

# Globales und lokales Farbmanagement für die ergonomische Displayausgabe von SDR- und HDR-Bildern

*Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität Berlin, Sektion Lichttechnik, 08.10.2023*

Den Download dieses Dokuments finden Sie in englischer Sprache unter <http://color.li.tu-berlin.de/disgam23e.pdf> oder [https://web.archive.org/web/\\*/http://color.li.tu-berlin.de/disgam23e.pdf](https://web.archive.org/web/*/http://color.li.tu-berlin.de/disgam23e.pdf).

oder in deutsch <http://color.li.tu-berlin.de/disgam23d.pdf>. Links arbeiten nach Herunterladen der pdf-Datei.

## Einleitung

Neue Displays aus dem Leuchtdichtebereich High Dynamic Range (HDR) können im Vergleich zum Standard Dynamic Range (SDR) zu neuen Möglichkeiten für die ergonomische Displayausgabe führen. Die ergonomische Ausgabe nach ISO 9241-306 [1] auf Displays mit dem HDR-Bereich im Vergleich zum SDR-Bereich wird diskutiert. ISO 9241-306 definiert den Standard-

Leuchtdichtebereich  $L_W:L_N=36:1$  für die Ausgabe auf Papier und auf Displays. Für das Schwarz  $N$ , das Grau  $U$  und das Weiß  $W$  sind folgende Normwerte angegeben:

Schwarz  $N$ :  $L_N=3,3 \text{ cd/m}^2$ ,  $Y_N=2,5 = Y_U/7,2$

Grau  $U$ :  $L_U=24 \text{ cd/m}^2$ ,  $Y_U=18$

Weiß  $W$ :  $L_W=142 \text{ cd/m}^2$ ,  $Y_W=90 = 5 Y_U$

Das Leuchtdichtekontrastverhältnis ist also  $C = L_W:L_N = Y_W:Y_N = 90:2,5 = 36:1$

In Anwendungen unterscheiden sich insbesondere die Werte für Schwarz, die Werte können betragen:

$Y_N=1,8 = Y_U/10$  für hochglänzendes Fotopapier,

$Y_N=2,5 = Y_U/7,2$  für seidenmattes Offsetpapier,

$Y_N=3,6 = Y_U/5$  für mattes Büropapier.

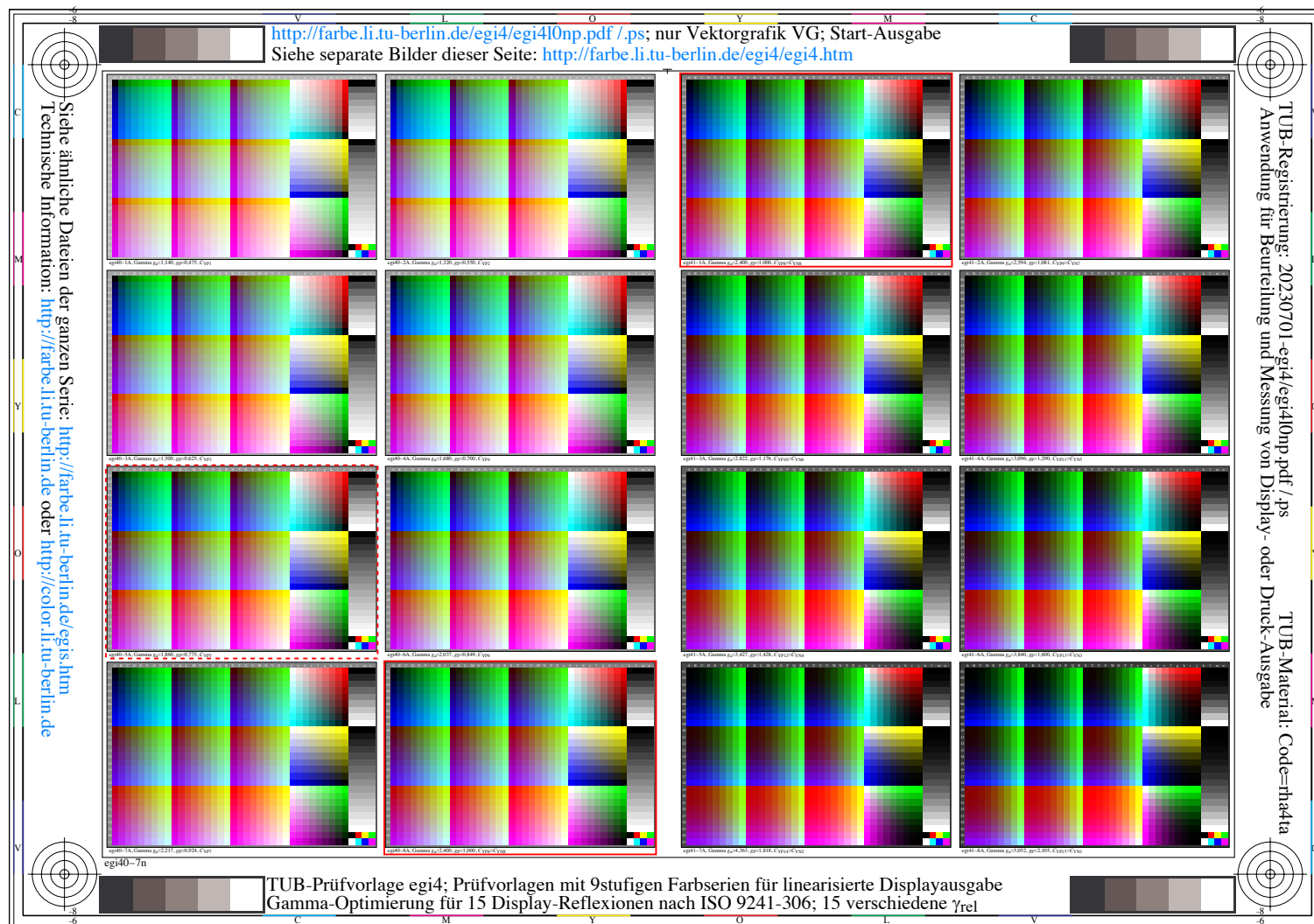
Vor- und Nachteile des höheren Kontrasts  $C$  von HDR-Displays werden diskutiert.

## Globales und lokales Farbmanagement

Das globale Farbmanagement (*Global Colour Management* GCM) ist in der Regel ein professionelles Farbmanagement, insbesondere im Bereich der Displays, die im Fernsehen, im Druck und in der Fotografie eingesetzt werden. Dieses globale Farbmanagement basiert oft auf Metadaten, die den Farbraum des Geräts und/oder des Bildes beschreiben. In Anwendungen verwendet die Software diese Daten unterschiedlich und erzeugt häufig Bescheidungen von Farbbereichen. Dieses Problem wird im *rgb*\*-Farbmanagement nach [1] vermieden.

Das *lokale* Farbmanagement (*Local Colour Management* LCM) ist z.B. das Farbmanagement der ISO 9241-306 [1], das eine ergonomische Ausgabe an Bildschirmarbeitsplätzen in Büros erzeugt. Das Wohlbefinden der Anwender und die Verringerung von Ermüdung sind die Intensionen von [1]. Zunehmende Reflexionen zwischen ca. 4% und 100% des Umgebungslichts verringert jedoch den Kontrastumfang. Der beabsichtigte gleichmäßige Abstand von 9-stufigen Farbskalen ist im dunklen Bereich stark reduziert. Geeignete Korrekturmethode werden in Bild 2 und 5 beschrieben. Bereits in der ersten Ausgabe von [1] aus dem Jahr 2008 wurde das LCM am Beispiel eines *Farbschiebereggers* (Colour Slider) auf dem Computerbetriebssystem *Mac OS X* beschrieben, siehe Bild 2.

Der visuelle Effekt von 15 Umgebungsreflexionen auf den Abstand von achromatischen und chromatischen Farben wird im Bild 1 simuliert. Zunehmende Reflexionen führen zu vielen dunkelgrauen Stufen, die möglicherweise nicht unterscheidbar sind. Die Farbmeterik berechnet einen Gammawert im Vergleich zum Normwert  $\gamma = 2,4$  nach IEC 61966-2-1 [6]. Ein Gamma-Schieberegler mit einem inversen Gamma macht die Schritte wieder gleich und sichtbar. Für die vielen variablen Anwendungsfälle von [1] kann nur der lokale Benutzer die Intensionen von [1] erfüllen.

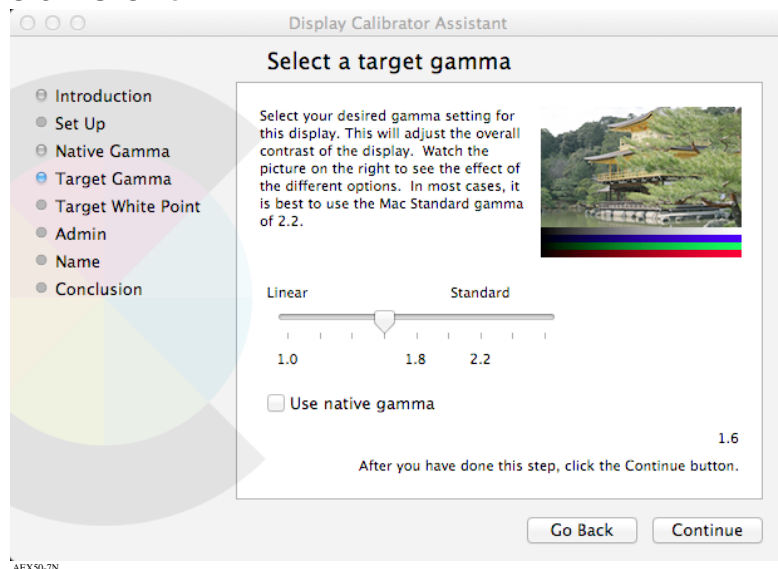


**Bild. 1 Fünfzehn relative Gammawerte einer Prüfvorlage ähnlich AG49 von [1]**

Für die Untersuchung vieler Einwirkungen des Umgebungslichts (*Ein- oder Ausschalten*) wird das Herunterladen der Prüfvorlage von Bild 1 empfohlen, siehe

<http://farbe.li.tu-berlin.de/egi4/egi4I0np.pdf>

Bild. 1 simuliert die visuelle Displayausgabe mit zunehmender Reflexion des Umgebungslichts auf dem Display. Mit zunehmender Reflexion ist eine zunehmende Anzahl dunkelgrauer Stufen nicht mehr unterscheidbar. In den vielen Anwendungsfällen mit Displays erzeugt der Gamma-Schieberegler gleiche Schritte durch ein inverses Gamma, auch wenn das voreingestellte Gamma abweicht.



**Bild. 2. Gamma-Schieberegler zur visuellen Änderung der Displayausgabe für viele Anwendungsfälle.**

Die *rgb\**-Daten in der Datei von Bild 1 können durch einen inversen Wert des gemessenen oder berechneten Gammas geändert werden. In Bild 1 werden unterschiedliche Gammawerte verwendet.

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

egj00–4n, cea00–4n

**Bild 3 Skalierungsfunktionen mit den Gammawerten 2, 2,4 und 3 für die Umfelder  $W$ ,  $U$  und  $N$ .** Der inverse Exponent in den Skalierungsfunktionen wird als Gammawert bezeichnet. In der Farbmimetrik werden unterschiedliche Werte verwendet. IEC 61966-2-1 (sRGB-Farbraum) [6] definiert den Normgammawert 2,4. Die IEC-Skalierungsfunktion ist eine Annäherung an die Helligkeitsfunktion  $L^*_{\text{CIELAB}}$  des CIELAB-Farbraums nach ISO/CIE 11664-4. In jedem Fall wird die  $L^*$ -Funktion für den Normfarbwert  $Y=100$  auf 100 normiert. In der Bildtechnik ist eine Normierung auf  $Y_U=18$ , die dem mittleren Helligkeitswert  $L^*_{U,\text{CIELAB}}=50$  entspricht, angemessener und wird in Bild 5 bis 7 verwendet. Der allgemeine Trend zu einem niedrigeren Gamma für eine hellere Umgebung, z. B. Weiß  $W$ , und einem höheren Gamma für eine dunklere Umgebung, z. B. Schwarz  $N$ , ist in der Farbmimetrik bekannt.

Wenn HDR-Displays in einer dunklen Umgebung verwendet werden, wird ein Gammawert größer 2,4 erwartet.

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	190	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	161
$L_{TUB}^* = 40 \log(Y/18) / \log 5$	extrapolierter Körperfarbenbereich								hellere Muster	
$L_{TUB}^*$		-71	-57	-40	-37	-17	-2	0	8	37
							40	42	57	57
										74
	extrapolierter Körperfarbenbereich								hellere Muster	
$50 + L_{TUB}^*$		-21	-7	10	12	32	47	50	58	87
							90	92	107	107
										124

egj21-7n

Bild. 4 CIE-Normfarbwert Y und Helligkeit  $L^*$  für Oberflächen- und Displayfarben

Bild 4 zeigt in den ersten drei Zeilen die Helligkeitswerte und die entsprechenden Normfarbwerte für den Gammawert 2,0. In Bild 5 kann der matte Oberflächenfarbbereich zwischen  $Y_N=3,6$  und  $Y_W=90$  für SDR-Displays (grüne Farbe) für HDR-Displays (rote Farbe) erweitert werden.

Der Leuchtdichtekontrastbereich für  $Y_N=3,6$  und  $Y_W=90$  beträgt  $C=25:1$ . Wird dieser Bereich an beiden Enden um den Faktor 2 erweitert, so beträgt der Kontrastumfang  $C=100:1$  mit  $Y_N=1,8$  und  $Y_W=180$ . ISO/TC 22028-5 verwendet den Bereich  $C=625:1$ , der den Faktor 5 an beiden Enden enthält.

In Büros muss ein weißes Papier mit der Reflexion  $R=0,9$  bei der Standardbeleuchtungsstärke  $E=500$  Lux die gleiche Leuchtdichte wie das weiße Display haben. Diese Empfehlung wird zur Steigerung des Wohlbefindens und zur Reduzierung der Ermüdung der Benutzer gemäß der ergonomischen Norm ISO/CEN/DIN 9241-306 [1] für Displayarbeiten empfohlen. Diese Empfehlung führt für Weiß W zur Leuchtdichte  $L=E R / \pi = 142 \text{ cd/m}^2$ .

Die meisten Displays haben eine Oberflächenreflexion nahe  $R=0,036$  oder den Normfarb-Wert  $Y=3,6$  in Standardbüros. Beispielsweise weist das HDR-Display *Apple iPod 2022* durch eine spezielle Beschichtung der Displayoberfläche eine Reflexion  $R=0,018$  auf, die in Displayausgabe von Bild 5 als Beispiel dient.

Wenn z.B. der emittierende Normfarbwert  $Y_3=1,8$  und der Reflexionswert  $Y_{\text{ref}}=3,6$  ist, dann führt die physikalische Mischung beider zum Normfarbwert  $Y=4,5$ . Dieser Wert wird mit der Formel  $Y_4 = 18 (Y_3 + Y_{\text{ref}})/21,6$  für die Normierung  $Y_U=18$  berechnet.

## Ergonomische gleichabständige Farbausgabe mit freier Anwendungssoftware Standbilder & Video

**Anwendungsprogramm** Ändere das relative Gamma  $\gamma_{\text{rel}}$  für gleichabständige Display- oder Druckausgabe



1,0



zumindest relative Gammawerte  $0,5 \leq \gamma_{\text{rel}} \leq 2,0$  mit  $\Delta\gamma_{\text{rel}} = 0,1$   
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  $\gamma_{\text{rel}}$ . 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>

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>

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

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. 5 Gammaänderungssoftware für die Ausgabe auf dem gesamten Display oder von Standbilddateien.**

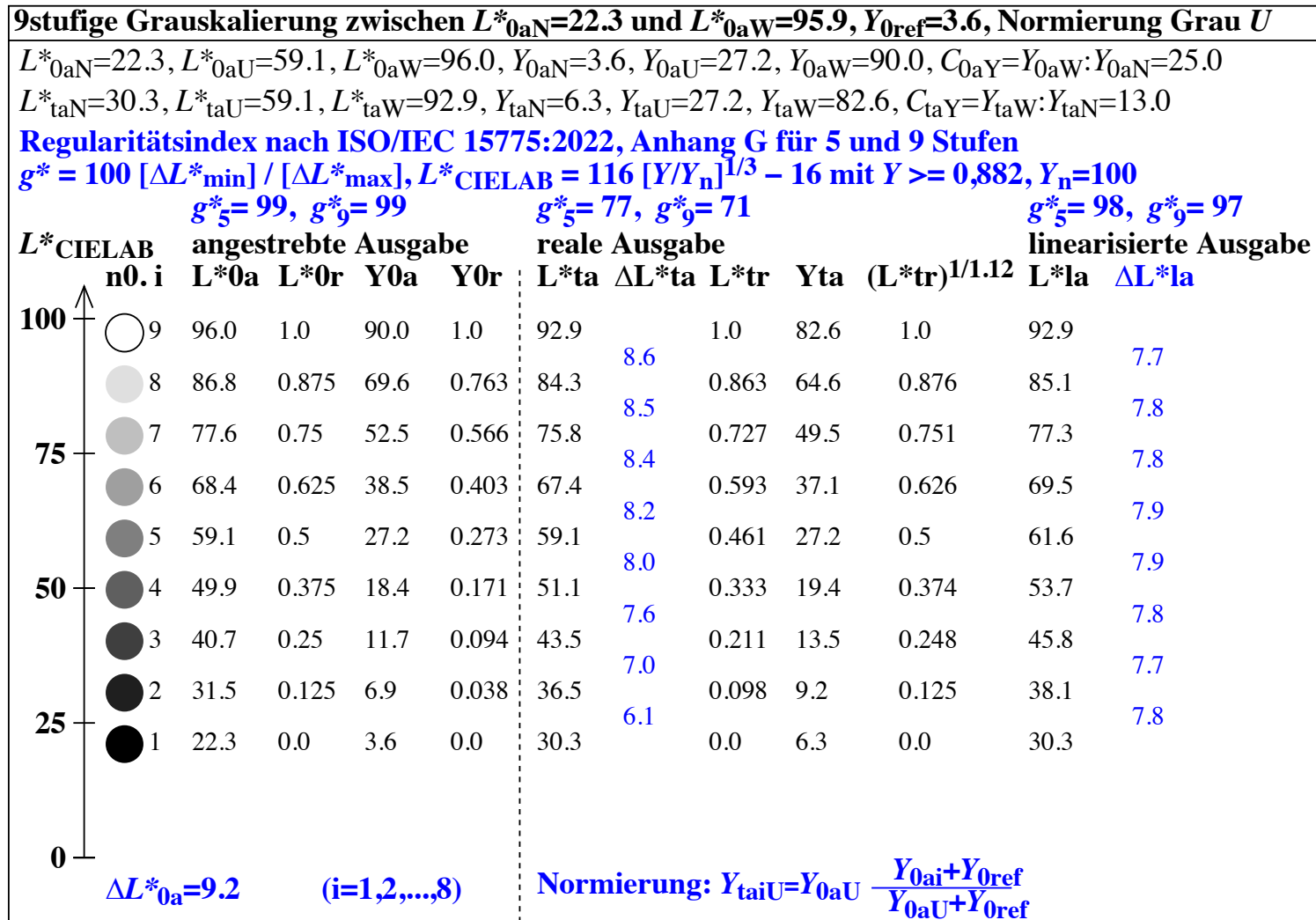


ISO 9241-306 enthält Prüfvorlagen für 16 relative Gammawerte zwischen etwa 0,5 und 2,0 auf 16 verschiedenen Seiten. Die Ausgabe der 16 Seiten mit den 16 Gammawerten sind alle in Bild 1 enthalten. In der Regel erzeugt nur einer der 16 Gammawerte die ergonomisch gleichmäßig gestufte Ausgabe. Die Software *gammaadjuster* ermöglicht es, zwischen 16 oder nur einem Gammawert zu wechseln.

Wenn die gleichmäßige Stufung der Ausgabe von Bild 1 für einen von 16 Gammawerten auf einem SDR- oder HDR-Gerät annähernd erfüllt ist, dann kann die Gammasoftware von Bild 5 die Absicht von [1] für eine annähernd gleich gestufte Ausgabe sowohl auf dem SDR- als auch auf dem HDR-Gerät erfüllen. Diese angestrebte Ausgabe nach [1] ist sowohl für die gesamte Display-Ausgabe, beispielsweise mit dem *Gammaadjuster*, als auch für die Bilddateiausgabe, beispielsweise mit dem *Grafikkonverter*, möglich. Ähnliche Softwareanwendungen gibt es für das Betriebssystem *Windows*.

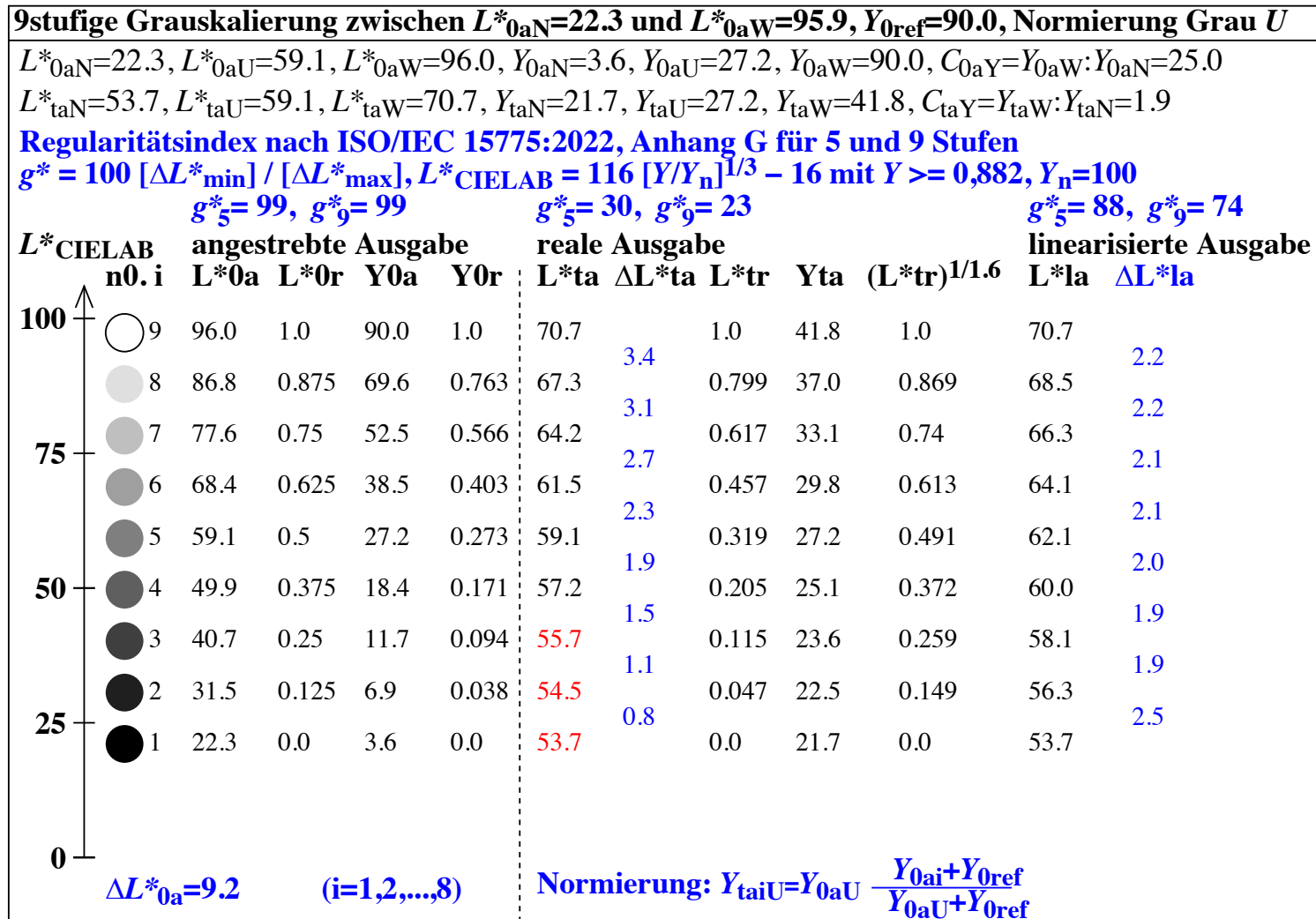
Anwendungstests können zeigen, ob die Methoden der ISO 9241-306 mit den Beispiel-Softwareanwendungen in Bild 5 sowohl für das *globale Farbmanagement* (viele HDR- nach SDR-Konvertierungen) als auch für das *lokale Farbmanagement* (viele lokale SDR-Arbeitsplatz-Konvertierungen) nützlich sind.

Anwendungstests können zeigen, ob der kombinierte Transfer von HDR-Material für die Betrachtung an SDR-Arbeitsplätzen mit unterschiedlichen Displayreflexionen durch nur eine Gammaänderung möglich ist. Bild 6 bis Bild 8 zeigt den Kontrastbereichstransfer  $C=25:1$  bis  $C=13:1$ ,  $C=25:1$  bis  $C=2:1$  und  $C=225:1$  bis  $C=2:1$  auf SDR-Geräten.



egk10-3n

**Bild. 6 Änderung der Displayfarben vom Kontrastbereich  $C_Y = Y_{0aW}:Y_{0aN}=25:1$  zum Bereich  $C_Y=13:1$**



egk11-7n

**Bild. 7 Änderung der Displayfarben vom Kontrastbereich  $C_Y = Y_{0aW}:Y_{0aN}=25:1$  zum Bereich  $C_Y=2:1$**

9stufige Grauskalierung zwischen $L^*_{0aN}=3.6$ und $L^*_{0aW}=95.9$ , $Y_{0ref}=90.0$ , Normierung Grau U												
$L^*_{0aN}=3.6, L^*_{0aU}=49.8, L^*_{0aW}=96.0, Y_{0aN}=0.4, Y_{0aU}=18.2, Y_{0aW}=90.0, C_{0aY}=Y_{0aW}:Y_{0aN}=225.0$												
$L^*_{taN}=46.0, L^*_{taU}=49.8, L^*_{taW}=62.0, Y_{taN}=15.2, Y_{taU}=18.2, Y_{taW}=30.3, C_{taY}=Y_{taW}:Y_{taN}=2.0$												
Regularitätsindex nach ISO/IEC 15775:2022, Anhang G für 5 und 9 Stufen												
$g^* = 100 [\Delta L^*_{min}] / [\Delta L^*_{max}], L^*_{CIELAB} = 116 [Y/Y_n]^{1/3} - 16$ mit $Y \geq 0.882, Y_n=100$												
$g^*_5=99, g^*_9=99$ $g^*_5=14, g^*_9=9$ $g^*_5=92, g^*_9=71$												
$L^*_{CIELAB}$	n0.i	angestrebte Ausgabe				reale Ausgabe					linearisierte Ausgabe	
		$L^*_{0a}$	$L^*_{0r}$	$Y_{0a}$	$Y_{0r}$	$L^*_{ta}$	$\Delta L^*_{ta}$	$L^*_{tr}$	$Y_{ta}$	$(L^*_{tr})^{1/2.0}$	$L^*_{la}$	$\Delta L^*_{la}$
100	9	96.0	1.0	90.0	1.0	62.0		1.0	30.3	1.0	62.0	
	8	84.4	0.875	64.9	0.72	58.2	3.8	0.762	26.1	0.873	59.9	2.0
	7	72.9	0.75	45.0	0.498	54.8	3.3	0.554	22.8	0.745	57.9	2.0
75	6	61.3	0.625	29.6	0.326	52.0	2.8	0.379	20.2	0.616	55.8	2.0
	5	49.8	0.5	18.2	0.199	49.8	2.2	0.24	18.2	0.49	53.8	2.0
	4	38.2	0.375	10.2	0.11	48.1	1.7	0.136	16.9	0.369	51.9	1.9
	3	26.7	0.25	5.0	0.051	47.0	1.1	0.064	16.0	0.254	50.0	1.8
25	2	15.2	0.125	1.9	0.017	46.3	0.7	0.022	15.5	0.148	48.3	1.7
	1	3.6	0.0	0.4	0.0	46.0	0.3	0.0	15.2	0.0	46.0	2.4
0												
$\Delta L^*_{0a}=11.5$		$(i=1,2,...,8)$				Normierung: $Y_{taiU}=Y_{0aU} \frac{Y_{0ai}+Y_{0ref}}{Y_{0aU}+Y_{0ref}}$						

egq31-7n

**Bild. 8 Änderung der Displayfarben vom Kontrastbereich  $C_Y = Y_{0aW}:Y_{0aN}=225:1$  zum Bereich  $C_Y=2:1$**

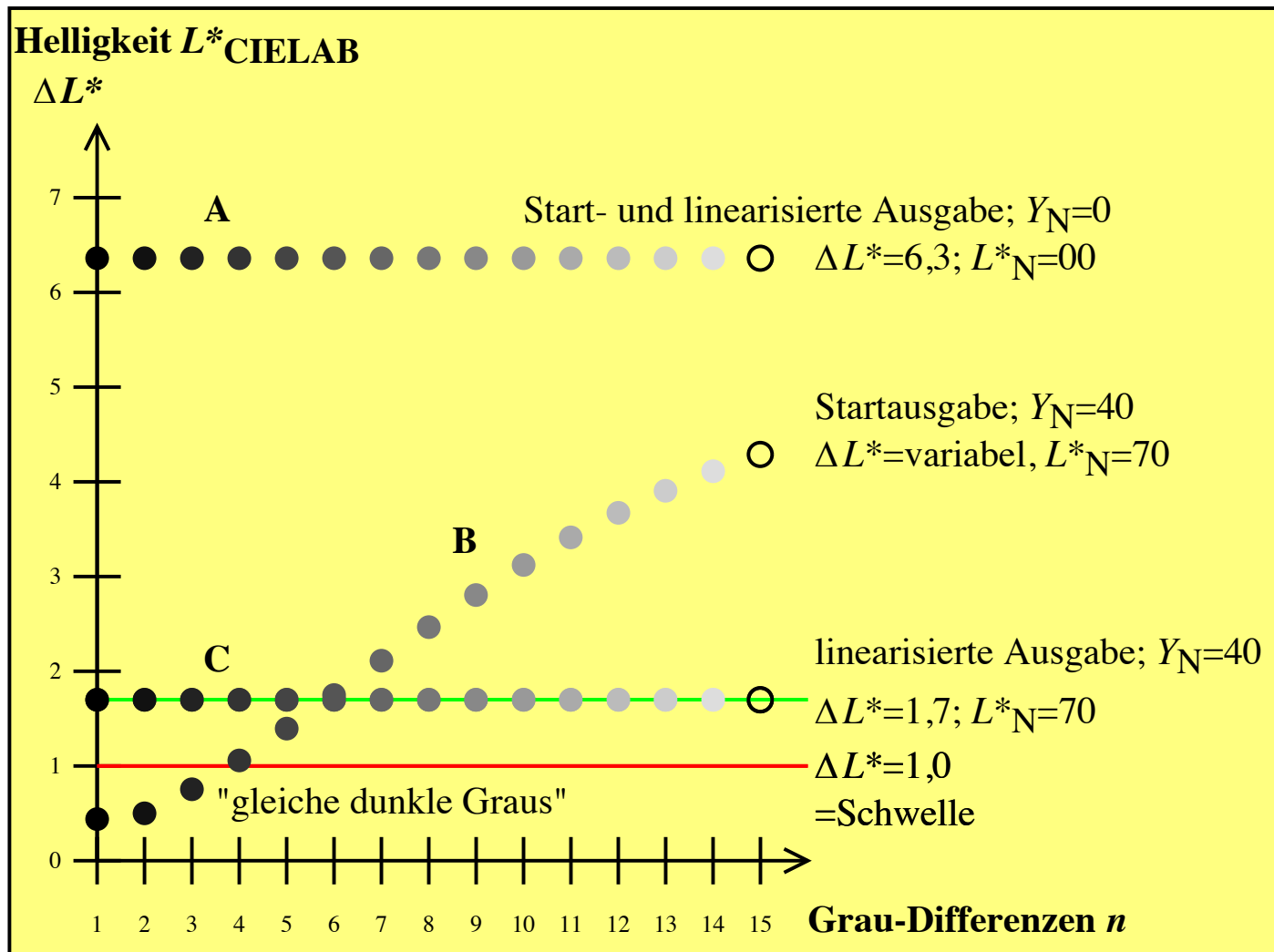
Die Bilder 6 bis 8 zeigen Graustufen, ihre Veränderungen mit der Reflexion des Umgebungslichts auf dem Display und die Veränderungen durch eine Gammakorrektur.

Zum Beispiel Bild 8 zeigt die gleichmäßig verteilte Helligkeit zwischen  $L^*_{0aN}=3,6$  und  $L^*_{0aW}=96$  mit konstantem  $\Delta L^*_{0a}=11,5$ . Die Normfarbwerte variieren zwischen  $Y_{0aN}=0,4$  und  $Y_{0aW}=90$ . Es wird die Reflexion  $Y_{ref}=90$  angenommen. Für eine 9-stufige Grauskala, die in  $L^*_{CIELAB}$  gleichmäßig gestuft ist, werden die ursprünglichen Werte  $L^*_{0a}$  in die Testwerte  $L^*_{ta}$  geändert. Statt gleicher ursprünglicher Differenzen  $\Delta L^*_{0a}$  werden nun ungleiche Testdifferenzen  $\Delta L^*_{ta}$  berechnet. Die dunklen Stufen weisen kleine Unterschiede  $\Delta L^*_{ta}=0,3$  im Vergleich zu den hellen Stufen mit  $\Delta L^*_{ta}=3,8$  auf. Durch eine Gammaänderung der relativen Helligkeitswerte  $L^*_{tr}$  mit der Formel  $(L^*_{tr})^{1/1,2}$  werden die annähernd gleichen Helligkeitsunterschiede nahe  $\Delta L^*_{ta}=2,0$  erzeugt.

ISO/IEC 15775, Anhang G, definiert einen Regelmäßigkeitsindex  $g^*$ , der die Qualität des gleichen Abstands einer 5- oder 9-stufigen Grauskala angibt. Mit den vier Helligkeitsunterschieden errechnet sich

$$g^* = 100 (\Delta L^*_{min} / \Delta L^*_{max})$$

Wenn eine Differenz Null ist, dann ist der Index  $g^*=0$ . Wenn alle Differenzen gleich sind ( $\Delta L^*_{min}=\Delta L^*_{max}$ ), dann ist der Index  $g^*=100$ . Die Ausgabequalität im Bereich  $90 \leq g^* \leq 100$  gilt als *sehr gut* und im Bereich  $80 \leq g^* < 90$  als *gut*. Die roten Helligkeitswerte weisen nicht sichtbare Unterschiede auf, die im Vergleich zum Schwellenwert  $\Delta L^*_{ta}=1$  kleiner sind. Ein ähnliches Beispiel ist im nächsten Bild für eine 16-stufige Grauskala dargestellt.



egb11-3N

**Bild. 9 Änderung der Displayfarben vom Kontrastbereich  $C_Y=Y_{0aW}:Y_{0aN} >225:1$  zum Bereich  $C_Y=2:1$**

In Bild 9 ist die Leuchtdichte eines Projektors auf der Leinwand und die Leuchtdichte des Tageslichts auf der Leinwand gleich. Dann ist der Kontrast  $L_W : L_N = 2 : 1$ . In diesem schlimmsten Fall sind drei Graustufen nicht unterscheidbar, siehe B. Die Ausgangslinearisierung erzeugt die gleiche Stufung, siehe C.

### **Anwendung für die Ausgabe auf HDR- und SDR-Displays**

IEC 61966-2-1 (sRGB-Farbraum) definiert den Normgammawert  $\gamma = 2,4$ . Für das lokale Farbmanagement mit Reflexionen des Umgebungslichts ist ein Gammawert  $\gamma < 2,4$  notwendig, siehe Bild 5 und 6 für zwei verschiedene Umgebungsreflexionen. Für das Farbmanagement von HDR-Displays erscheint ein Gammawert größer  $\gamma = 2,4$  angemessen.

ISO/TS 22028-5:2023 [3] mit dem Titel *Fotografie und Grafiktechnik - Erweiterte Farbkodierungen für digitale Bildspeicherung, -manipulation und -austausch - Teil 5: High Dynamic Range und Wide Color Gamut Encoding für Stehbilder (HDR/WCG)* enthält weitere Informationen zu HDR-Displays und deren Leuchtdichtebereich.

Ein Problem für viele Anwendungen ist die folgende Aussage im informativen Anhang E von [3]: *E.4.1 Farbmeterik bei der Displayanzeige, Die farbmeterische Displayanzeige soll geschönte (pleasing) Bilder auf einem HDR-Display erzeugen.* Ich konnte keine Definition für die Absicht finden, *geschönte Bilder auf einem HDR-Display zu erzeugen*. Bis zur Klärung ist es schwierig, den Einsatz von HDR-Geräten und -Software für die Display-Anwendungen in Büros nach [1] zu bewerten. In der folgenden Bild 8 ist die klare Absicht von [1] zu sehen, gleiche Abstände auf jedem Display (SDR oder HDR bei Verwendung in Büros) für die ISO-Prüfvorlagen nach [1] zu erzeugen. Die Frage der geschönten Ausgabe wird mit Bild 12 weiter diskutiert.

<b>Eigenschaften des visuellen Systems und Kopierer- und Displayausgabe</b>				
Nach ISO 9241-306:2018 ist die Leuchtdichte von weißem (W) Display und dem weißen Papier gleich, um Ermüdung zu reduzieren und Wohlbefinden zu erhöhen. Der Beleuchtungsstärke 500 lux (ISO 8995) entspricht Leuchtdichte $L_W=142 \text{ cd/m}^2$				
<b>Tabelle: Ergonomie, Energieverbrauch &amp; Nachhaltigkeit der Ausgabe</b>				
<b>Normdokument und Geräteausgabe</b>	<b>ISO/IEC 15775 /ed-2:2022 Kopierer</b>	<b>ISO 9241-306 /ed-2:2018 Display</b>	<b>ISO 22028-5 HDR-Bereich Display</b>	<b>ISOWD 21496 HDR&lt;--&gt;SDR Display</b>
<b>Tonstufung visuell (vis.) &amp; farbmetrisch</b>	ergonomisch gleich gestuft, vis. & metrisch	ergonomisch gleich gestuft, vis. & metrisch	geschönte Ausgabe?, Definition?	geschönte Ausgabe?, Definition?
<b>ergonomische Ausgabequalität <math>0 \leq g^* \leq 100</math></b>	hohe Qualität, vis. Stufung & Regularität $g^*$	hohe Qualität, vis. Stufung & Regularität $g^*$	niedr. Qualität, keine Reflexion beachtet	niedr. Qualität?, keine Reflexion beachtet?
<b>optimierte Energie-Verbrauch</b>	ja, 500 lux ISO 8995-1 $142 \text{ cd/m}^2$	ja, 500 lux ISO 8995-1 $142 \text{ cd/m}^2$	nein, bis zu 3300 lux oder $1000 \text{ cd/m}^2$	nein, bis zu 3300 lux oder $1000 \text{ cd/m}^2$ ?
<b>optimierte nachhaltige (N) Software NSW</b>	ja, NSW ist für >3 Benutzer-fälle (Papiere)	ja, NSW ist für >15 Benutzer-reflexionen	nein, SW ist nur für 1 Benutzerfall HDR-Ausgabe	nein, SW vorge-sehen für HDR/SDR-Ausgabe
<i>Displayreflexion wird NICHT beachtet, dies ist das "Steinzeitalter der Bild-IT".</i>				

egj01-6n

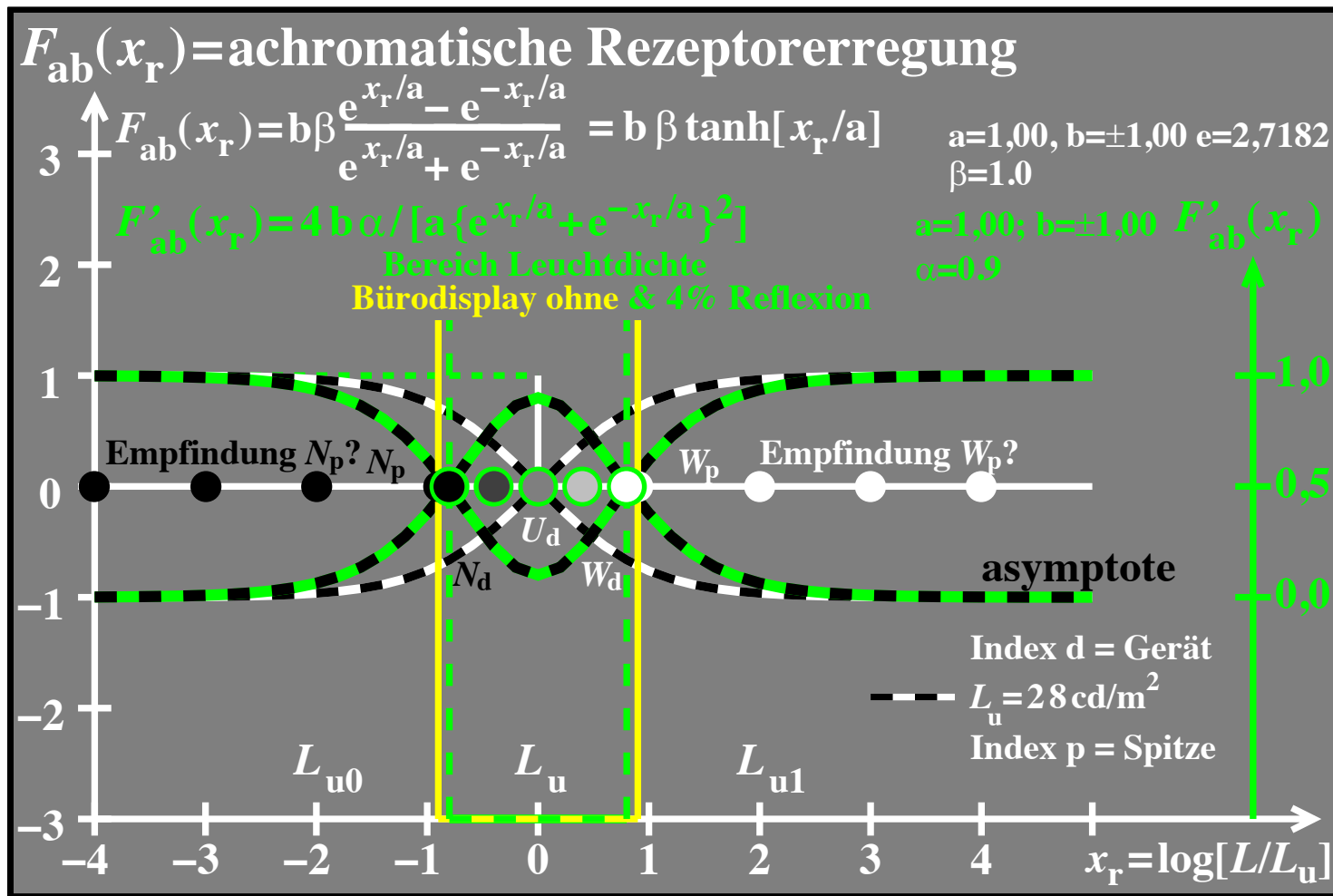
**Bild. 10: Standards für Kopierer, SDR- & HDR-Displayausgabe und Anforderungen**



ISO/TS 22028-5 [3] definiert eine nominale diffuse weiße Leuchtdichte  $L_{WD} = 203 \text{ cd/m}^2$  und eine weiße Spitzenleuchtdichte  $L_{WP} = 1000 \text{ cd/m}^2 = 5 L_{WD}$ . Die Leuchtdichte der Umgebung muss  $L_{NS} = 5 \text{ cd/m}^2$  und die der Peripherie  $L_{NP} \leq 5 \text{ cd/m}^2$  betragen. Bei der **Referenz-Betrachtungsumgebung** nach ISO/TS 22028-5 handelt es sich also um eine **Kinobedingung** mit schwarzer Umgebung. Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Weiß W und Schwarz N ist  $L_W : L_N = 203 : 5 = 40 : 1$ . Dieses Leuchtdichteverhältnis ist im Vergleich zu Standard-Oberflächenfarben nach [1] oder [2] größer. Die **Referenz-Betrachtungsumgebung** nach ISO 9241-306 ist **ergonomische Bürobedingung** (grüner Teil in Bild 10). Die empfohlene Bürobeleuchtungsstärke von 500 lux ergibt gemäß ISO 8995-1 *Innenraumbeleuchtung* eine Leuchtdichte von  $L_{WP} = 142 \text{ cd/m}^2$  auf dem weißen Normpapier (P). Die weiße Anzeige (D) muss die gleiche Leuchtdichte  $L_{WD} = 142 \text{ cd/m}^2$  haben. Grau U hat die Leuchtdichte  $L_{UD} = 28 \text{ cd/m}^2$  und Schwarz N hat die Leuchtdichte  $L_{ND} = 5,7 \text{ cd/m}^2$ .

ISO/TS 22028-5:2023 sieht im informativen Anhang E 4.1 eine geschönte (pleasing) Displayausgabe vor. Es gibt keine Definition, jedoch eine Liste von Anpassungen in diesem ISO-Dokument. Daher scheint es nicht möglich zu sein, die Ausgabequalität zu bewerten. Der Begriff "niedrige Qualität" kann im roten Teil von Bild 10 angebracht sein, da die visuelle und die farbmetrische Ausgabequalität der Prüfvorlagen nach ISO/IEC 15775 und ISO 9241-306 gering sein wird.

Im Hauptteil ist ein Normspitzenweiß  $L_{WP} = 1000 \text{ cd/m}^2 = 5 L_{WD}$  definiert. Für den Normschwarzpunkt muss die Mindestleuchtdichte der Normreferenzdisplays  $0,0005 \text{ cd/m}^2$  betragen. Diese ist um den Faktor 10000 kleiner als das diffuse Schwarz  $L_{ND}=5 \text{ cd/m}^2$ . Die technische Spezifikation des HDR-Geräts *iPod 203 (2023)* beinhaltet die Reflexion der Displayoberfläche 1,8%. Im ergonomischen Zustand beträgt das Leuchtdichteverhältnis  $L_{WP} : L_{NP} = 90 : 1,8 = 50 : 1$  mit  $L_N=3,6 \text{ cd/m}^2$ . Es gibt also viele Gründe, warum die HDR-Displayausgabe für ergonomische Büroarbeitsplätze unbrauchbar erscheint.



egg01-4n

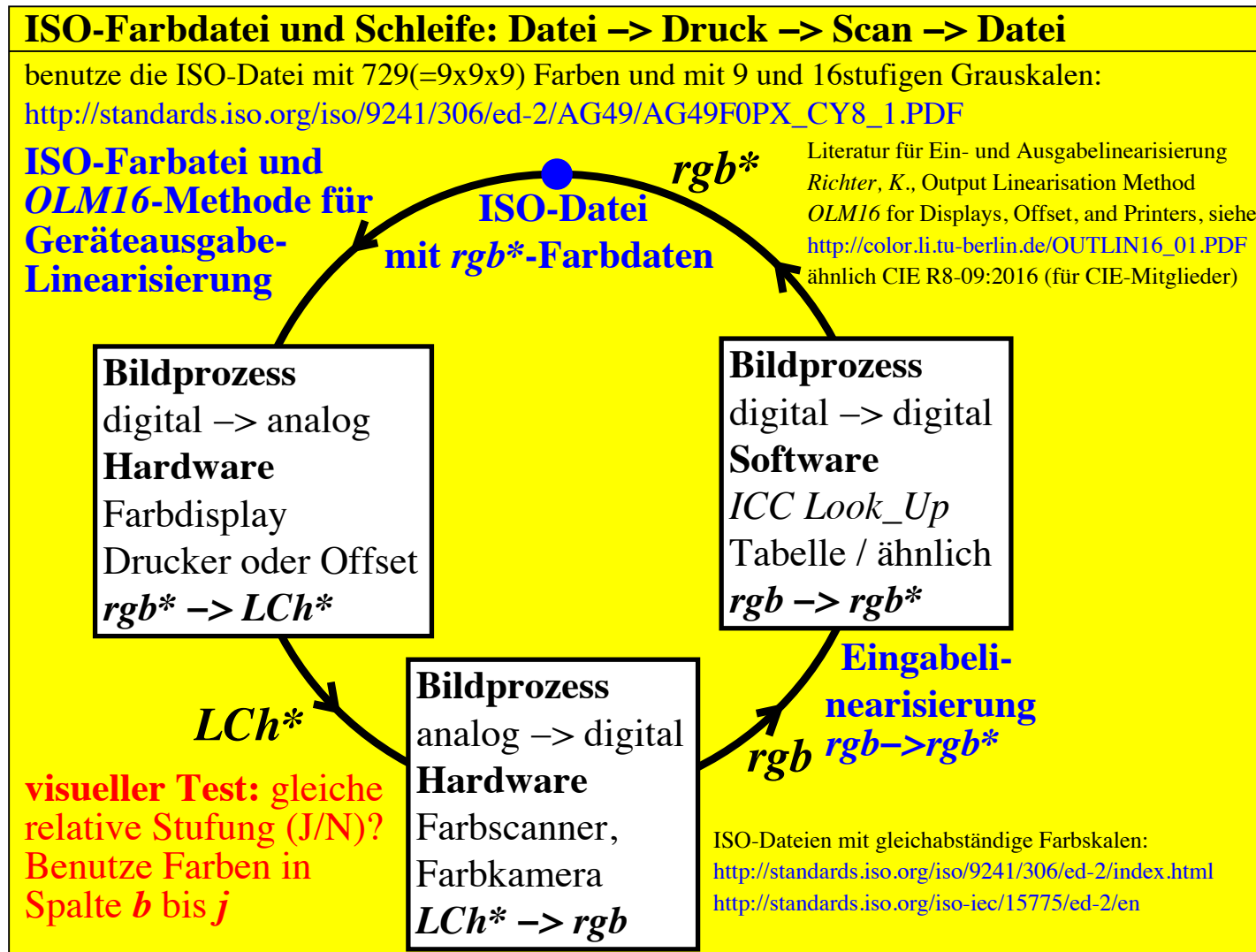
**Bild. 11 Sichtfenster des visuellen Leuchtdichteverhältnisses  $L_W : L_N = 36:1$  und eines Geräteleuchtdichteverhältnisses  $L_W : L_N = 50:1$ .**

*Valeton und van Norren (1973)* haben die achromatische Rezeptorantwort in der Netzhaut von Affen gemessen. Die Erregung als Funktion der Testleuchtdichte  $L$  und der Umgebungsleuchtdichte  $L_U$  sind in Bild 11 dargestellt. Die ansteigende Schwarz-Weiß-Kurve ist eine Antwort, die durch die Funktion  $\tanh$  angenähert wird. Diese Funktion ist S-förmig und die Ableitung ist *Gauß-förmig*. Innerhalb des visuellen Systems gibt es oft zwei antagonistische Erregungen, siehe Bild 11.

Bild 11 zeigt fünf Farben zwischen Schwarz und Weiß (*in Kreisen*), die durch die Ableitungen der beiden antagonistischen Erregungen definiert sind. Beide definieren ein Sichtfenster (*in gelb*) für das Leuchtdichteverhältnis  $L_W : L_N = 50 : 1$ . Wenn 3,6% der Leuchtdichte von Weiß (90%) auf dem Display reflektiert werden, dann reduziert sich das Leuchtdichteverhältnis des Geräts auf  $L_W : L_N = 25 : 1$ . Dies ist der Farbbereich der matten Oberfläche (gestrichelte grüne Linien).

Nach dem TUB-Modell wird sowohl die Schwarz- als auch die Weißwahrnehmung an den beiden Rändern des Sichtfensters erreicht. Für die Testleuchtdichte  $L$  und die graue Adaptionseleuchtdichte  $L_U = 28 \text{ cd/m}^2$  sind die Grenzen dieses Fensters abhängig von der Darbietungszeit und sind hier für eine Darstellungszeit nahe 0,4s berechnet. Reduziert man z.B. die Adaptionseleuchtdichte um den Faktor 100 auf  $0,28 \text{ cd/m}^2$  oder auf  $2800 \text{ cd/m}^2$  so verschiebt sich auch das Sichtfenster um den Faktor 100. Das Leuchtdichteverhältnis  $L_W : L_N = 50 : 1$  ist für diese beiden Adaptionen konstant.

Anwendungsfall: Eine Birke hat eine weiße und schwarze Oberfläche. Befindet sich bei Sonnenschein ein Schatten eines anderen Baums auf der betrachteten Birke, so kann sich die Leuchtdichte im Schattenbereich um den Faktor 100 verringern. Dann erscheint die Oberfläche der Birke im Schattenbereich komplett Schwarz N. Im Falle der Birke treten in der Software *Adobe Photoshop* noch Leuchtdichteunterschiede auf. Änderungen der Bilddaten ermöglichen es, die nicht sichtbaren Unterschiede im Schattenbereich sichtbar zu machen. Änderungen dieser Art können eine Grundlage für eine *geschönte Ausgabe* sein, die in [3] verwendet, aber nicht definiert ist.



egb00-3N

**Bild 12 Farbkreis mit Kameraaufnahme und SDR- oder HDR-Display-Ausgang**

Es gibt digitale und analoge Prüfvorlagen nach ISO 9241-306 [1] und ISO/IEC 15775 [2]. Die analogen Prüfvorlagen sind in CIELAB gleichmäßig gestuft für die gleichmäßig gestuften  $rgb^*$ -Werte in den ISO-Dateien. Zum Beispiel hat die Ausgabelinearisierung von Bild 12 16 CIELAB-Helligkeitswerte zwischen  $L_N^*=20$  und  $L_W^*=95$  mit  $\Delta L^*=5$  für die gleichmäßig gestuften  $rgb^*$ -Werte zwischen  $rgb_N^*=0$  und  $rgb_W^*=1$  mit  $\Delta rgb^*=1/15=0,067$ . Es gibt Tabellen mit den  $rgb^*$ - und CIELAB- $Lab^*$ -Werten für alle 1080-Prüfvorlagenmuster.

Für die 1080 Farbmuster der Prüfvorlagen nach [1] erzeugt jede Kamera unterschiedliche  $rgb$ -Werte. Zum Beispiel die Software *Adobe Photoshop* macht alle  $rgb$ -Werte sichtbar. Eingabelinearisation ändert die 1080  $rgb$ -Werte in 1080  $rgb^*$ -Werte, die angenähert gleich den 1080  $rgb^*$ -Werten der Prüfvorlagen nach [1] sind.

Die  $rgb$ -Werte sind für eine Film- oder eine Digitalkamera unterschiedlich. Bei Film- oder Digitalkameras im Belichtungsbereich zwischen 2 Blendenstufen Unterbelichtung und 4 Blendenstufen Überbelichtung gibt es nach der Eingabelinearisation keinen visuellen Unterschied des Endbildes. Daher erzeugen in Bild 12 die Ausgabe- und Eingangslinearisation annähernd gleiche  $rgb^*$ -Daten in der endgültigen Bilddatei. Für visuelle Beispiele siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/AGCS.HTM> und für eine Veröffentlichung siehe *Richter* (2018) [8].

Das TUB-Modell [9] begrenzt das Leuchtdichteverhältnis des visuellen Systems auf ein Sichtfenster von weniger als zwei logarithmischen Leuchtdichteinheiten (Leuchtdichteverhältnis  $L_W : L_N = 100 : 1$ ). Dies gilt für Muster der *Leuchtdichte*  $L$ , eine *konstante Adaptationsleuchtdichte*  $L_U$  im Bereich  $0,28 \text{ cd/m}^2 < L_U < 2800 \text{ cd/m}^2$  und eine *Betrachtungszeit* kleiner 0,4s. Mit jedem Eingabegerät (Kamera oder Scanner) erzeugt jede Aufnahme der Prüfvorlage nach [1]  $rgb$ -Daten im visuellen Fenster und erlaubt die Erzeugung der  $rgb^*$ -Bilddaten.

## **Zusammenfassung:**

Die ISO-Prüfvorlage AG49 nach ISO 9241-306 [1] enthält 1080 Farben mit 16 Gammawerten auf 16 Seiten. Die TUB-Prüfvorlage von Bild 1 enthält die 16 Gammawerte von [1] auf einer Seite. Die Ausgabequalität wird visuell durch Ja/Nein-Fragen bewertet und durch Farbmeterik mit dem Regelmäßigkeitsindex  $g^*$  nach ISO/IEC 15775 [2] gekennzeichnet.

Wenn die Ausgabe des TUB-Prüfvorlagen die ergonomische Absicht von [1] für einen der 16 Gammawerte erreicht, dann

1. kann die verfügbare Software nach Bild 5 die gesamte Displayausgabe an Bildschirmarbeitsplätzen und/oder die Displayausgabe einer Standbilddatei nach [1] erfüllen.
2. können bei HDR-Displays die beiden Ausgabeschritte *Globales Farbmanagement* (GCM) und *Lokales Farbmanagement* (LCM) für viele Benutzeranwendungen auf einen Schritt reduziert werden.
3. ist in den Fällen 1 und 2 die Displayausgabe ergonomisch, für den Energieverbrauch optimiert und nachhaltig gemäß den in Bild 9 genannten Gründen.

*Das antagonistische TUB-Relativitätsmodell des Farbsehens für die chromatische und Leuchtdichteadaptation* [9] kann in Betracht gezogen werden, um die Erfassung und Wiedergabe von Leuchtdichte und Farbe auf visuellen Displays zu optimieren. Dies kann zu Verbesserungen der ISO/TS 22028-5:2023 [3] führen. Auf [www.iso.org](http://www.iso.org) sind zwei ähnliche ISO-Projekte ISO/AWI 22028-5 [4] und ISO/ WD 21496-1 [5] aufgeführt.

## **Literatur**

[1] ISO/CEN/DIN 9241-306:2019, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 306: Vor-Ort-Bewertungsverfahren für elektronische visuelle Displays, siehe zum Download der Prüfvorlagen mit Benutzerfragen für eine ergonomische Ausgabe von AG49 auf Displays, siehe

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

[2] ISO/IEC 15775/ed-2:2022, Information Technology – Office Equipment –Method of Specifying image reproduction on colour copying machines and multifunctional devices with copying modes by printed test charts, see for download of test charts with user questions *for sustainable copiers*. Die Prüfvorlagen von [1] und [2] ähneln sich, siehe

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

[3] ISO/TS 22028-5:2023 Photography and graphic technology - Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange - Part 5: High dynamic range and wide colour gamut encoding for still images (HDR/WCG)

[4] ISO/AWI 22028-5:2023 Photography and graphic technology - Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange - Part 5: High dynamic range and wide colour gamut encoding for still images (HDR/WCG), (Under development according to [www.iso.org](http://www.iso.org)).

[5] ISO/WD 21496-1:2023 Digital Photography — Gain map metadata for image conversion - Part 1: Dynamic Range Conversion (Under development according to [www.iso.org](http://www.iso.org)).

[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: Innenräume, (in Entwicklung gemäß [www.iso.org](http://www.iso.org)).

[8] *Richter, Klaus (2019)*, Colorimetric scan, display, and print for archiving based on the ergonomic International Standard ISO 9241-306:2018 at work places, *Proc. IS&T Archiving 2019*, S. 111-112, siehe <https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2019.1.0.25>

[9] *Richter, Klaus (2023)*, Deduktive und induktive antagonistische TUB-Farbmetrik zur Verbesserung der CIE-Farbmetrik für weite Bereiche der chromatischen und Leuchtdichteadaptation, siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/dfwg23d.pdf>

*Anmerkung:* Seit 2019 befindet sich das antagonistische TUB-Relativitätsmodell des Farbsehens in der Entwicklung. Weitere Informationen finden Sie z.B. unter [http://farbe.li.tu-berlin.de/ega\\_s.htm](http://farbe.li.tu-berlin.de/ega_s.htm) oder sehen Sie sich verschiedene Veröffentlichungen seit 2020 an unter dem Link <http://farbe.li.tu-berlin.de/XY91FDE.html>.