 6 dargestellt.

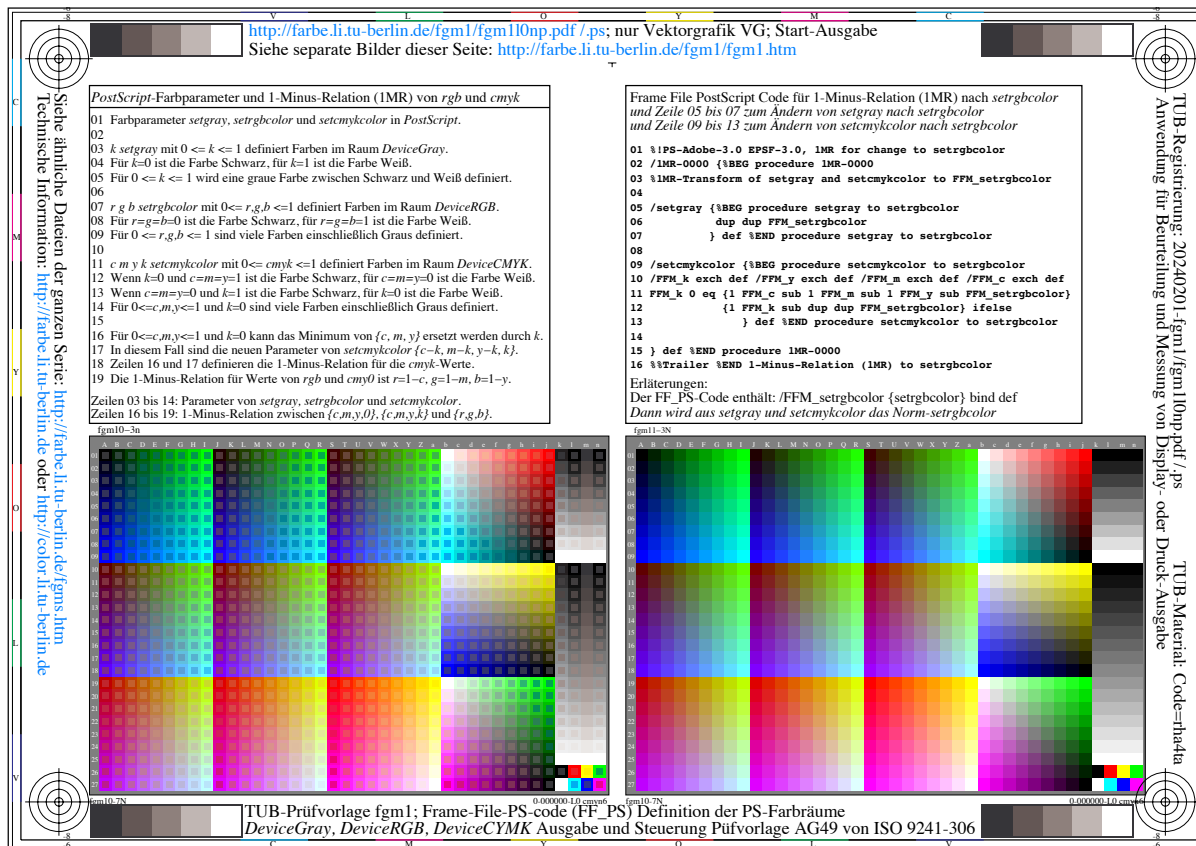


Bild 6: Ursprünglicher PS-Code *w** und *cmk** mit Ersatz durch *rgb**-PS-Code

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm1/fgm10np.pdf>

Verschiedene PS-Operatoren *setrgbcolor*, *setgray* und *setcmykcolor* werden verwendet, um die gleiche Farbe zu beschreiben. Zum Beispiel gibt es vier Möglichkeiten, dieselbe graue Farbe zu beschreiben. Die vier PS-Operatoren (links) werden alle durch eine Rahmendatei in die *rgb**-Werte geändert. Zum Beispiel DIN 33872-1 bis 6 [10] prüft die Ausgangseigenschaften, siehe

<http://farbe.li.tu-berlin.de/A/33872.html>

4. Ausgabe von Bildern der meisten Formate mit einem möglichen HDR-Inhalt ($rgb^* \geq 1$)

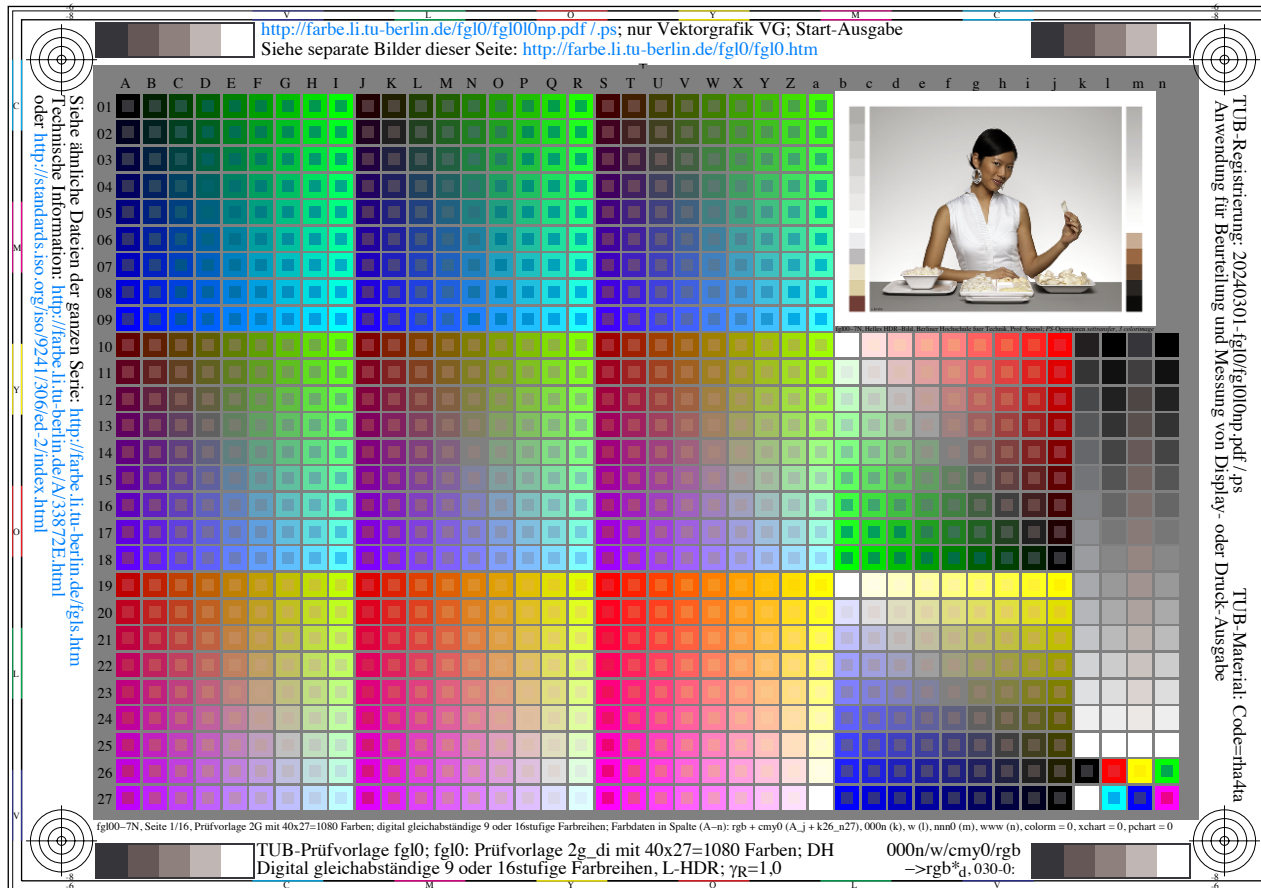


Bild 7: Ausgabe eines Bildes mit HDR-Inhalt auf einem SDR-Display mit Weiß Y_{D0} .

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgl0/fgl010np.pdf>

Bilder gibt es in vielen Dateiformaten. Wenn das Dateiformat in das eps-Format geändert wird, kann die Rahmendateimethode verwendet werden, um die Ausgabe zu steuern. Dies wird im Folgenden gezeigt.

<pre> %***** %BEG Pixel image 546 406 translate %!PS-Adobe-3.0 EPSF-3.0 %%Creator: GraphicConverter 12 %%Title: roman16_01_highkey_lowres.eps %%CreationDate: 2024-03-20 %%Pages: 1 %%BoundingBox: 0 0 157 115 %%EndComments %%BeginProlog /readstring { currentfile exch readhexstring pop } bind def /rpicstr 329 string def /gpicstr 329 string def /bpicstr 329 string def %%EndProlog %%Page: 1 1 gsave 0 0 translate 157 1.3 mul 115 1.3 mul scale { } settransfer 329 240 8 [329 0 0 -240 0 240] { rpicstr readstring } { gpicstr readstring } { bpicstr readstring } true 3 colorimage fffffffffffffffffffffffffffff.. .. %grestore %showpage %%EOF %END Pixel image %***** </pre>	<p>Dies ist ein Beispiel-EPS-Code eines Beispielbildes. Diese Zeile erzeugt das Bild an der oberen rechten Position.</p> <p>Die Software "GraphicConverter" hat das EPS-Format erzeugt. Etwa 70 Formate können in das EPS-Format gewandelt werden.</p> <p>Beispieldatei mit diesem Bild: http://farbe.li.tu-berlin.de/fgl0/fgl0f1p0.txt http://farbe.li.tu-berlin.de/fgl0/fgl0f1p0.pdf</p> <p>Der PS-Operator "1.3 mul" erzeugt die Größe an der Position. Der PS-Operator "{ } settransfer" erlaubt Gamma-Änderung. Änderung erfolgt nur, falls die Prozedur FF_CM vorhanden ist.</p> <p>Änderung erfolgt für die angestrebte Bildänderung nur mit dem Rahmendateifarbmanagement (FF_CM), zum Beispiel mit Gammaänderung oder Transfer cmyk <-> rgb in zwei Richtungen.</p>
---	--

fgk10-6n

Bild 8: EPS-Format des Bildes in Bild 7 auf einem SDR-Display mit Weiß Y_{D0}

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk1/fgk10-6n.pdf>
Das Dateiformat des Damenbildes in Bild 7 wird durch die Beispielsoftware *GraphicConverter* in das eps-Format geändert. Dieses Damenbild ist anstelle des Blumenbildes in Bild 2 enthalten. Wichtig für das Folgende ist die Einfügung des PS-Operators { } *settransfer*.

```

%*****
%BEG Frame File Linearization Method (FF LM)
%Combined transfers: setgray, setrgbcolor, setcmykcolor
%
and settransfer, setcolortransfer

/FF_LM_setgrayF0 {setgray} bind def
/FF_LM_setrgbcolorF0 {setrgbcolor} bind def
/FF_LM_setcmykcolorF0 {setcmykcolor} bind def
/FF_LM_transferF0 {settransfer} bind def
/FF_LM_colortransferF0 {setcolortransfer} bind def
/FF_LM_xchart_gammaF {/xchart where {pop /xchartN xchart 8 idiv def
/xchartP xchart
xchart 8 idiv 8 mul sub def}
{/xchartN 2.0 def %default
/xchartP 0.5 def} ifelse
/gammaF 2.4 xchartP 0.18 mul sub 2.4 div
1 2.4 xchartN 0.18 mul sub 2.4 div div mul def
gammaF exp gammaR mul
} def

/FF_LM_setrgbcolorF {%FF_LM_setrgbcolorF
/FF_LM_b0L exch def /FF_LM_g0L exch def
/FF_LM_r0L exch def
FF_LM_r0L 0 le {/FF_LM_r0L 0.0001 def} if
FF_LM_g0L 0 le {/FF_LM_g0L 0.0001 def} if
FF_LM_b0L 0 le {/FF_LM_b0L 0.0001 def} if
/FF_LM_r1F FF_LM_r0L FF_LM_xchart_gammaF def
/FF_LM_g1F FF_LM_g0L FF_LM_xchart_gammaF def
/FF_LM_b1F FF_LM_b0L FF_LM_xchart_gammaF def
FF_LM_r1F FF_LM_g1F FF_LM_b1F
FF_LM_setrgbcolorF0
} def %FF_LM_setrgbcolorF

/FF_LM_transferF {%FF_LM_xchart_gammaF} FF_LM_transferF0} def

/FF_LM_colortransferF {%FF_LM_xchart_gammaF} {FF_LM_xchart_gammaF}
{FF_LM_xchart_gammaF} FF_LM_colortransferF0} def

%END Frame File Linearization Method (FF LM)
%*****

```

Beispiel-EPS-Code für EPS-Bilder, vergleiche
<http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk9/fgk9f1p0.txt>
<http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk9/fgk9f1p0.pdf>

Externe Werte der Rahmendatei (FF):
xchart=0, 1, ..., 8
für den Bereich 0,5 <= gammaF >=2

Beispiel-GammaR-Werte für HDR-Kopfraum:
gammaR=0,64 (2 Blenden);
gammaR=0,8 (1 Blende); 1,0 (SDR)

fgk10-7n

Bild 9: Frame-File EPS-Code für eine Display-Ausgabe mit unterschiedlichen Gamma-Werten

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk1/fgk10-7n.pdf>

Die ergonomische Displayausgabe an Arbeitsplätzen erfordert eine Gamma-Änderung auf jedem

Display, siehe [1]. Der eps-Code in Bild 9 erzeugt 16 Gamma-Werte für $0 \leq xchart \leq 15$.

Ein Parameter GammaR, der in Bild 2 bis 4 verwendet wird, kann den HDR-Inhalt auf jedem Display sichtbar oder nicht sichtbar machen. Auf dem SDR-Display sieht der Inhalt $0 \leq rgb^* \leq 1$ im Vergleich zu HDR dunkler aus.

6. Prüfvorlageausgabe für 16 verschiedene Gammawerte

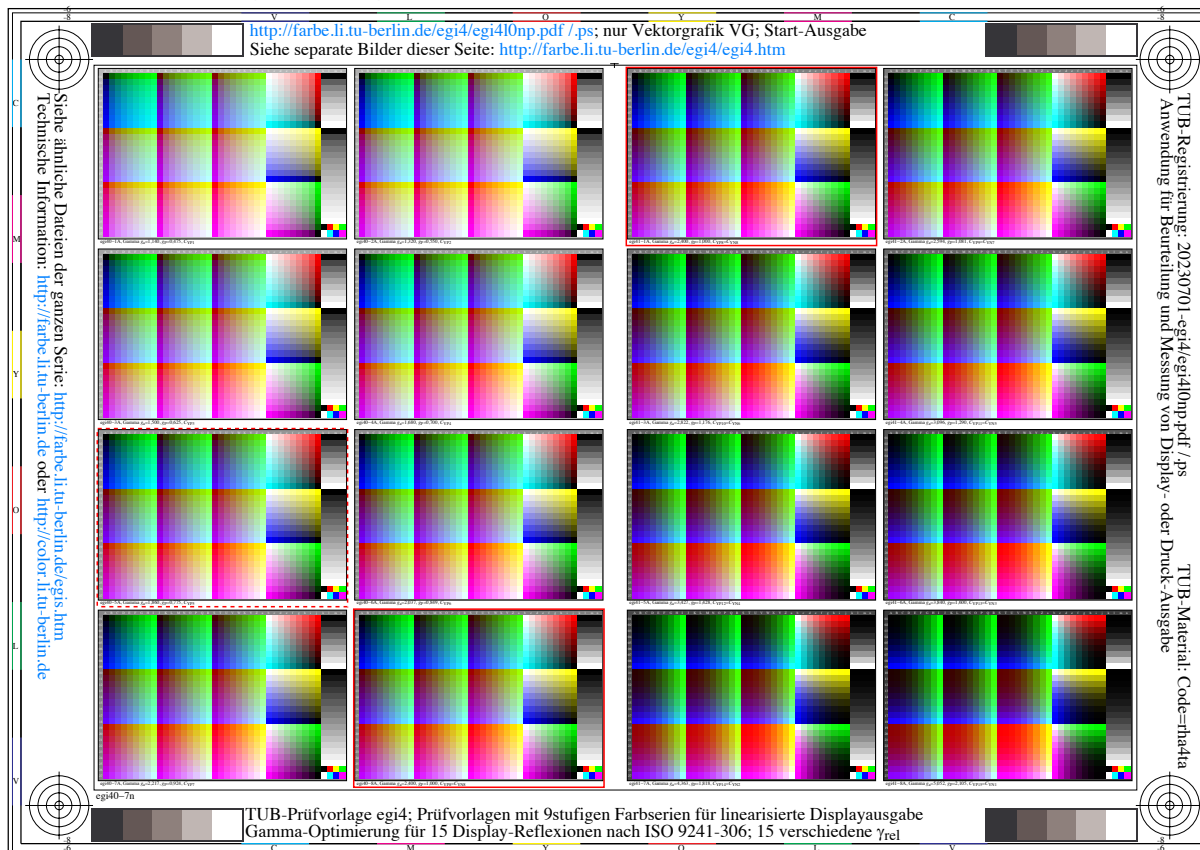


Bild 10 Fünfzehn relative Gammawerte der Prüfvorlage AE49 ähnlich wie [1]

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egi4/egi410np.pdf>

Normalerweise ist nur eine der 16 Ausgaben am Display-Arbeitsplatz angenähert gleich gestuft. In realen Anwendungsfällen stellen Anwender fest, dass gleiche Stufung verloren geht, wenn sich die Umgebungsreflexion ändert (z.B. Umgebungslicht ein- oder ausschalten) oder sich das Alter des Betrachters ändert.

Daher wird der gleiche Stufenabstand in einem Kinozustand von [3] mit nahezu keiner Umgebungsreflexion durch eine reale Umgebungsreflexion zerstört. Ein ähnlicher Effekt tritt bei jedem Benutzer in hohem Maße durch das Streulicht seiner optischen Augenmedien auf. Dieses Streulicht nimmt mit dem Alter des Beobachters zu. Normalerweise kennt ein Softwareunternehmen den Anwendungsfall nicht. Daher kann nur ein *lokaler* Benutzer entsprechende Bildanpassungen vornehmen, z.B. durch die ISO-Prüfvorlage von [1].

Für Untersuchungen vieler Effekte des Umgebungslichts (*Ein- oder Ausschalten*) wird das Herunterladen der Prüfvorlage von Bild 10 empfohlen, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egi4/egi4l0np.pdf> Bild 10 simuliert die visuelle Displayausgabe mit zunehmender Reflexion des Umgebungslichts auf dem Display von rechts unten nach links oben.

Die Ausgaben der 8 Beispielbilder auf der linken Seite mit relativen Gamma-Werten $0,5 \leq \gamma \leq 1$ sind ähnlich wie die acht Seiten der Dateiausgabe nach [1]. Links zur ISO-Prüfvorlage mit 1080 Farben findet man in Bild 12. Für Links zur Prüfvorlage mit dem Muster- und Blumenbild für acht Reflexionen auf 8 Seiten siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk7/fgk7f1p0.pdf>

Innerhalb von 24 Seiten sind die Änderungen der *rgb**-Werte in Gamma-Grafiken enthalten, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk7/fgk7f1px.pdf>

Mit zunehmender Reflexion ist eine zunehmende Anzahl dunkelgrauer Stufen nicht mehr zu unterscheiden. In den vielen Anwendungsfällen mit Displays erzeugt der Gamma-Schieberegler gewöhnlich gleiche Stufen durch ein inverses Gamma, auch wenn das Standard-Gamma abweicht.

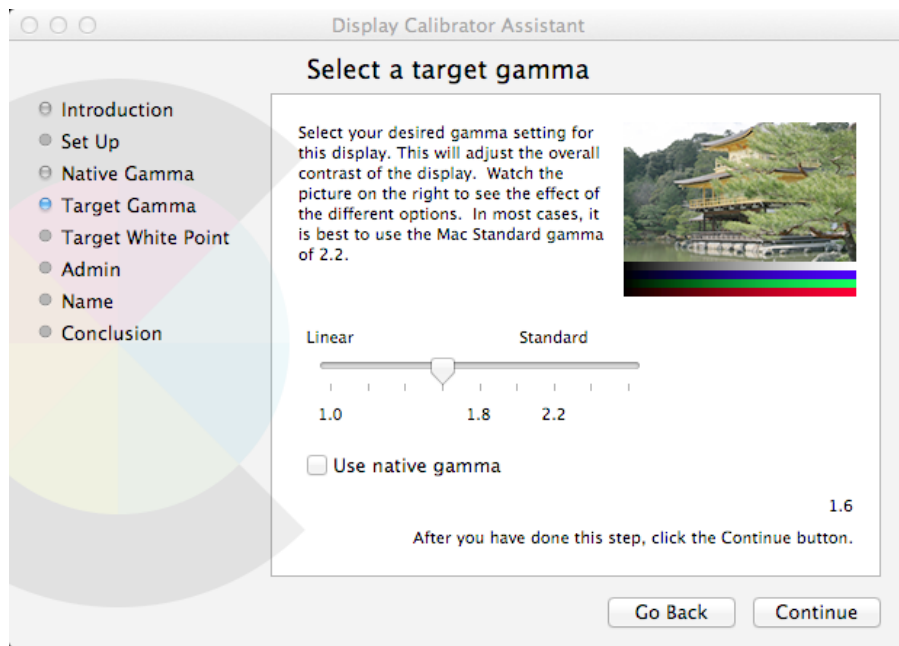


Bild 11 Gamma-Schieberegler zur visuellen Änderung der Displayausgabe für viele Anwendungsfälle

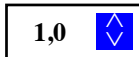
Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/AEX5/AEX50-7N.PDF>

Die *rgb**-Daten in der Datei von Bild 10 können durch einen inversen Wert des gemessenen oder berechneten Gammas geändert werden.

In Bild 2, 3 und 4 werden unterschiedliche Gamma-Werte auf den Seiten verwendet. Der Gamma-Schieberegler wird in zwei Ausgaben von [1] beschrieben und wurde 2022 in *Apple OSX* gelöscht. Ebenso verschwand die Option zur Bildausgabe der eps- und ps-Dateien per Doppelklick. Zum Beispiel die Software *GammaAdjuster* wird empfohlen, um die Anwendung von [1] im Bereich der Ergonomie zu erhalten. In diesem Fall würde *Apple OSX* das ISO-Ziel unterstützen, Normen für das Wohlergehen der Benutzer zu erstellen.

Ergonomische gleichabständige Farbausgabe mit freier Anwendungssoftware Standbilder & Video

Anwendungsprogramm Ändere das relative Gamma γ_{rel} für gleichabständige Display- oder Druckausgabe



zumindest relative Gammawerte $0,5 \leq \gamma_{rel} \leq 2,0$ mit $\Delta\gamma_{rel} = 0,1$ sollten vorhanden sein verglichen mit dem absoluten Gammawert $\gamma_a = 2,4$ nach IEC 61966-2-1 (sRGB-Farbenraum)

Anwendungsprogramme für *macOS 10.15* oder später, siehe freie Testversion: <https://www.lemkesoft.de>

Für das Gesamtdisplay, siehe: <https://www.lemkesoft.info/files/gammaadjuster/gammaadjuster.dmg>

Für Bilder in vielen Dateiformaten, siehe: <https://www.lemkesoft.info/files/graphicconverter/gc12.dmg>

Für Anwendungsprogramme unter *Windows*, siehe: <http://color.li.tu-berlin.de/RUSCHIN22.PDF>

Erzeuge eine ergonomische gleichabständige Ausgabe mit der Software γ_{rel} . Benutze zum Beispiel 1080 Farben mit 9stufigen Farbserien nach ISO CEN DIN 9241-306/ed-2:2018

Norm-ISO-Seite von ISO 9241-306 mit Links zu den Sprachen englisch, französisch und deutsch
<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/index.html>

Empfehlung, benutze:
Adobe Reader für die Links.
Einige Webbrowser ändern
Groß- in Kleinbuchstaben und
Ausgabe ist dann nicht möglich.

1 oder 3 ISO-Seiten, $gP = 1,000$ ohne oder mit Ausgabefragen

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49L1NP.PDF>

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49L0NP.PDF>

8 oder 24 ISO-Seiten, $0,475 \leq gP \leq 1,000$ ohne oder mit Ausgabefragen

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49F0P0.PDF>

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49F0PX.PDF>

8 oder 24 ISO-Seiten, $1,000 \leq gP \leq 2,105$ ohne oder mit Ausgabefragen

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49F0N0.PDF>

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49F0NX.PDF>

Für ähnliche ISO-Prüfvorlagen von ISO/IEC 15775/ed-2:2022 mit 5, 9 und 16 stufigen Farbserien:

<https://standards.iso.org/iso-iec/15775/ed-2/en/>

egm20-7n

Bild 12 Gamma-Änderungssoftware für die Ausgabe auf dem gesamten Display oder von Standbildern.

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egm2/egm20-7n.pdf>

Auf dem *Apple-Betriebssystem* wurde 2022 der Farbschieberegler von Bild 11 gelöscht, und zusätzlich die Funktion zur Bildausgabe der Dateiformate *eps* und *ps* per Doppelklick gestrichen. Jedoch zum Beispiel die Software eines Unternehmens in Bild 12 ermöglicht alternative Lösungen auf einem *Mac*. Die Software *GammaAdjuster* und *der GraphicConverter* können das Gamma für viele Dateiformate ändern.

7. Farbmétrische Grundlagen für unterschiedliche Gamma-Werte in Anwendungen

Empfindungs–Stufungsfunktionen
Helligkeit L^* und Normfarbwert Y
Adaptation auf Umgebung Weiß W $L^*_W = 100 (Y / 100)^{1/2,0}$
Adaptation auf Umgebung Grau U $L^*_U = 100 (Y / 100)^{1/2,4}$
Beschreibung durch CIELAB 1976 $L^*_{\text{CIELAB}} = 116 (Y / 100)^{1/3,0} - 16$
Adaptation auf Umgebung Schwarz N $L^*_N = 100 (Y / 100)^{1/3,0}$

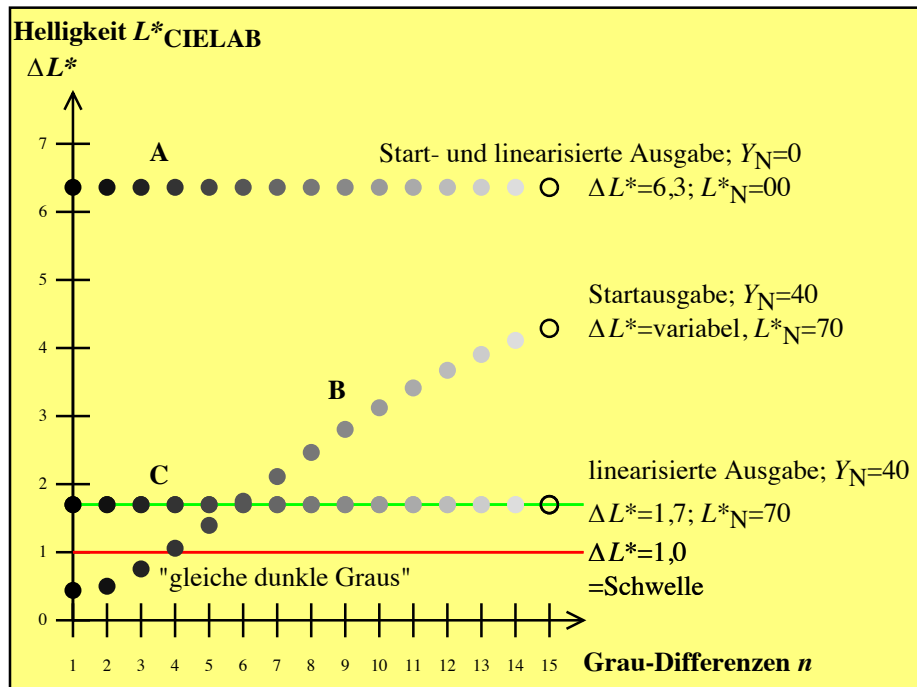
egj00-4n, eea00-4n

Bild 13 Skalierungsfunktion mit den Gamma-Werten 2, 2,4 und 3 für die Umgebungen Weiß W , Mittelgrau U , und Schwarz N .

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egj0/egj00-4n.pdf>

Der inverse Exponent in den Skalierungsfunktionen wird als Gamma-Wert bezeichnet. In der Farbmétrie werden unterschiedliche Werte verwendet. IEC 61966-2-1 (sRGB-Farbenraum) [6] definiert den Standard-Gamma-Wert 2,4. Die IEC-Skalierungsfunktion ist eine Annäherung an die Helligkeitsfunktion L^*_{CIELAB} des CIELAB-Farbraums nach ISO/CIE 11664-4 [5].

In Bild 13 sind alle L^* -Funktionen auf 100 für den Normfarbwert $Y=100$ normiert. Aber das diffuse Weiß W_{D0} auf Displays in [1] und auf Papier in [2] hat den Normfarbwert nahe $Y_{D0} = 90$. Dann haben das Kopfweiß für eine und zwei Blendenstufen die Normfarbwerte $Y_{P1} = 180$ und $Y_{P2} = 360$. Diese Werte werden in Bild 16 benutzt.



egb11-3n, AE981-3N

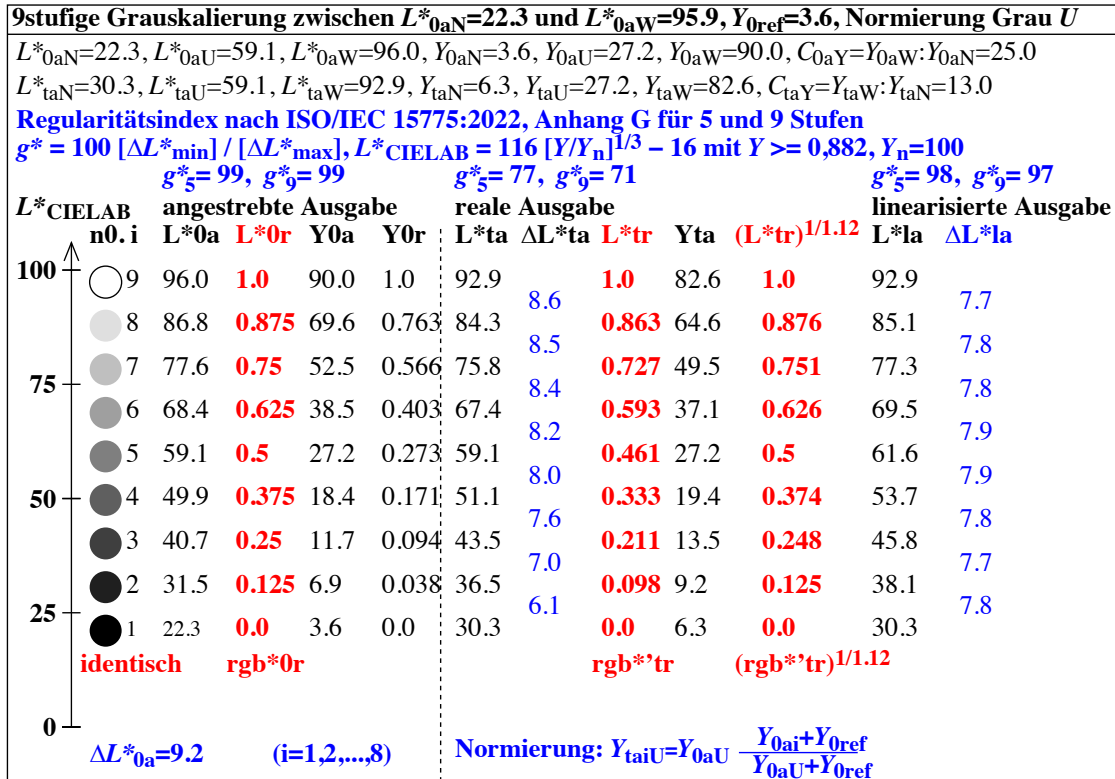
Bild 14 Änderung der Anzeigefarben von kontrastreichem $C_Y=Y_W:Y_N >225:1$ nach $C_Y=2:1$

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egb1/egb11-3n.pdf>

In Bild 14 erzeugt die Leuchtdichte eines Datenprojektors auf der Leinwand gleiche Helligkeitsstufen ΔL^*_{CIELAB} in einem dunklen Raum, siehe A.

In einem Raum mit viel Tageslicht können die Leuchtdichte des Datenprojektors und vom Tageslicht auf der Leinwand gleich sein. Dann ist der Kontrast $L_W:L_N = 2:1$. In diesem schlimmsten Fall sind drei Graustufen von 16 Stufen nicht unterscheidbar, siehe B.

Die mögliche Ausgabelinearisation erzeugt die gleichen Stufen, siehe C. Der Helligkeitsunterschied zwischen den Proben wird von $L^*=6,3$ (Fall A) auf $\Delta L^*=1,7$ (Fall C) reduziert.



fgm50-3n

Bild 15 Definition der Farbbildqualität durch den Regularitätsindex g^* nach [2]

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egm5/egm50-3n.pdf>

Eine Grauskala auf dem Papier auf dem Display kann gleichmäßig verteilt sein, siehe L^*_{0a} und L^*_{0r} . Die Anzeigereflexion $Y_{0,ref} = 3,6$ zerstört den gleichen Abstand, siehe L^*_{ta} und L^*_{tr} . Ein Gamma-Wert $1/1,2$ macht die Ausgabe wieder gleichmäßig verteilt, siehe L^*_{la} und ΔL^*_{la} .

Für eine Ausgabe mit hoher Bildqualität liegt der Wert g^* nahe 100. Der Index g^* ist Null, wenn zwei Stufen gleich aussehen: Eine Gamma-Änderung mit dem Exponenten $(1/1,12)$ ergibt jedoch die beabsichtigte hohe Qualität.

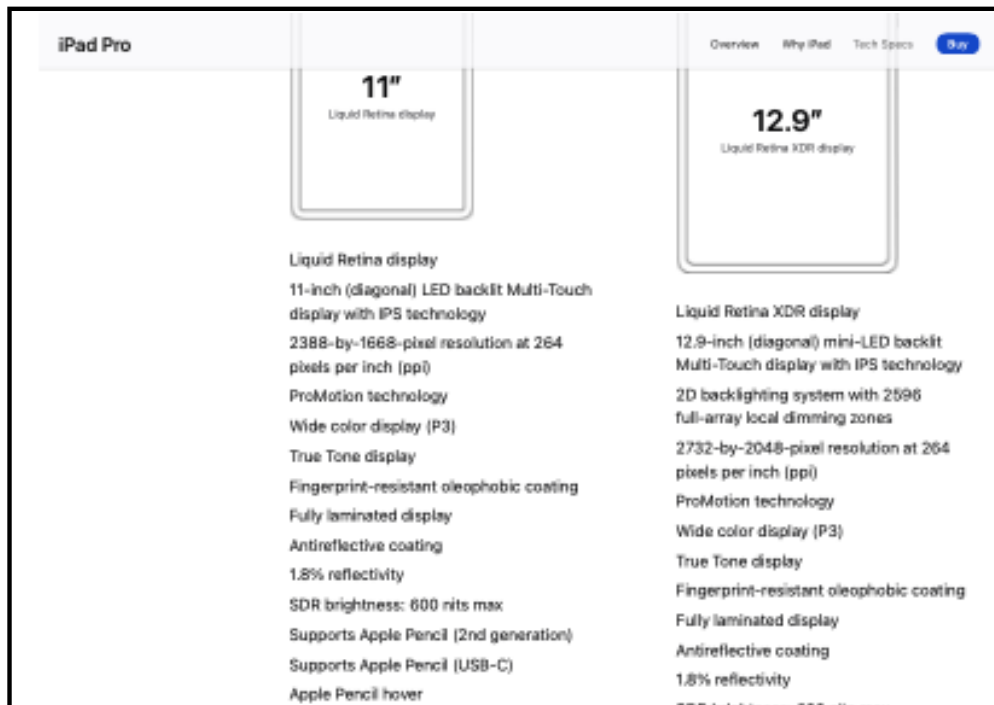
8. Diffuses Schwarz N_{d0} und Weiß W_{D0} , sowie Kopfschwarz N_{p1} und Kopfweiß W_{P1} und W_{P2}

CIE Y und Helligkeit L^* für Körperfarben und emissive Displayfarben																	
	extrapolierter Körperfarbenbereich									hellere Muster							
Stufe	0	1	2	3	4	..	9	10	15	20							
$L^*_w = 100(Y/100)^{1/2}$	extrapolierter Körperfarbenbereich									hellere Muster							
L^*_w	0	10	20	30	40	..	90	100	150	190							
	extrapolierter Körperfarbenbereich									hellere Muster							
Y	0	1	4	9	16	..	81	100	225	360							
Y_2			Schwarz	reale matte Körperfarben				Weiß		hellere Muster							
			3,6		18			90	180	360							
Y_3			Schwarz	angestrebtes Emissionsfarbdisplay ohne Reflexion				Weiß		hellere Muster							
			1,8		18				180	360							
$Y_4 = 18(Y_3 + 3,6)/21,6$			Schwarz	Emissionsfarbdisplay mit 3,6% Reflexion				Weiß		hellere Muster							
			4,5		18				153	303							
$L^*_{CIE} = 116(Y/100)^{1/3} - 16$	extrapolierter Körperfarbenbereich									hellere Muster							
L^*_{CIE}	0	8	14	22	23	35	46	49	57	92							
									95	100	125	125	161				
$L^*_{TUB} = 40 \log(Y/18)/\log 5$	extrapolierter Körperfarbenbereich									hellere Muster							
L^*_{TUB}		-7	1	5	7	40	-37	-17	-2	0	8	37	40	42	57	57	74
$50 + L^*_{TUB}$	extrapolierter Körperfarbenbereich									hellere Muster							
		-21	-7	10	12	32	47	50	58	87	90	92	107	107	124		

Bild 16 CIE-Normfarbwert Y und Helligkeit L^* für Oberflächen- und Displayfarben

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/egj2/egj21-7n.pdf>

Verschiedene Farbmetriken können die Helligkeit beschreiben, einschließlich der Werte zwischen 90 und 500 in Bild 1, 16 und 20. Die Werte unterscheiden sich zwischen $L^*_{TUBLAB} = 124$ und $L^*_{CIELAB} = 161$ in Bild 16 für $Y=360$. Geeignete Werte zur Kodierung der rgb^* -Daten im HDR-Kopfraum scheinen unbekannt zu sein. Skalierungsdaten zwischen Kopfweiß P2 und dem diffusen Schwarz $d0$ sind wichtig.



fgk10-8n

Bild 17 Reflektivität 1,8% für aktuelle Displays mit Antireflexbeschichtung

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgk1/fgk10-8n.pdf>

Ein Beispiel einer technischen Spezifikation des aktuellen *Apple-Displays 2024 iPad_Pro* beschreibt das **Reflexionsvermögen mit 1,8 %**. Für einen ergonomischen Arbeitsbereich müssen die Leuchtdichte des weißen Papiers und des Displays im Betrachtungszustand gleich sein.

Der Normfarbwert des diffusen Schwarz beträgt daher $Y_{d0} = 2,5$ für die Prüfvorlage von [1] und [2]. Dies entspricht dem Reflexionsvermögen 2,5% in der obigen technischen Spezifikation. Daher wird in Bild 1 der Wert $Y_{p1} = 1,8$ für das Kopfschwarz p1 verwendet.

Zum Display-Kontrastverhältnis 1.000.000 : 1 siehe Bild 18 und die zugehörige Erklärung.

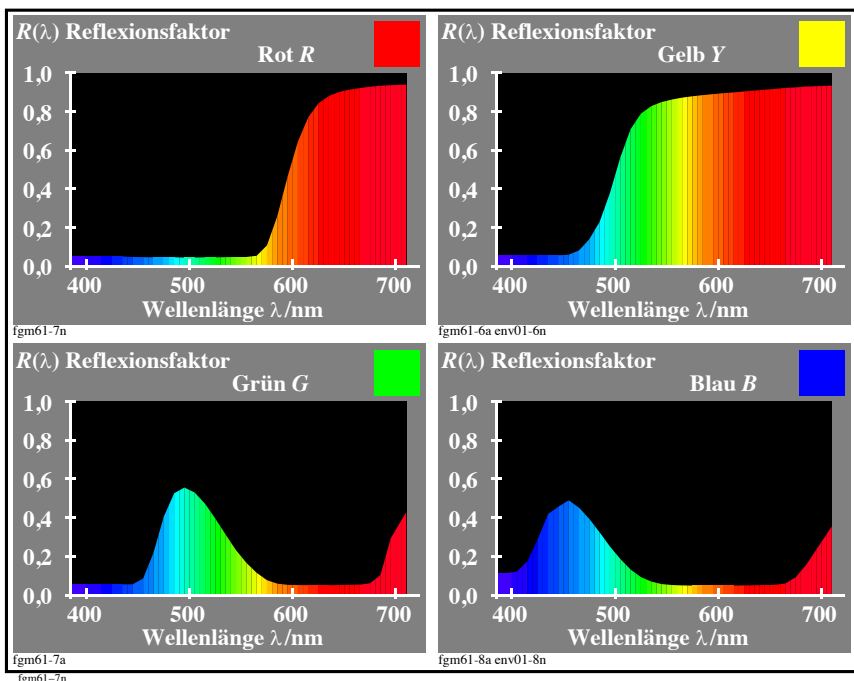


Bild 18 Spektrale Reflexion von matten Oberflächenfarben für alle Wellenlängen

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm6/fgm61-7n.pdf>

Die Reflexion für jede matte Oberflächenfarbe liegt angenähert bei 3,6%. Die Reflexion wird bei seidenmatten Offsetpapieren gemäß [1] auf 2,5% reduziert. Normalerweise scheint die Reflexion zwischen 1,8% und 3,6 % zu liegen. Für Displays mit Antireflexbeschichtung und hochglänzenden Papieren können 1,8% angemessen sein. Für SDR-Displays und matte Papiere können 3,6% die meisten Anwendungsfälle darstellen.

Die optischen Medien eines jeden Beobachters erzeugen Streulicht. Im Vergleich zum diffusen Weiß kann dieses Streulicht einen ähnlichen Wert haben, da ähnliche physikalische Effekte zugrunde liegen. Wenn der Fall $R=1,8\%$ angenommen wird, dann liegt das effektive visuelle Kontrastverhältnis

nahe $Y_{D0} : Y_{p1} = 90 : 1,8 = 50:1$. In tatsächlichen Anwendungsfällen kann das Kontrastverhältnis jedoch nahe $Y_{D0} : Y_{d0} = 90 : 2,5 = 36 : 1$ liegen. Für matte Farben siehe auch Bild 18, nahe $Y_{D0} : Y_{p1} = 90 : 3,6 = 25 : 1$.

Darüber hinaus wird in realen Display-Anwendungsfällen das Kontrastverhältnis mit zunehmender Reflexion des Umgebungslichts auf der Displayoberfläche reduziert. Außerdem verringert mit zunehmendem Beobachteralter die zunehmende Streuung der optischen Augenmedien das Kontrastverhältnis.

Die technische Anzeigespezifikation von Bild 17 umfasst in der Endzeile das *Kontrastverhältnis* $1.000.000 : 1$. Die Messdaten können korrekt sein.

Jedoch liegt das größte visuelle Verhältnis des visuellen Systems in der Nähe von $Y_{D0} : Y_{p1} = 90 : 1,8 = 50 : 1$ für die weiße Anzeige und das weiße Papier mit einer Grauskala zwischen weißem W_{D0} und dem schwarzem N_{p1} .

Dieses Verhältnis ändert sich um etwa 10% in Richtung 55:1, wenn die adaptierende Leuchtdichte um den Faktor 4 (+2 Blendenstufen über der Belichtung) in Bild2 zunimmt. Allerdings erhöht sich dann auch die Leuchtdichte des schwarzen N_{d0} um den Faktor 4. Bei kleinen Flächen mit einer 4-mal höheren Leuchtdichte in den HDR-Bildern ist die Leuchtdichtezunahme des schwarzen N_{d0} geringer als die 4-fache.

Es ist zu beachten, dass am Arbeitsplatz die Leuchtdichte $L = 142 \text{ cd/m}^2$ empfohlen wird. Eine höhere Leuchtdichte kann die Ermüdung des Benutzers erhöhen. Sie erhöht auch den Energieverbrauch und ist nicht nachhaltig.

9. CIEXYZ- und CIELAB-Daten für unbunte und chromatische Farben

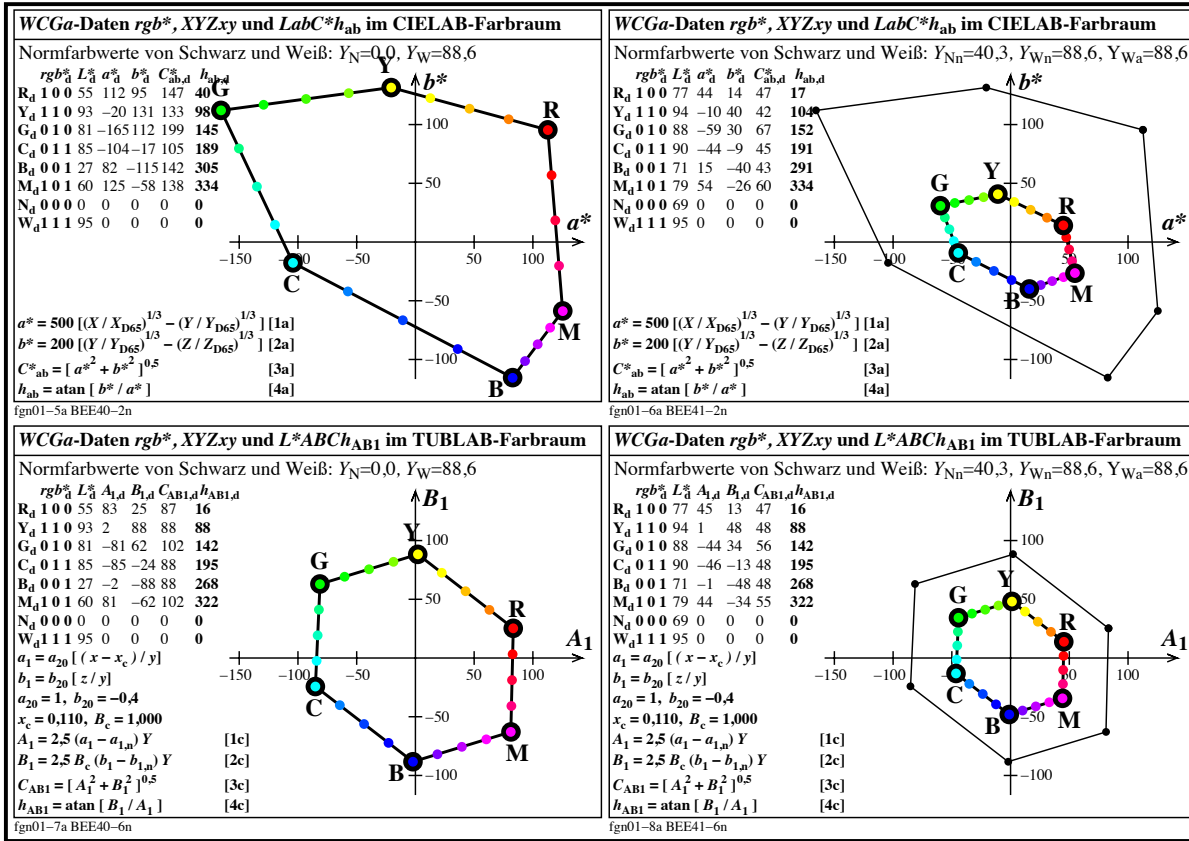


Bild 19 Änderung der chromatischen Farbkoordinaten mit Umgebungsreflexion

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgm0/fgm01-7n.pdf>

Die chromatischen Farbkoordinaten nehmen mit zunehmender Reflexion ab. Die chromatischen Koordinaten in den beiden Farbräumen CIELAB und TUBLAB werden mit Gleichungen aus Bild 19 berechnet. Der Farbraum TUBLAB erzeugt gleiche Gegenkoordinaten für die Komplementärfarbpaaire C – M, Y – B und G – M. Sie alle mischen sich mit dem Displayweiß.

<http://farbe.li.tu-berlin.de/fgn4/fgn4I0np.pdf> / .ps; nur Vektorgrafik VG; Start-Ausgabe
 Siehe separate Bilder dieser Seite: <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgn4/fgn4.htm>

Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für $Y_{P1}=100$	Normfarb- wertanteile		Normfarbwerte ($Y_{P1}=100,00$ für D65)		
	x	y	X	Y	Z
<i>Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1</i>					
C_{P1} Cyan (Cyanblau)	0,224	0,328	53,81	78,74	106,98
M_{P1} Magenta (Magentarot)	0,320	0,154	59,28	28,48	96,99
Y_{P1} Gelb	0,419	0,505	76,99	92,78	13,85
<i>Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1</i>					
R_{P1} Rot (Orangerot)	0,640	0,330	41,23	21,26	1,93
G_{P1} Grün (Laubgrün)	0,300	0,600	35,76	71,52	11,91
B_{P1} Blau (Violettblau)	0,150	0,060	18,05	7,22	95,06
<i>Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:</i>					
W_{P1} (weißer Monitor, 100%)	0,312	0,329	95,05	100,00	108,90
W_{D0} (weißer Monitor, 88,6%)	0,312	0,329	84,21	88,60	96,48
N_{d0} (schwarzer Monitor, 2,5%)	0,312	0,329	2,37	2,50	2,72
N_{p1}	0,312	0,329	1,71	1,80	1,96

Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für $Y_{P1}=100$	Normfarb- wertanteile		Normfarbwerte ($Y_{P1}=100,00$ für D65)		
	x	y	X	Y	Z
<i>Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.2100-2 & ISO 22028-5 Wide Colour Gamut</i>					
C_{P1} Cyan (Cyanblau)	0,146	0,344	31,34	73,72	108,90
M_{P1} Magenta (Magentarot)	0,368	0,147	80,58	32,20	106,09
Y_{P1} Gelb	0,446	0,537	78,15	94,06	2,80
<i>Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.2100-2 & ISO 22028-5 Wide Colour Gamut</i>					
R_{P1} Rot (Orangerot)	0,708	0,292	63,69	26,26	0,00
G_{P1} Grün (Laubgrün)	0,170	0,797	14,46	67,79	2,80
B_{P1} Blau (Violettblau)	0,131	0,046	16,88	5,93	106,09
<i>Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:</i>					
W_{P1} (weißer Monitor, 100%)	0,312	0,329	95,05	100,00	108,90
W_{D0} (weißer Monitor, 88,6%)	0,312	0,329	84,21	88,60	96,48
N_{d0} (schwarzer Monitor, 2,5%)	0,312	0,329	2,37	2,50	2,72
N_{p1}	0,312	0,329	1,71	1,80	1,96

Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für $Y_{P1}=100$	Norm-CIELAB-Daten $L^*a^*b^*C^*_{ab}h_{ab}$ ($L^*_{P1}=100,00$ für D65)				
	L^*	a^*	b^*	C^*_{ab}	h_{ab}
<i>Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1</i>					
C_{P1} Cyan (Cyanblau)	91,11	-48,08	-14,13	50,11	199
M_{P1} Magenta (Magentarot)	60,31	98,22	-60,84	115,54	324
Y_{P1} Gelb	97,13	-21,57	94,48	96,91	110
<i>Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.709.3, sRGB, IEC 61966-2-1</i>					
R_{P1} Rot (Orangerot)	53,23	80,07	67,19	104,53	19
G_{P1} Grün (Laubgrün)	87,73	-86,18	83,18	119,78	144
B_{P1} Blau (Violettblau)	32,30	79,19	-107,86	133,81	290
<i>Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:</i>					
W_{P1} (weißer Monitor, 100%)	100,00	0,00	0,00	0,00	0
W_{D0} (weißer Monitor, 88,6%)	95,41	0,00	0,00	0,00	0
N_{d0} (schwarzer Monitor, 2,5%)	17,91	0,00	0,00	0,00	0
N_{p1}	14,40	0,00	0,00	0,00	0

Fernseh-Grundfarbe oder -Mischfarbe für D65 CIE-Daten für $Y_{P1}=100$	Norm-CIELAB-Daten $L^*a^*b^*C^*_{ab}h_{ab}$ ($L^*_{P1}=100,00$ für D65)				
	L^*	a^*	b^*	C^*_{ab}	h_{ab}
<i>Drei additive Mischfarben nach ITU-R BT.2100-2 & ISO 22028-5 Wide Colour Gamut</i>					
C_{P1} Cyan (Cyanblau)	88,79	-106,24	-19,32	107,98	194
M_{P1} Magenta (Magentarot)	63,50	130,51	-61,18	144,14	333
Y_{P1} Gelb	97,66	-21,48	136,88	138,56	107
<i>Drei additive Basisfarben nach ITU-R BT.2100-2 & ISO 22028-5 Wide Colour Gamut</i>					
R_{P1} Rot (Orangerot)	58,29	117,31	100,50	154,48	14
G_{P1} Grün (Laubgrün)	85,90	-172,32	116,61	208,07	153
B_{P1} Blau (Violettblau)	29,23	86,10	-120,27	147,92	287
<i>Unbunte Farben mit unterschiedlicher Normierung:</i>					
W_{P1} (weißer Monitor, 100%)	100,00	0,00	0,00	0,00	0
W_{D0} (weißer Monitor, 88,6%)	95,41	0,00	0,00	0,00	0
N_{d0} (schwarzer Monitor, 2,5%)	17,91	0,00	0,00	0,00	0
N_{p1}	14,40	0,00	0,00	0,00	0

TUB-Prüfvorlage fgn4; Displayssysteme sRGB nach IEC 61966-2-1 und WCGa nach ISO 22028-5
 CIE-Daten von 3 Grund- und Mischfarben, CIE_{XXZ} und CIELAB, $Y_w=100$

Bild 20 Farbmetrische Daten CIEXYZ und CIELAB für die Displays sRGB und WCGa

Zum Herunterladen dieses Bildes, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/fgn4/fgn4I0np.pdf>

Für viele Anwendungen sind farbmetrische Daten der Abbildung 20 (und Abbildung 1) erforderlich. Viele dieser Daten erscheinen nicht in ISO 22028-5 und werden beispielsweise in Bild 2 bis 4 verwendet.

10. Diskussion der Ergebnisse mit Vorteilen und Nachteilen

Eine Kodierung von SDR- und HDR-Bildern mit rgb^* - Daten wird gezeigt. In den Beispielen wird die Helligkeit L^*_{CIELAB} als Ausgangspunkt verwendet, z.B. bis +2,3 Blendenstufen. Dies entspricht $L^*_{\text{CIELAB},+2,3 \text{ stop}} = 182$, siehe Bild 1. Der Bereich $100 \leq L^* \leq 182$ der HDR-Anzeige von ISO 22028-5 ist ungefähr gleich dem SDR-Bereich $18 \leq L^* \leq 100$. In einem Helligkeitsraum $18 < L^* < 182$ ist der Codierungsraum für beide SDR und HDR gleich 50%. Die Parameter $\text{GammR}=0,80=100/125$ und $\text{GammR}=0,64=100/156$ definieren den SDR-Bereich in Bild 3 bis 4.

Das Veröffentlichen zeigt in Bild 2 bis 4, dass Benutzer ein HDR-Bild mit Daten bis zu $rgb^* = 1,56 = L^*_{\text{CIELAB}, P2}/100$ speichern und ausgeben können. Die eps- und pdf-Dateien enthalten keine Metadaten und keine ICC-Farbmanagement-Daten, siehe [11].

Es wird davon ausgegangen, dass das HDR-Bild Daten im Bereich von $0 \leq rgb^* \leq 1,56$ enthält.

Ein Benutzer mit einem SDR-Display hat viele Möglichkeiten für die Ausgabe.

1. Alle rgb^* -Werte ≥ 1 ($> +0$ Blende) werden auf 1,0 reduziert.
Dies geschieht in Bild 2 standardmäßig für jede pdf-Datei.
2. Alle rgb^* -Werte $\leq 1,25$ ($\leq +1$ Blende) werden in den Bereich $0 \leq rgb^* \leq 1$ übertragen.
Dies geschieht in Abbildung 3 mit dem Parameter $\text{GammR}=0,8=1/1,25$. Alle Farben sehen dunkler aus. Der Kreis +2 Blende ist heller als der Kreis +1 Stop (Blende).
3. Alle rgb^* -Werte $\leq 1,56$ ($> +2$ Blende) werden in den Bereich $0 \leq rgb^* \leq 1$ übertragen.
Dies geschieht in Abbildung 4 mit dem Parameter $\text{GammR}=0,64=1/1,56$. Die Farbmuster sehen dunkler aus und die beiden Kreise +1 und +2 Blenden sehen im Vergleich zum weißen Muster heller aus.

Die Ausgabe im Bereich nur SDR und zusätzlich HDR haben Vorteile und Nachteile:

1. Verschiedene Ausgaben können für die Werte im Bereich von $0,64 \leq \text{GammR} \leq 1$ erzeugt werden.
2. Das *GainMap* Profil HDR -> SDR ist hier der mathematische Reduktionsfaktor GammR .
3. *Daten-rgb** ≥ 1 werden verwendet, um den HDR-Inhalt zu speichern. Dieser Inhalt wird für die Ausgabe nicht gelöscht.
4. Die Bilder werden in 8 Bit/Kanal im visuellen *rgb**-Farbraum codiert. Diese Codierung ist proportional zur Helligkeit im Bereich von $0 \leq L^*_{\text{CIELAB}} \leq 156$ oder +2 Blendenstufen.
5. Eine Übertragung auf etwa 16 Bit/Kanal für das *RGB* mit einer linearen Beziehung zur Leuchtdichte L anstelle von *rgb** mit einer linearen Beziehung zur Helligkeit L^* ist nicht notwendig. Das visuelle Profile *rgb** nach *rgb** mit Reduktionsfaktor ist ähnlich einem ICC-Device-Link-Profil.
6. Ein *GainMap*-Profile scheint für den Verbraucherbereich nicht notwendig zu sein. Dann entfallen auch die Probleme, wo und wie die *GainMap-Profile* gespeichert werden sollen.
7. Normalerweise versucht ein ICC-Profil, den minimalen Farbunterschied zu erzeugen, z. B. zwischen dem Original und einer Kopie. In der Regel hat das Kopierpapier für Schwarz N eine höhere Helligkeit als das Original. Dann erzeugt das ICC-Profil z.B. gleiche Helligkeiten für 7 von 9 Mustern und zwei bis gleiche schwarze Muster. In diesem Fall gehen 10% Informationen innerhalb des Bildes verloren. Diese Bildqualität wird durch den Regularitätsindex $g^*=0$ (worst case) von [2] beschrieben. Die Bildqualität sollte daher mit dem Regularitätsindex g^*

gekennzeichnet werden. Hohe Werte werden durch eine Gammaänderung erreicht. Der mittlere ICC-Farbabstand ist nicht zur Kennzeichnung der Bildqualität geeignet.

11. Literatur

[1] ISO 9241-306:2018, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 306: Vor-Ort-Bewertungsverfahren für elektronische optische Anzeigen, siehe zum Herunterladen der Prüfvorlagen mit Benutzerfragen für eine ergonomische Ausgabe auf Displays,

<https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/index.html>

[2] ISO/IEC 15775/ed-2:2022, Informationstechnik - Büro- und Datentechnik - Verfahren zur Kennzeichnung der Bildwiedergabe von Farbkopierern und Multifunktionsgeräten mit Kopierfunktionen durch gedruckte Testvorlagen, siehe zum Herunterladen der Prüfvorlagen mit Benutzerfragen für nachhaltige Kopierer. Die Prüfvorlagen von [1] und [2] sind ähnlich, siehe

<https://standards.iso.org/iso-iec/15775/ed-2/en>

[3] ISO/TS 22028-5:2023 Fotografie und grafische Technologie - Erweiterte Farbräume für die Speicherung, Bearbeitung und den Austausch digitaler Bilder - Teil 5: High dynamic range und wide colour gamut encoding für Stehbild (HDR/WCG)

[4] Richter, Klaus (2013), Ausgabelinearisierungsmethoden für Displays, Drucker und Offsetdruck (63 Seiten, 1,4 MB, Format A4), siehe http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN13_02.PDF

[5] ISO/CIE 11664-4 (2019), Farbmessung, Teil 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ -Farbraum

[6] IEC 61966-2-1, Multimediasysteme und -geräte - Farbmessung und -management - Teil 2-1: Farbmanagement - Standard-RGB-Farbraum - sRGB.

[7] ISO 8995-1:2002 Beleuchtung am Arbeitsplatz – Teil 1: Innenraum

[8] *Richter, Klaus (2019)*, Farbmétrisches Scannen, Anzeigen und Drucken für die Archivierung basierend auf der ergonomischen internationalen Norm ISO 9241-306:2018 an Arbeitsplätzen , *Proc. IS&T Archiving 2019*, S. 111-112, siehe kostenlosen PDF-Download
<https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2019.1.0.25>

[9] *Richter, Klaus (2024)*, siehe verschiedene Arbeiten insbesondere seit 2020 unter dem Link
<http://farbe.li.tu-berlin.de/XY91FDE.html>

[10] DIN 33872-1 bis 6:2010, Informationstechnik - Büro- und Datentechnik - Verfahren zur Kennzeichnung der relativen Farbwiedergabe mit JA/NEIN Kriterien -
Teil 1: Einteilung, Begriffe und Grundlagen, nur auf CD-ROM,
Teil 2 bis 6: Prüfdateien für Ausgabeeigenschaften,
Teil 2: Prüfung der Unterscheidbarkeit der 5- und 16-stufigen Farbreihen,
Teil 3: Prüfung der Gleichheit für vier äquivalente Graudefinitionen und Unterscheidbarkeit der 16 Graustufen,
Teil 4: Prüfung der Gleichheit für zwei äquivalente Farbdefinitionen mit 5- und 16-stufigen Farbreihen,
Teil 5: Prüfung der Elementarbunton-Übereinstimmung und der Bunton-Unterscheidbarkeit,
Teil 6: Prüfung der äquivalenten Stufung und der regulären chromatischen Stufung,
siehe zum Herunterladen von Prüfvorlagen <http://farbe.li.tu-berlin.de/A/33872.html>

[11] ISO 20677:2019, Drucktechnik - Farbverwaltung in der Bildtechnik - Erweiterungen für die Architektur, das Profilformat und die Datenstrukturen

Anhang – Urheberrecht

Für freies Urheberrecht siehe:

<http://farbe.li.tu-berlin.de/CGV1/CGV10-3N.PDF>

Danksagung Für die Diskussionen und Vorschläge zur inhaltlichen Optimierung dieses Beitrags danke ich insbesondere:

Detlef Ruschin, deutscher Vertreter in der CIE Div. 1 "Vision und Colour", und
Prof. Florian Suessl, deutscher Vertreter in der CIE Div. 8 "Image Technology".