

Ziele einer ergonomischen und nachhaltigen Bildtechnologie (ESIT) mit Farbbildern von einer Expertengruppe (EGIT) für Anwendungen in Vorschriften, Normen und in Hard- und Software.

Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität Berlin, 2022-08-20

Zum Herunterladen dieser Veröffentlichung in deutsch <http://farbe.li.tu-berlin.de/GoESIT22G.pdf> oder

https://web.archive.org/web/*/http://farbe.li.tu-berlin.de/GoESIT22G.pdf

oder in englischer Sprache <http://color.li.tu-berlin.de/GoESIT22E.pdf>

1 Einleitung

Die EGIT ist eine internationale Gruppe von Farbwissenschaftlern und besteht derzeit aus nur wenigen Mitgliedern. Das Expertenwissen ist interdisziplinär in den Farbbereichen Physiologie, Psychophysik, Bildtechnik, Ergonomie, Farbmeterik, Design, Architektur und Kunst. Die EGIT schlägt ergonomische und nachhaltige Lösungen für wichtige Anwendungen der Farbbildtechnik vor.

1.1 Besonderes Ziel von Normorganisationen (BGSO) für Ergonomie und Nachhaltigkeit

Viele Normorganisationen, zum Beispiel die ISO, haben mittlerweile das Ziel, den Nettonutzen der Anwender durch ihre Normdokumente zu steigern. Besonders ergonomische und nachhaltige Ziele werden unterstützt, siehe z.B. <https://www.iso.org/committee/53348.html> und <https://www.iso.org/standard/76913.html>

Das Ziel scheint in zwei Beispielfällen zu scheitern, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Daher hat die EGIT ihre Tätigkeit mit diesem Dokument aufgenommen.

1.2 Ziele des EGIT

1. Vorschläge für eine *ergonomische und nachhaltige Bildtechnologie (ESIT) für Farbbilder zu unterbreiten.*
- (2) Eine Verordnungsbehörde (RA), beispielsweise der EU, kann den Vorschlag prüfen und mit der Erarbeitung von Lösungen beginnen.

1.3 Mitglieder und Tätigkeit der EGIT und Wissensaustausch

1. Die Mitglieder verfügen über ein interdisziplinäres Farbwissen oder unterstützen diesen Bereich.
2. So umfasst der TUB-Server <http://farbe.li.tu-berlin.de/indexDE.html> seit 25 Jahren interdisziplinäres Wissen in Bildtechnik und Farbmeterik.
3. Das Wissen der EGIT wird in Videokonferenzen etwa viermal im Jahr präsentiert und ausgetauscht.
4. Die Anmeldung für interessierte Farbexperten ist kostenlos, siehe unter *Geplante Workshops und Vorträge im Jahr 2022 auf* <http://farbe.li.tu-berlin.de/XY91FDE.html>

2. Farbschleife mit Licht- und Oberflächenfarben in der Bildtechnik (CLIT)

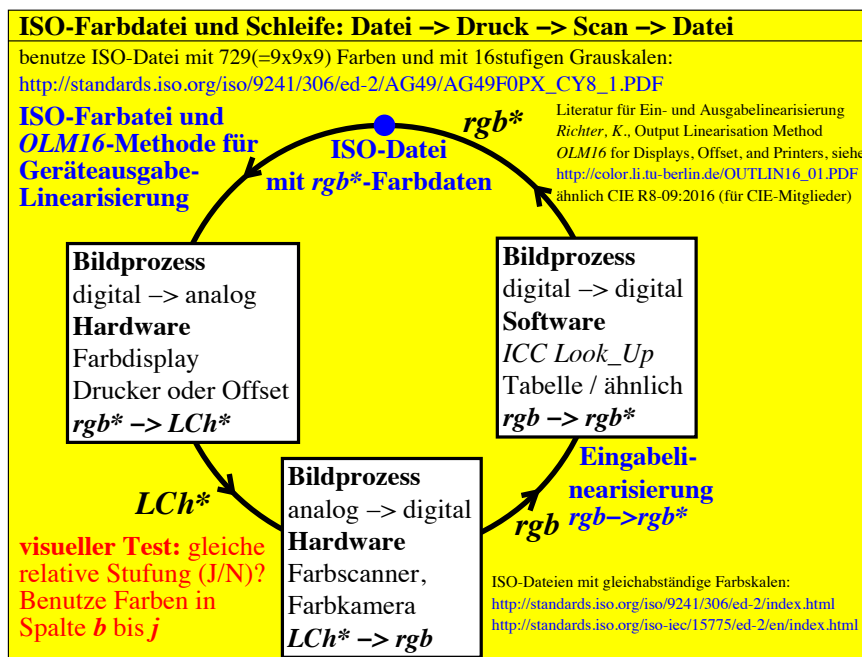


Bild 1: Farbschleife: ISO-Datei -> Digital-Analog-Übertragung -> Analog-Digital-Übertragung -> ISO-Datei.

Zum Herunterladen dieses Bildes siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/CGT4/CGT40-3N.PDF>

In der Informationstechnik werden digitale und analoge ISO-Prüfdiagramme verwendet, um die Farbschleife von Bild 1 zu realisieren.

Die *rgb**-Farbdaten in einer ISO-Datei müssen für jede Software- und Hardwarekombination am Ende der Schleife im Vergleich zum Beginn der Schleife ungefähr gleich sein. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es technische Lösungen. In zwei Beispielfällen für die Druck- und Displayausgabe scheinen die industriellen Interessen mit ergonomischen und nachhaltigen Anforderungen in Konflikt zu stehen.

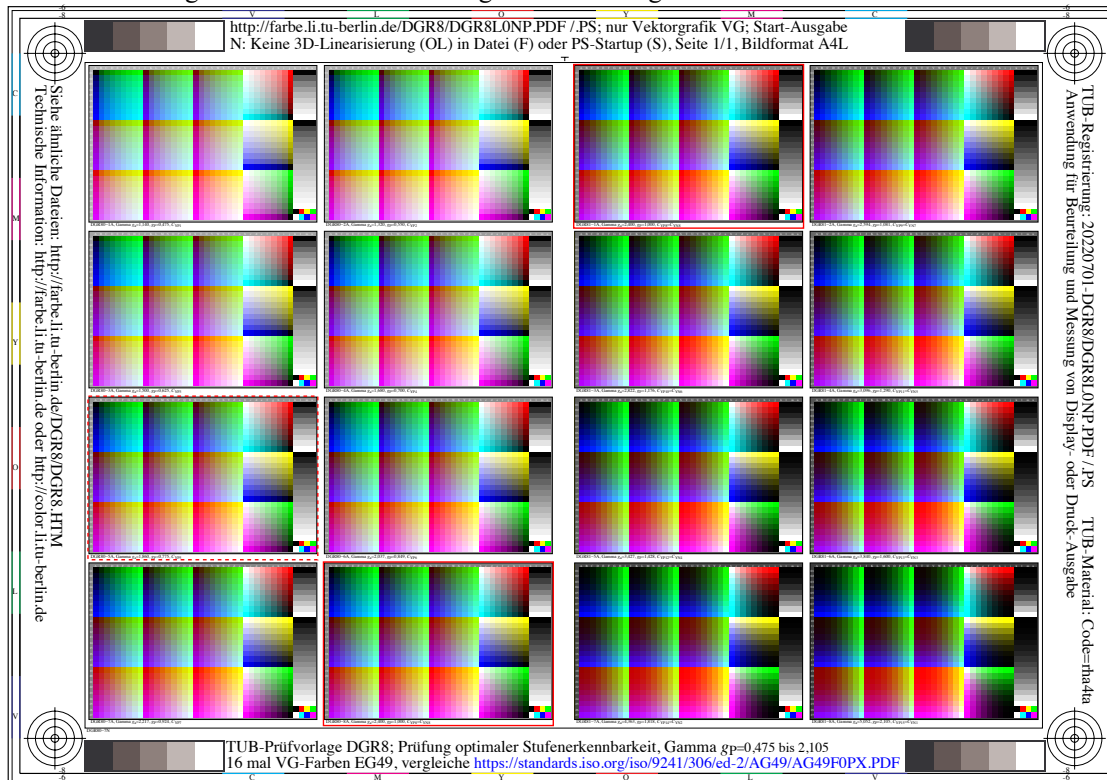


Bild 2: Gleichmäßig gestufte Farbreihen in *rgb und deren visuelle Wiedergabe mit 16 Gammawerten nach ISO 9241-306:2018.**

Zum Herunterladen dieses Bildes siehe <http://farbe.li.tu-berlin.de/DGR8/DGR8L0NP.PDF>

Bild 2 zeigt 1080 Farbmuster nach ISO CEN DIN 9241-306:2019. Die 16 Bilder unterscheiden sich durch die absoluten Gammawerte ungefähr im Bereich $1,2 \leq g \leq 4,8$ oder die relativen Gammawerte $0,5 \leq g_r \leq 2$. Die *rgb*-Daten in den Dateien ändern sich durch die Gleichung $rgb' = rgb^g$. In vielen Anwendungsfällen wird eine ergonomische Ausgabe nur mit einem speziellen Gammawert g erzeugt.

Visuell ist im linken ersten Bild der Unterschied der grauen dunklen Stufen groß und im rechten letzten Bild sind viele dunkle Stufen nicht zu unterscheiden. Für die Display- oder die Druckausgabe zeigt nur eines der 16 Bilder annähernd die ergonomisch gleichmäßig gestufte Ausgabe.

Beispielfall 1: Druckausgabe von ISO CEN DIN 9241-306/ed-2:2019 nach ISO/IEC 15775

Visuell sind vier der 16 grauen Stufen im DIN-Druck von ed-2:2019 nicht zu unterscheiden. Alle 15 Stufenunterschiede des ISO-Drucks von 2008 sind jedoch ungefähr gleich wie beabsichtigt. Die Farbmetrik berechnet den Regelmäßigkeitsindex g^* nach ISO/IEC 15775, Anhang G. Für den Druck von 2019 ist $g^*=0$ und für den Druck von 2008 ist $g^*=90$. Der Wert 90 gibt ungefähr an, daß ein Stufenunterschied um 10% kleiner ist als die anderen ähnlichen Stufenunterschiede ΔL^* in CIELAB.

Ergebnis: Der Druck von 2019 ist NICHT ergonomisch und NICHT nachhaltig, da die sehr dunkle Ausgabe von 2019 im Vergleich zur ergonomischen Ausgabe mehr Tonermaterial benötigt.

ISO/IEC 15775 hat ein ISO-Nachhaltigkeitslabel, siehe <https://www.iso.org/standard/76913.html>.

Regulierungsbehörden können nach einem nachhaltigen Ausgabe suchen. Die Hard- und Software muß die Anforderungen an die Ausgabe nach ISO/IEC 15775 erfüllen.

Hinweis: ISO/IEC 15775 beinhaltet zusätzlich die Druckanforderung 100% UCR-Technologie. Diese Technologie verwendet für den Druck von grauen Farben nur das unbunte Tonermaterial Schwarz. Für Nachhaltigkeit ist es zum Beispiel nicht erlaubt, drei Toner CMY für den Druck von Schwarz N übereinander zu drucken. Dies führt für die Anwender zu einem dreifachen Materialverbrauch. Beispielsweise kann durch spektrale Messungen der Reflexion des mittleren Graus der Anstieg des Materialverbrauchs bestimmt werden.

Beispielfall 2: Display-Ausgabe nach ISO 9241-306:2018 auf HDR- und sRGB-Displays

ISO 9241-306 enthält viele ISO-Dateien für die Displayausgabe mit Ausgabefragen, siehe <https://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49.HTM>

Die ISO-Dateien enthalten die 1080 Farben mit 15 verschiedenen Gammawerten auf 16 Seiten. Bild 1 enthält die 16 Gammawerte auf einer Seite.

Der Gammawert eines beliebigen High Dynamic Range (HDR)-Displays ist größer als der Gammawert des Normdisplays sRGB nach IEC 61966-2-1. Daher erzeugt ein HDR-Bild oder HDR-Video visuell viele dunkle Stufen auf dem sRGB-Normdisplay, im schlimmsten Fall ähnlich dem letzten Bild in Bild 2. Diese HDR-Bildausgabe ist daher KEINE ergonomische Ausgabe auf dem sRGB-Display.

Lösung: Die beiden Ausgaben von ISO 9241-306:2008 und ed-2:2018 beschreiben als Beispiel einen Gamma-Schieberegler des *macOS-Betriebssystems*, siehe Bild 2 von <http://farbe.li.tu-berlin.de/indexDE.html>. Mit diesem Schieberegler scheint es möglich zu sein, für jedes HDR-Bild oder jede HDR-Videoproduktion eine ergonomische Ausgabe zu erzeugen. Seit *macOS 12.3.1:2022* ist der Gamma-Schieberegler jedoch gelöscht.

Auswirkungen der Schieber-Löschung, mögliches Entwicklungsziel und Vorschlag für Anwendungen nach ISO 9241-306

1. Wenn es keine alternative Lösung durch das *macOS-Betriebssystem* gibt, muß der Benutzer für die beabsichtigte ergonomische Ausgabe nach ISO 9241-306 neue Hardware kaufen.
2. Nach 20 Jahren ist die Schieber-Software unter macOS gelöscht. Ein Grund kann eine Annahme des Herstellers sein, mehr HDR-Produkte für die neuen speziellen HDR-Produktionen zu verkaufen.
3. Das Löschen der Schieber-Softwarelösung erzeugt für viele Anwendungen an den Display-Arbeitsplätzen nach ISO 9241-306 viele Schwierigkeiten. Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Displaybenutzer wird nicht weiter unterstützt. Dies sollte vom Hersteller berücksichtigt werden.
4. Darüber hinaus scheint es nicht von Vorteil zu sein, die HDR-Displaytechnologie für die breiten Anwendungsfälle in Büros und zu Hause nach der Ergonomienorm ISO 9241-306 einzusetzen, siehe die späteren technischen Gründe.
5. Eine Wiederinstallation der Schieber-Software könnte auch die Verwendung von HDR-Displays ermöglichen. Dazu ist die Leuchtdichte gemäß den Anforderungen nach ISO 9241-306 zu reduzieren. Eine Reduzierung der Leuchtdichte reduziert den Energieverbrauch und erhöht die Nachhaltigkeit.

Technischer Hintergrund und ungelöste Fragen zum Wert der HDR-Technologie für den Anwendungsfall nach ISO 9241-306

1. Leuchtdichte und Helligkeit von HDR- und sRGB-Displays

Das visuelle System ist hauptsächlich durch die unterschiedlichen spektralen Reflexionen $R(\lambda)$ von Oberflächenfarben in der Natur optimiert. Für den visuellen Kontrastschwellenwert gilt der Wert $\Delta R=0,05$, siehe <http://cie.co.at/eilvterm/17-31-019>. Dies entspricht $R/\Delta R = L/\Delta L = 20$. Bei Oberflächen- und sRGB-Farben liegt das Sichtfenster zwischen etwa $R_N=0,025$ für Schwarz N (=noir) und $R_W=0,900$ für Weiß nach ISO 9241-306. Dies führt zu $R/\Delta R = L/\Delta L = 36$. Wichtig ist, daß dieser Wert *unabhängig* von der Displayleuchtdichte L nach dem *Weber-Fechner-Gesetz* ist und daher auch für HDR-Displays gilt. Daher nimmt die Diskriminierung von HDR-Displays NICHT zu.

Nach ISO 9241-306 und für sRGB-Displays gilt für die Leuchtdichte des weißen Bildschirms $L_W=142 \text{ cd/m}^2$ und für den schwarzen Bildschirm $L_N=4 \text{ cd/m}^2$. Bei HDR-Displays kann die Spitzenleuchtdichte im Vergleich zu sRGB-Displays um den Faktor 5 größer sein. Die große Leuchtdichte wird jedoch in ISO 8995-1 NICHT empfohlen und erzeugt Ermüdung. Es besteht die Gefahr, das Wohlbefinden und die Gesundheit der Benutzer zu beeinträchtigen.

Die HDR-Leuchtdichte des weißen Displays ist daher auf $L_W=142 \text{ cd/m}^2$ zu reduzieren. Das senkt den Energieverbrauch und erhöht die Nachhaltigkeit. Am Arbeitsplatz in Büros ist dann der Helligkeitsbereich für HDR- im Vergleich zu sRGB-Displays NICHT vergrößert.

2. Buntheit von HDR- und sRGB-Displays

Die ICC-Farbprofile nach ISO 15076-1 verwenden für das Farbmanagement das CIELAB-System nach ISO/CIE 11664-4:2019. Dies erscheint für gelbliche monochromatische Farben auf dem Spektralfarbenort fehlerhaft zu sein. Dieser Fall kann sich bei HDR-Displays ergeben. Für die gelblichen monochromatischen Farben zwischen monochromatischen grünen und roten Primärfarben ergeben sich nach CIELAB undefinierte Buntheiten oder extreme Buntheitsunterschiede. Die visuellen Buntheiten und Unterschiede sind daher deutlich kleiner als nach ISO/CIE 11664-4 berechnet, siehe die Beispiele in Bild 23 und Bild 24 von http://farbe.li.tu-berlin.de/DGA_S.HTM.

Das Bild 23 zeigt für ein WCG-Display die Buntwerte (A_2, B_2) des *TUB-Relativitätsmodells des Farbsehens*. Bild 24 zeigt die CIELAB-Buntheiten (a^*, b^*) . Die Buntheiten für einen hohen Kontrast $>36:1$ und einen niedrigen Kontrast von $2:1$ werden gezeigt. Eine größere Zunahme der Buntheit b^* ist in der Nähe des gelblichen

Spektralfarbenortes sichtbar verglichen mit B_2 .

Daher kann jede Unternehmensbotschaft über eine viel größeren Buntheit von HDR-Displays im Vergleich zu sRGB-Displays fehlerhaft sein. Es gibt einen Fehler nach ISO/CIE 11664-4 für alle monochromatischen gelblichen Farben in der Nähe des Spektralfarbenzuges. Die Oberflächenfarben befinden sich normalerweise mehr innerhalb der Normfarbtafel und der Fehler reduziert sich.

Technische Bemerkung: Die Farben aller Farbpaare $R-C$, $Y-B$ und $G-M$ haben ungefähr die gleichen antagonistischen Buntwerte C_{A2B2} . Die antagonistischen Daten A_2 und B_2 mischen sich wie vorgesehen zum Weiß von D65 mit $A_2=0$ und $B_2=0$. Dies gilt nicht für die CIELAB-Daten a^* und b^* .

3. Zusammenfassung: Wert der HDR-Technologie für die ergonomische Ausgabe nach ISO 9241-306 und für Nachhaltigkeit

Die empfohlenen Leuchtdichten sowohl des Displays als auch des Papiers sind an den Display-Arbeitsplätzen nach ISO 9242-306 gleich. Das visuelle System adaptiert sich an die empfohlene Bürobeleuchtungsstärke $I=500$ lux. Die Reflexionen $R_Z=0,18$ von Grau Z, $R_W=0,9$ von Weiß W und $R_N=0,025$ von Schwarz N werden in Büros empfohlen. Die Leuchtdichte L wird nach der Formel

$L=I R/3,14$ berechnet. Diese Formel berechnet die Leuchtdichte $L_Z=28$ cd/m², $L_W=142$ cd/m² und $L_N=4$ cd/m².

Wird die empfohlene Bürobeleuchtungsstärke nach ISO 8995-1 um den Faktor 5 erhöht (nicht empfohlen), so erhöhen sich die drei Leuchtdichten von Grau, Weiß und Schwarz um den gleichen Faktor. Das visuelle Erscheinungsbild der Farben Grau, Weiß und Schwarz bleibt nach der Farbkonstanzregel gleich. Dies ist für die Buntheit und Helligkeit ähnlich, die im CIELAB-Farbenraum berechnet werden. Ähnlich verhält es sich auch, wenn die analogen ISO-Prüfvorlagen in der Natur verwendet werden. In der Natur kann die Beleuchtungsstärke zwischen einem bewölkten Tag und einem Sonnenscheintag mit blauem Himmel um den Faktor 5 zunehmen.

Daher scheint es für eine Vielzahl von Anwendungen in Büros und in der Natur keinen Vorteil von HDR-Displays gegenüber sRGB-Displays zu geben. Darüber hinaus sinkt die Nachhaltigkeit bei HDR-Displays, da der Energieverbrauch proportional zur Display-Leuchtdichte steigen kann.

Die meisten sRGB-Displays auf dem Markt scheinen die Anforderung von $L_W=142$ cd/m² für das weiße Display zu erfüllen. Diese Leuchtdichte entspricht der empfohlenen Beleuchtungsstärke $I=500$ lux in Büros nach ISO 8995-1. Es scheint keinen Vorteil zu geben, HDR-Displays zu verwenden. Gegenwärtig können mehrere HDR-Displayprodukte eine Leuchtdichte erzeugen, die im Vergleich zu sRGB-Displays um den Faktor 5 größer ist.

Fazit für die Druckausgabe

Für den Anwendungsfall Druckarbeitsplätze in Büros, zu Hause oder im "on demand"-Druckbereich entspricht die Druckausgabe oft nicht den ergonomischen und nachhaltigen Anforderungen nach ISO/IEC 15775. Der Druck von ISO CEN DIN 9241-306:2019 ist ein Beispiel.

Fazit für die Displayausgabe

Für den Anwendungsfall Display-Arbeitsplatz im Büro oder zu Hause gibt es visuell angenähert keine Zunahme von Buntheit und Helligkeit der vorhandenen HDR-Displays im Vergleich zu sRGB-Displays. Der höhere Energieverbrauch und die zu erwartende Ermüdung der Benutzer, die unter der NICHT empfohlenen hohen Leuchtdichte von HDR-Displays arbeiten, stimmen nicht mit den ergonomischen und nachhaltigen Anforderungen nach ISO 9241-306, ISO/IEC 15775 und ISO 8995-1 überein.

Allgemeine Schlussfolgerungen, Lösungen und mögliche Aktivitäten

1. Zum Beispiel unter *macOS* ist eine Rücknahme der Schiebereglerlöschung oder eine alternative Lösung für die vielen Anwendungen nach der ergonomischen Norm ISO 9241-306 erforderlich.
2. Jede Normorganisation, z. B. die ISO, kann HDR- und sRGB-Projekte vergleichen. Die Projekte sollten mit dem ISO-Ziel vereinbar sein, den Nettonutzen der Benutzer zu erhöhen. Aus ergonomischen und nachhaltigen Gründen kann eine Normorganisation Softwarelösungen unterstützen, die HDR-Produktionsmaterial per Software für Standard-sRGB-Ausgaben umwandeln.
3. Jede Regulierungsbehörde, zum Beispiel der EU, scheint dem oben genannten ISO-Ziel zuzustimmen und kann im Bereich der Bilder 1 und 2 tätig werden.
4. Jeder Benutzer kann berichten, ob die visuelle Ausgabe in gedruckter Form oder auf Displays mit den Standardanforderungen übereinstimmt.
5. Jeder Benutzer kann Drucker- oder Displaysysteme mit Hard- und Software nach den ergonomischen und nachhaltigen Normen ISO 9241-306 und ISO/IEC 15775 kaufen.

Die obigen Schlussfolgerungen beschränken sich auf die breite Palette von Anwendungsfällen an Arbeitsplätzen und in der Natur, wie in dieser Veröffentlichung und oben genannten Normen beschrieben.