

# 10 Jahre gleichabständige Farbausgabe in CIELAB für gleichabständige rgb-Farbeingabe in Normen und Elementar-Farbausgabe nach DIN 33872

REFS09.PDF, Version 0908

Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität Berlin, Lichttechnik

Email: [klaus.richter@mac.com](mailto:klaus.richter@mac.com), Für weitere Informationen siehe [www.li.tu-berlin.de](http://www.li.tu-berlin.de) „Publikationen“ oder „Veranstaltungen“

## 1. Normdokumente in der Farbbild-Technologie

Für gleichabständige *rgb*-Farbeingabedaten empfehlen die Internationale Norm ISO/IEC 15775:1999 und die DIN-Normenreihe DIN 33866-1 bis -5:2000 eine gleichabständige Ausgabe in CIELAB. Dies wird durch Geräte-Linearisierung nach ISO/IEC TR 19797: 2004 erreicht. ISO/IEC TR 24705:2005 empfiehlt die gleiche Ausgabe für äquivalente *rgb*, *w*, *k* und *cmY*-Koordinaten, die durch die sogenannte „1-Minus-Relation“ verknüpft sind, zum Beispiel  $c = 1 - r$ . Für die vier äquivalenten Graustufen der Prüfvorlage nach DIN-33872-3 (im Druck) ergibt sich die gleiche Ausgabe zum Beispiel auf dem klassischen Schwarz-Weiß-Drucker „Apple-Laser-Writer“ und auf jedem Farbmonitor von Mac OS X, Version 10.0 und 10.1: 2002. Neuere Versionen von Mac OS X liefern zur Zeit vier und Adobe Reader drei unterschiedlich gestufte und zum Teil bunte Graureihen. Gründe für dieses „Farbchaos“ bei der Büro-Farbausgabe liegen in der Vielzahl der Technologien und dem ICC-Farbmanagement nach ISO 15076-1. ICC-Farbmanagement erlaubt den Anwendern vier Methoden der Ausgabe und den Herstellern beliebige Tonwerttransformationen. Anstelle von z. B. 256 Ausgabe-Möglichkeiten nach ICC ist nach den ISO/IEC-Normen nur *eine* Ausgabe erlaubt und diese ist visuell überprüfbar.

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

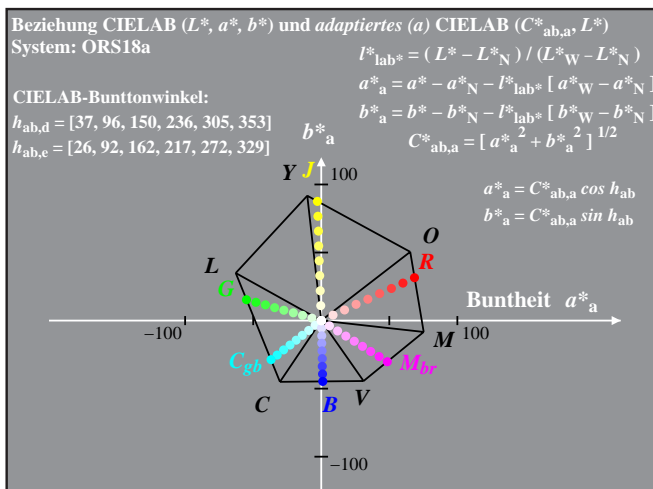
YG980-31

Tabelle 1: Definition der Elementar- und Geräte-Farben nach ISO/IEC 15775:1999

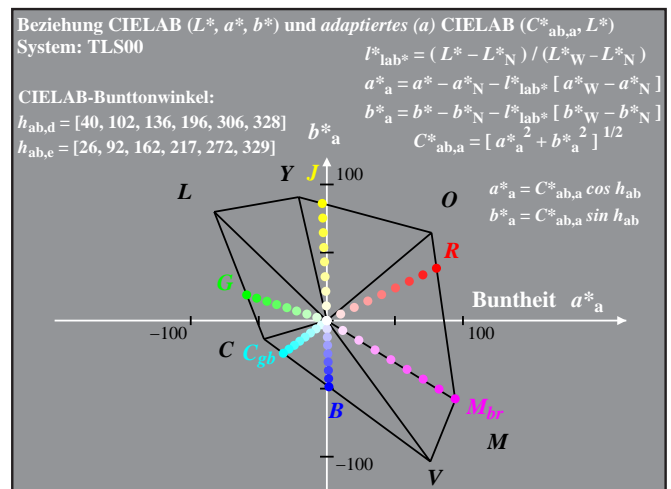
In ISO/IEC 15775:1999 gibt es eine klare Unterscheidung zwischen den Geräte- und Elementar-Bunttönen (-Farben), die *geräteunabhängig* sind und durch visuelle Kriterien definiert sind.

## 2. Neue geräteunabhängige Elementar-Buntton-Ausgabe

Nach DIN 33872-1 bis -6 (im Druck), siehe [www.ps.bam.de/33872](http://www.ps.bam.de/33872), wird nun angestrebt, daß jedes Gerätesystem die *geräteunabhängigen* Elementar-Bunttöne Rot, Gelb, Grün, und Blau RJGB für die *rgb*-Eingabedaten (1,0,0), (1,1,0), (0,1,0), (0,0,1) erzeugt und *nicht* die unterschiedlichen Geräte-Bunttöne. In DIN 33872 werden die CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 nach CIE Publ. 13.3 benutzt, um die Elementar-Bunttöne RJGB zu definieren, welche die CIELAB-Bunttonwinkel  $h_{ab} = 26, 92, 162$  und  $272$  für die CIE-Normlichtart D65 besitzen, siehe (41 Seiten, 1,4 MByte) [www.ps.bam.de/D33872-A.PDF](http://www.ps.bam.de/D33872-A.PDF) und CIE R1-47:2009.



Dg430-31



Dg430-71

Bild 1: Geräte-Bunttöne OYLCVM der Norm-Offsetsystems ORS18 und -Monitors TLS00 und der Elementar-Bunttöne RJGB. Der Farbatlas *Relatives Elementar-Farbsystem REFS:2008* ist das *erste analoge Farbsystem weltweit*, welches die vier Elementar-Bunttöne RJGB als Ankerpunkte benutzt. Zwei mittlere Bunttöne  $C_{gb}$  und  $M_{br}$  sind in Bild 1 hinzugefügt. Der REFS-Bunttonkreis hat 16 Bunttöne (Atlas, Seite 1). Die 5- und 16-stufige Farbreihen werden auf den Seiten 2 bis 17 für die 16 Bunttöne gezeigt. Diese sind alle gleichabständig gestuft, sowohl visuell als auch in CIELAB. Seite 18 zeigt ein 9x9x9-Gitter von regulär gestuften *rgb*-Eingabefarben, siehe [www.ps.bam.de/REFS](http://www.ps.bam.de/REFS)

### 3. Affine Transformation für Farbilverarbeitung

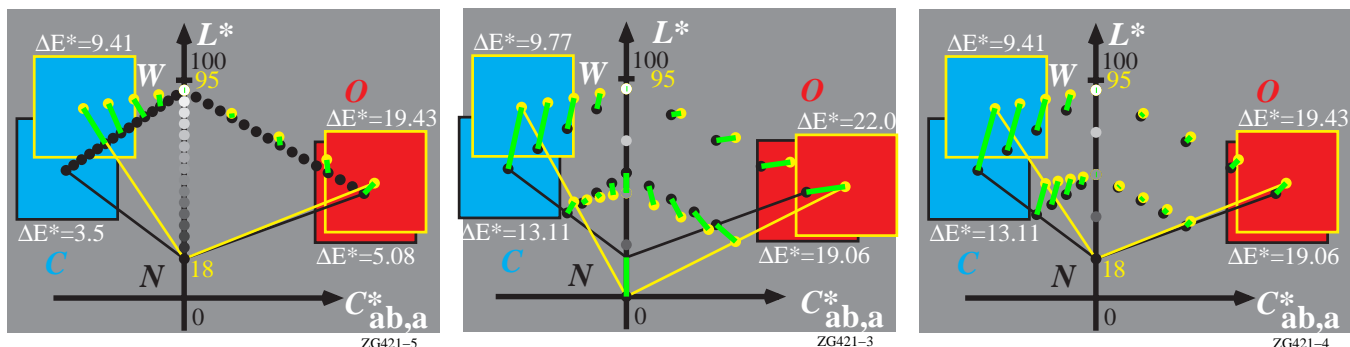


Bild 2: ICC- und affine Transformationen zwischen Monitor (gelb) und Drucker (schwarz) in CIELAB Buntnenebene ( $C^*_{ab,a}$ ,  $L^*$ )  
 Bild 2 zeigt den Geräte-Farbumfang von entweder den Normmonitoren TLS00 oder TLS18 (gelb) und dem Norm-Offsetdruck ORS18 (schwarz) nach ISO/IEC 15775. In jedem der drei Teile sind die jeweils der Farbumfang von zwei Geräten sehr verschieden. Die gewöhnliche ICC-Transformation nach ISO 15706-1 wird im linken Bild gezeigt. Im allgemeinen berechnet ICC die ORS18-Farben (schwarz), die den kleinsten Farbabstand zu den TLS18-Farben (gelb) haben, siehe linker Teil. Daher werden im Druck nur die gemeinsame Farben (Schnittmenge) von beiden Systems TLS18 und ORS18 reproduziert. Deshalb sehen viele helle Farben Cyanblau im Druck gleich aus und viele möglichen bunten Farben Cyanblau werden nicht gedruckt. Das ist eine große Enttäuschung sowohl für die Benutzer als auch für die Hersteller. Deshalb produzieren ICC-Farbmanagement-Systeme meist nur Farben Cyanblau von geringer Buntheit und der Benutzer ist enttäuscht. Der Hersteller hat Farben von hoher Buntheit entwickelt, um eine brillante Ausgabe zu ermöglichen aber die Farben hoher Buntheit werden nicht gedruckt. Um die Anforderungen der Benutzer zu befriedigen, haben die Hersteller nach Lösungen gesucht und viele haben herstellereigene Transformationen entwickelt. Die farbmtrische Lösung ist eine affine Transformation und diese eignet sich für die Normung. Die affine Transformation ist im mittleren und rechten Teil von Bild 2 gezeigt. Es gibt nur eine Lösung für die affine Transformation und es gibt eine unbegrenzte Anzahl mit ICC-Farbmanagement. Die vielen Vorteile der affinen Transformation wird zu einem verbesserten Farbmanagement führen sowohl für den Benutzer als auch für den Hersteller, siehe Wagenknecht (2009). Die gleichabständig gestuften Farbreihen können sowohl visuell bewertet werden als auch farbmtrisch gekennzeichnet werden. Dies ist ein weiterer Vorteil der affinen Transformation. Es gibt keine Möglichkeit einer visuellen Bewertung der ICC-Farbausgabe nach Bild 2 (links).

#### 8 Gerätefarben (d) in CIELAB: OYLCVM und NW

Neues Sechseck-Dreieck-System von Gerätefarben (d):  $rgb^*_d = olv^*$  mit **lineare Beziehungen** zwischen  $rgb^*_d$  und  $LCH^*$  (vergleiche lineare Beziehungen zwischen  $rgb_{sRGB}$  und  $L^*$ )

**5 gleiche Stufen** Gleichungen  $rgb^*_d - LCH^*$  in beiden Richtungen sind publiziert: Richter, CIE-Proceedings, Beijing, 2008, Volume 3 und DIN 33872-1

Drei Gleichungen (Tabellen) sind erforderlich für Büroanwendungen:  
 $rgb_d - LCH^*$  für ein 9x9x9-Gitter von  $rgb_d$ -Eingabefarben  
 $rgb^*_d - LCH^*$  ein 9x9x9-Gitter von Daten  $rgb^*_d$  und  $LCH^*$   
 $rgb'_d - LCH^*$  **Geräte-Linearisierung durch  $rgb_d \rightarrow rgb'_d$**

Bild 3: Acht Gerätefarben im 3-dimensionalen CIELAB-Farbraum  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$   
 Bild 3 zeigt acht Gerätefarben (d=device) im 3-dimensionalen CIELAB-Farbraum  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Es ist dargestellt, daß die 5-stufigen Reihen zwischen Orangerot O und Weiß W gleichabständig gestuft sein sollen im 3-dimensionalen CIELAB-Farbraum für gleichabständig gestufte  $rgb_d$ -Eingabedaten des Gerätes (d). Drei Beziehungen (Gleichungen, Tabellen) sind für jedes Gerät gültig und führen zur abschließenden Transformation  $rgb_d - rgb'_d$ .

1. Die Ausgabe für ein 9x9x9-Gitter von gleichabständigen  $rgb_d$ -Eingabedaten wird gemessen. Die CIELAB-Daten  $L^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h_{ab} = LCH^*$  (Helligkeit  $L^*$ , Buntheit  $C^*_{ab}$ , und Bunttonwinkel  $h_{ab}$ ) unterscheiden sich gewöhnlich von den angestrebten  $LCH^*$ -Daten und werden daher  $LCH^{**}$ -Daten genannt (\* = Stern-Strich Daten nach ISO/IEC 15775).
2. Falls die 8 Gerätefarben (d) in CIELAB definiert sind, dann gibt es lineare Gleichungen zwischen  $rgb^*_d$  und  $LCH^*$ , siehe Richter (2008a) und DIN 33872-1.
3. Wenn es eine Wolke von Ausgabedaten  $LCH^{**}$  für  $rgb_d$ -Eingabedaten gibt, dann kann man die inversen  $rgb'_d$ -Daten für alle angestrebten  $LCH^*$ -Ausgabedaten berechnen, die ein Gerät erzeugen kann. Alle angestrebten und möglichen Ausgabedaten  $LCH^*$  werden in Bild 3 durch ein Sechseck-Doppelkegel beschrieben.

Im folgenden wird die Ausgabebeziehung  $rgb_d - LCH^{**}$  gemessen und benutzt, um die gemessenen Ausgabefarben in unterschiedlichen CIELAB-Diagrammen darzustellen. Unterschiedliche Linearisierungs-Methoden werden angewendet, die alle

eine Filter-Transformation  $rgb_d \rightarrow rgb'_d$  benutzen, um die angestrebten Farben  $LCH^*$  zu erzeugen. Gewöhnlich werden die sechs Gerätebunttöne erzeugt, die unterschiedlich für jedes Gerät sind. Ein neues Ziel ist es, die sechs Elementarfarben auf jedem Gerät zu erzeugen, vergleiche Bild 1. Methoden und Anwendungen für eine Elementar-Bunttonausgabe auf unterschiedlichen Geräten wurden von Richter (2009) veröffentlicht. DIN 33872-1 und der CIE-Report R1-47:2009 definieren die Bunttonwinkel der Elementarbunttöne und empfehlen für die Normlichtart D65 und den 2 Grad-Beobachter die CIELAB-Bunttonwinkel 26, 92, 162 und 272 Grad der CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 nach CIE Publ. 13.3.

#### 4. Start- und linearisierte Ausgabe in Geräte- und Elementar-Bunttonebenen von CIELAB

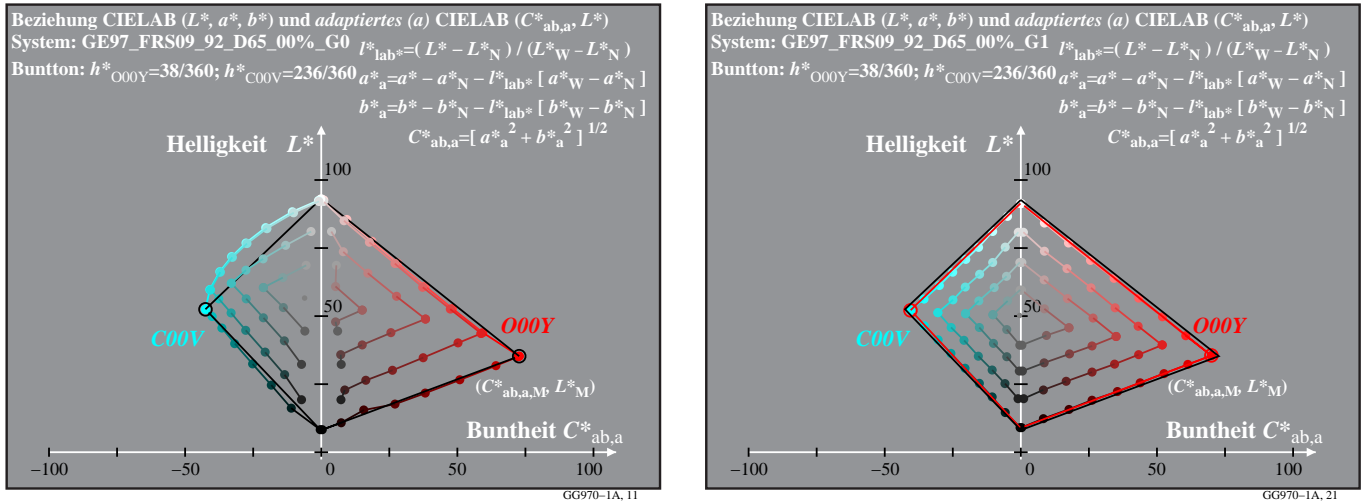


Bild 4: Start- und linearisierte Ausgabe eines Fotodruckers, CIELAB-Daten (rechts) mit linearer Beziehung zu  $rgb$ -Eingabedaten. Gleichabständig gestufte  $rgb$ -Eingabedaten erzeugen eine visuell effiziente CIELAB-Ausgabe für  $rgb$ -Monitore und -Drucker. Für  $cmky$ -(PostScript)-Drucker wird Grau nur mit Schwarz erzeugt. Dies erzeugt eine Ausgabe mit hoher visueller und Material-Effizienz, siehe Beispiele für viele Geräte mit Meßdaten der Start- und linearisierten Ausgabe, <http://idisk.me.com/klaus.richter-Public/index.html>

Erste Methoden für die linearisierte Ausgabe wurden zuerst in ISO/IEC TR 19797:2004 und von Richter (2006), Witt (2006) und Richter (2007) für die Geräte-Bunttöne beschrieben. Neue Methoden beschreiben die Ausgabe für die geräteunabhängigen Elementar-Bunttöne, z. B. DIN 33872, Richter (2008a) und Richter (2009). Die Produktion vom Farbatlas REFS ist ein Anwendungsbeispiel für Elementar-Bunttonausgabe.

Ein Beispiel für sowohl die Geräte- als auch die Elementar-Buntton-Ausgabe zeigt für einen realen Fotodrucker Bild 5 und Bild 6.

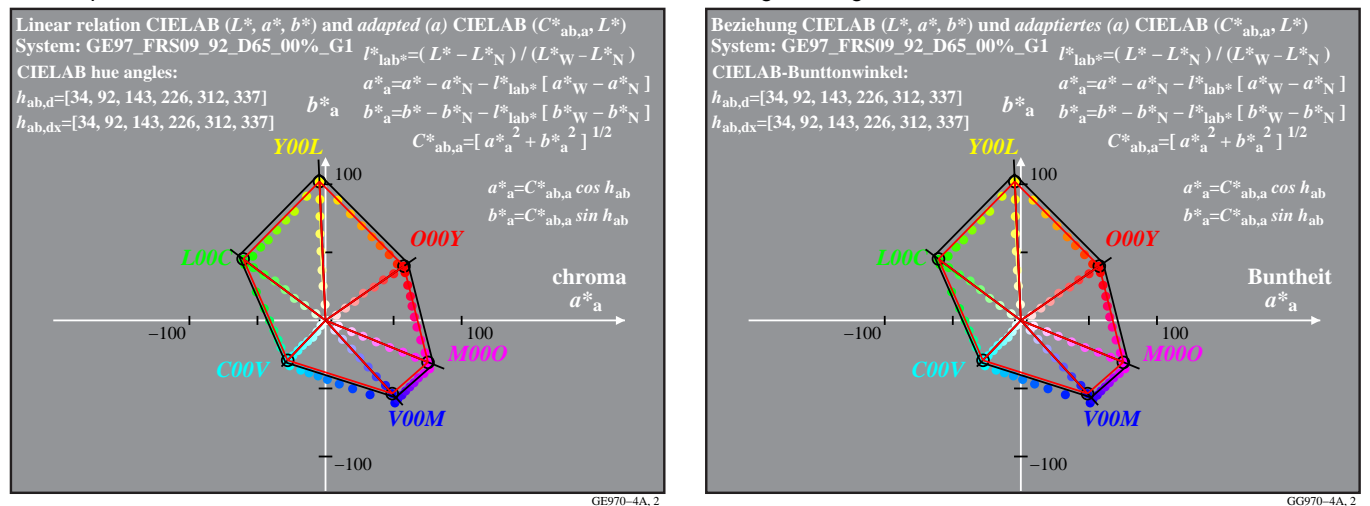


Bild 5: Start- und linearisierte Geräte-Bunttonausgabe für einen Fotodrucker in dem adaptierten CIELAB-Diagramm ( $a^*_a, b^*_a$ ).

Bild 5 zeigt eine Start- (links) und linearisierte (rechts) Ausgabe für die Geräte-Bunttöne (schwarz). Die Ausgabefarben dieses Fotodruckers werden in dem adaptierten CIELAB-Diagramm ( $a^*_a, b^*_a$ ) gezeigt. Die linearisierte Ausgabe (rechts) zeigt Farben von konstantem CIELAB-Bunttonwinkel. Die Geräte-Bunttonwinkel ( $d$ )  $h_{ab,d}$  sind durch sechs  $rgb$ -Eingabedaten (1, 0, 0), (1, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 1), (0, 0, 1) und (1, 0, 1) von den sechs Gerätefarben OYLCVM definiert und sind in Bild 3 angegeben. Für einen 95%-Bereich der Helligkeit  $L^*$  und Buntheit  $C^*_{ab}$  wurde eine 9x9x9-Tabelle  $rgb \rightarrow rgb'_{olV^*}$  berechnet und für die Ausgabe der 9-stufigen Farbreihen benutzt.

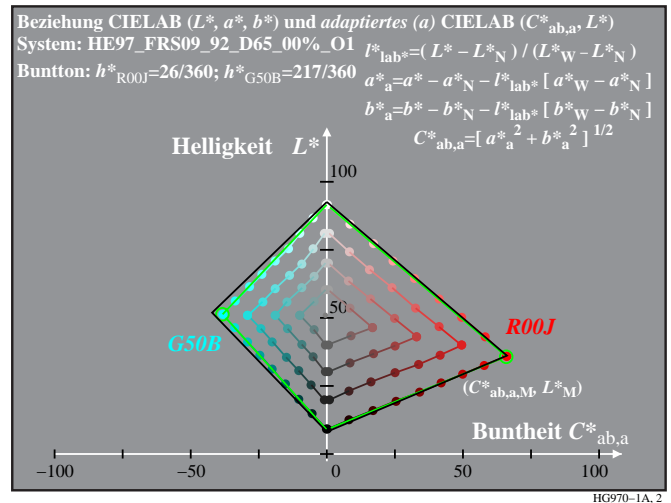
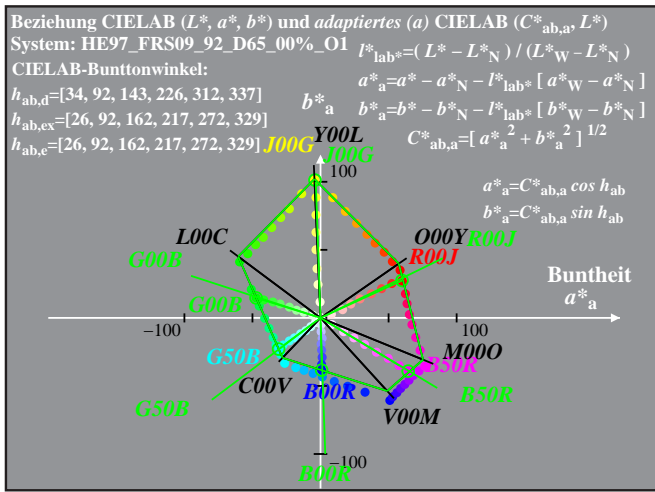


Bild 6: Linearisierte Elementar-Bunton-Ausgabe im CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ) und der Bunntonebene (Kontrast 95%)

Bild 6 zeigt die angestrebtem Ausgabefarben eines Fotodruckers in dem adaptierten CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ) und in einer Bunntonebene ( $C^*_{ab,a}$ ,  $L^*$ ). Bild 6 zeigt links die Geräte-Bunttöne (schwarz) und eine linearisierte Ausgabe der Elementar-Bunttöne (grün) und die sechs Elementar-Buntonwinkel (e)  $h_{ab,e}$  der Elementar-Farben *RJGB* sowie  $C_{gb}$  und  $M_{br}$ . Für einen 95%-Bereich der Helligkeit  $L^*$  und Buntheit  $C^*_{ab}$  wurde eine 9x9x9-Tabelle  $rgb \rightarrow rgb'_{rgb^*}$  berechnet und für die Druckerausgabe benutzt. Die Druckerausgabe zeigt eine hohe Gleichabständigkeit.

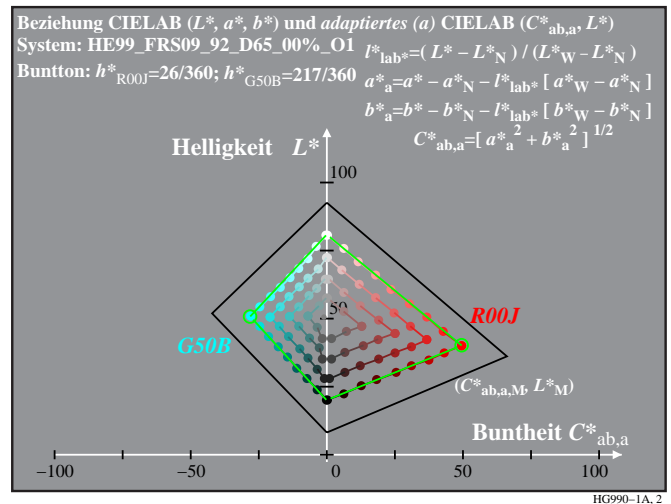
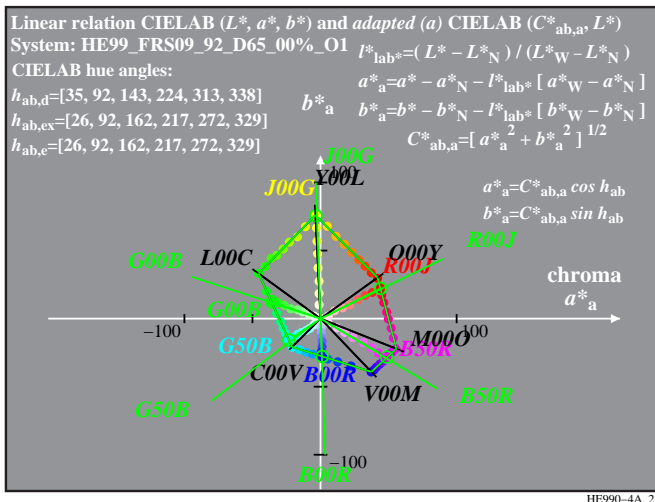


Bild 7: Linearisierte Elementar-Bunton-Ausgabe im CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ) und der Bunntonebene (Kontrast 70%)

Bild 7 zeigt einen 70%-Kontrastbereich der Helligkeit  $L^*$  und Buntheit  $C^*_{ab}$  anstelle des 95%-Bereichs in Bild 6.

### 5. Kontrast-Erhöhung erzeugt Sicherheits-Probleme

Kontrast-Reduzierungen erscheinen oft, zum Beispiel wenn eine digitale Kamera eine Niedrig-Kontrast-Szene aufnimmt. Dann bevorzugen viele Benutzer eine Kontrast-Erhöhung für die Drucker und Monitor-Ausgabe. Das ist ein Grund warum viele Drucker-Hersteller automatisch den Kontrast erhöhen. Jedoch erzeugt diese Kontrast-Erhöhung ein *Sicherheitsproblem* für viele Bürodokumente, die dann nicht mehr alle Farbdetails für helle, dunkle und sehr bunte Farben zeigen, die in der Eingabedatei enthalten sind. Falls Kontrast-Erhöhung aktiv ist, so können für viele unterschiedliche *rgb*-Eingabedaten die Ausgabefarben gleich erscheinen. Ein solches Ausgabebeispiel wird mit einem neuen Laserdrucker mit *rgb*- und *cmymk*-Eingabedaten gezeigt. Dieser Drucker ist in 2009 auf dem Markt als *rgb*- und *PostScript*-Laser Drucker (etwa 200 Euro).

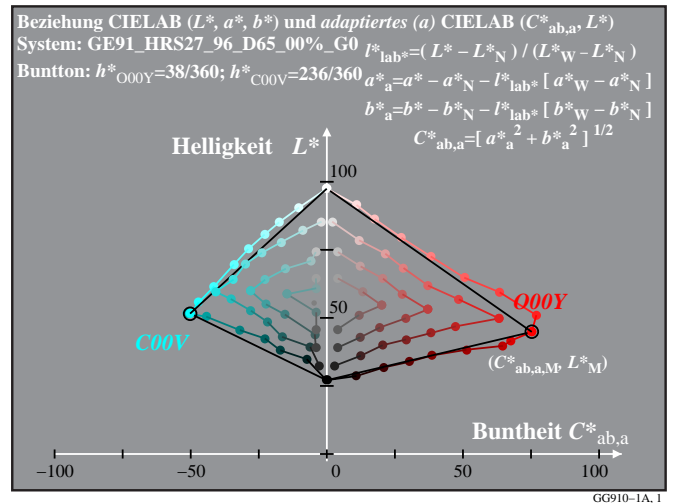
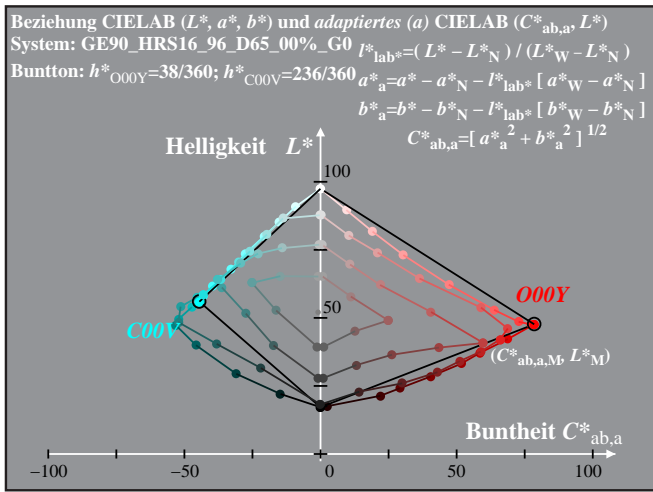


Bild 8: Startausgabe in einer Bunttonebene ( $C^*_{ab}$ ,  $L^*$ ) für einen neuen Laserdrucker (2009) für *rgb*- und *cmY0*-Eingabedaten.

Bild 8 zeigt die Startausgabe für einen neuen Laserdrucker (2009) für *rgb*- und *cmY0*-Eingabedaten (*links und rechts*). Die Ausgabe für die *rgb*-Eingabedaten erscheint mehr ungleichmäßig und der Helligkeitsbereich ist größer, beides verglichen mit *cmY0*-Eingabedaten. Die Kontrast-Erhöhung (*links*) lässt viele der regulären Farbstufen verschwinden, die in den *rgb*-Eingabedaten enthalten sind, zum Beispiel wenn die *rgb*-Prüfvorlagen nach DIN 33872-4 benutzt werden. Wegen der ungleichmäßigen *rgb*-Ausgabe erscheint es nicht sinnvoll, diesen Drucker für *rgb*-Eingabedaten zu linearisieren.

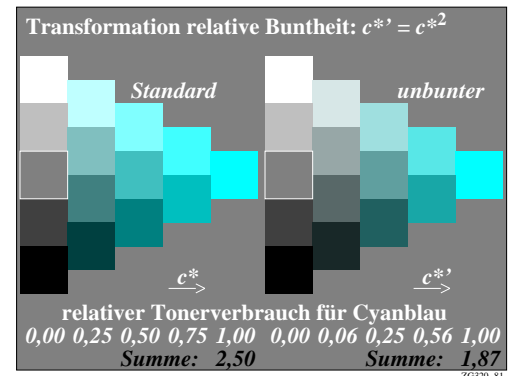
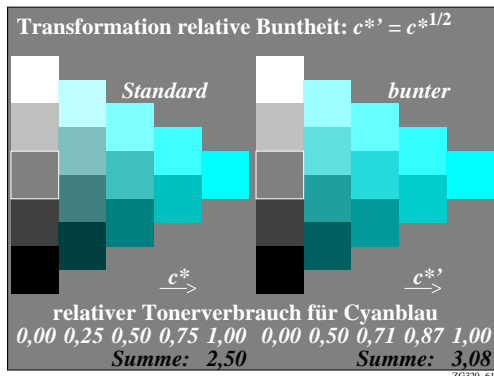


Bild 9: Relativer Toner- und Tinten-Verbrauch für relative Buntheitsänderung  $c^*$  nach  $c^{**}$  mit Ausgaben *bunter* oder *unbunter*.

Bild 9 zeigt ein Beispiel für den relativen Toner- und Tinten-Verbrauch, wenn die relative Buntheit  $c^*$  geändert wird nach  $c^{**}$  mit einer Ausgabe *bunter* oder *unbunter*. Entsprechend den gegebenen Formeln (Quadratwurzel oder Quadrat) erhöht oder erniedrigt sich der Toner- oder Tintenverbrauch um mehr als 20% verglichen mit der linearisierten Norm-Ausgabe. Daher entstehen drei Probleme, falls *Kontrast-Erhöhung* aktiv ist:

- die visuelle Effizienz wird reduziert
- für Bürodokumente kann ein *Sicherheitsproblem* entstehen
- die Material-Effizienz wird um mehr als 20% reduziert.

## 6. Methoden für eine hohe visuelle und Material-Effizienz und einen großen Farbraum für einen neuen Laserdrucker

Nach Bild 8 erzeugen die *cmY0*-Eingabedaten eine mehr gleichmäßige Ausgabe aber einen geringeren Helligkeitsbereich. Für  $c=m=y=1$  ist die Helligkeit nur  $L^*=27$  anstelle von  $L^*=15$  für  $r=g=b=0$ . Jedoch, ungefähr  $L^*=15$  wird erreicht mit den *cmYk*-Eingabedaten  $c=m=y=0$  und  $k=1$  (wird hier nicht gezeigt). Wenn zum Beispiel für die Serie Cyanblau C – Schwarz N die Menge von C von 1 nach 0 reduziert wird, und zur gleichen Zeit die Menge von N von 0 bis 1 erhöht wird, dann wird der angestrebte Helligkeitsbereich zwischen  $L^*=15$  und  $L^*=95$  erreicht, und auch der große Farbumfang in dem Farbbereich hoher Farbtiefe (Bild 8, *links*) wird so mit *cmYk*-Eingabedaten erreicht. Mit dieser Technologie wird die Graureihe nur durch die schwarze Farbe gedruckt, was die Material-Effizienz erhöht und zur gleichen Zeit eine hohe visuelle Effizienz ergibt und zusätzlich wird ein großer Farbumfang erreicht. Gleichabständig gestufte Ausgabereihen in CIELAB werden für alle Serien zwischen Schwarz N und den bunten Farben  $X=OYLCVM$  sowie Weiß W erreicht. Die folgenden Bilder konzentrieren sich darauf, die gerätunabhängige *Elementar*-Buntton-Ausgabe mit dem neuen Laserdrucker zu erreichen.



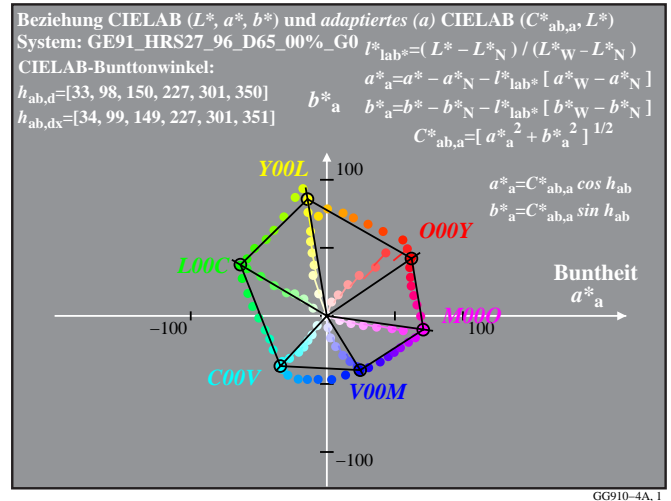
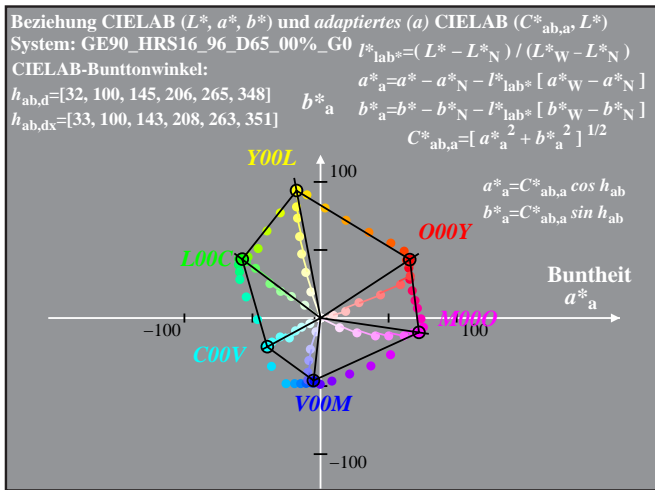


Bild 10: Startausgabe des Beispiel Laserdruckers für *rgb*- und *cmY0*-Eingabedaten im CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ).  
 Bild 10 zeigt, daß unterschiedliche CIELAB-Buntonwinkel  $h_{ab}=265$  und  $301$  für die *rgb*-Eingabedaten *0 0 1 setrgbcolor* und die komplementären *cmY0*-Eingabedaten *1 1 0 0 setcmYkcolor* erzeugt werden. Deshalb ist die Antwort NEIN, wenn die Druckerausgabe auf gleiche Ausgabe für äquivalente *rgb*ß und *cmz0ß*Eingabedaten geprüft wird entsprechend den JA/NEIN-Kriterien nach DIN 33872-4. Jedoch, für die obigen *rgb*-Eingabedaten wird angenähert der Elementar-Bunton Blau B ( $h_{ab}=272$ ) erzeugt, und für *cmY0*-Eingabedaten wird ein sehr rötliches Blau erzeugt. Wenn diese Druckerausgabe nach DIN 33872-5 in Bezug auf Elementar-Buntonausgabe geprüft wird, so wird ein JA für *rgb*-Eingabedaten und ein NEIN für *cmYk*-Eingabedaten erwartet. Es scheint als ob das erzeugte Blau des Druckers für *rgb*-Eingabe schon das Ziel von DIN 33872-5 berücksichtigt, nämlich die Übereinstimmung der Buntonausgabe mit der visuellen Elementar-Bunton-Empfindung.  
 Ein neuer technischer Grund für die Entscheidung des Drucker-Herstellers zur Ausgabe von Elementarblau B für *rgb* = 0 0 1 könnte die angenäherte Ausgabe von Elementar-Blau B auf vielen LCD-Monitoren des Marktes sein, die um mehr als 35 Grad verglichen mit den CRT-Normmonitoren nach ISO/IEC 15775 und IEC 61966-2-1 verschoben sind. Diese Winkelabweichung ist ungefähr 8 mal größer verglichen mit der Standard-Abweichung (4 Grad), falls Elementar-Blau visuell bestimmt wird (Siehe CIE-Report R1-47:2009).

7. Linearisierte Geräte- und Elementar-Bunton-Ausgabe für einen Laserdrucker für *rgb*- und *cmY0*-Eingabedaten

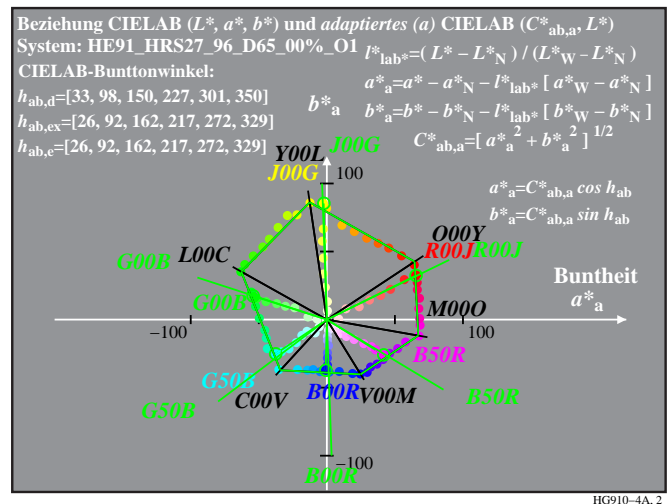
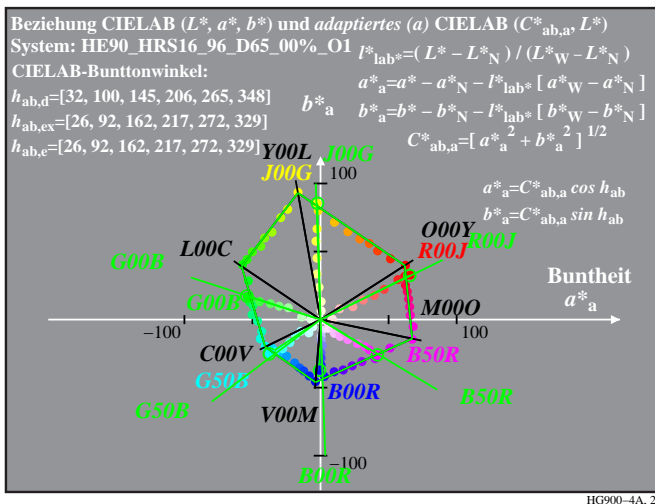


Bild 11: Linearisierte Ausgabe für *rgb*- und *cmY0*-Eingabe für Elementar-Bunton-Ausgabe im CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ).  
 Bild 11 zeigt die linearisierte Ausgabe eines neuen Laserdruckers für die *rgb*- und *cmY0*-Eingabe und für Elementar-Bunton-Ausgabe im CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ). Die sechs Geräte- (*schwarz*) und Elementar-Bunttöne (*grün*) sind angegeben. Die Geräte-Maximalfarben und -Bunttöne unterscheiden sich bei diesem neuen Laserdrucker für die sechs *rgb*-Eingaben (1,0,0), (1,1,0), (0,1,0), (0,1,1), (0,0,1) und (1,0,1) sowie die entsprechenden *cmY0*-Eingaben, die durch die 1-Minus-Relation verknüpft sind. Bei vielen anderen Druckern des Marktes sind diese maximalen Ausgabefarben noch gleich und nur für Farben im Innern des Sechsecks gibt es Unterschiede.  
 Anstelle der gekrümmten Kurven für die Buntonreihen in der *Start*-Ausgabe (Bild 10) zeigt die *linearisierte* Ausgabe (Bild 8) angenähert Linien für die Buntonreihen im CIELAB-Diagramm ( $a^*_a$ ,  $b^*_a$ ). In Bild 11 (*links*) besteht Übereinstimmung mit der ergonomischen Forderung von ISO TC 159/SC4/WG2, die drei Elementar-Bunttöne *RGB* für die *rgb*-Eingabedaten (1, 0, 0), (0, 1, 0) und (0, 0, 1) zu erzeugen. Zusätzlich ist die Elementar-Bunton-Winkeldifferenz für die sechs Elementar-Bunttöne angenähert gleich (60 Grad) im Vergleich zu vielen Geräte-Bunttönen, vergleiche zum Beispiel die geringe Bunton-Winkeldifferenz zwischen *V* und *M* für den Normmonitor TLS00 im Bild 1 (*rechts*).

## 8. Zusammenfassung

Es scheint angemessen als grundlegende Geräte-Ausgabe-Eigenschaften folgende Option zu haben:

- gleichabständig gestufte Ausgabe in CIELAB für gleichabständig gestufte *rgb*-Eingabedaten.  
Diese Ausgabe hat eine hohe visuelle Effizienz.
- gleiche Ausgabe für äquivalente *rgb*- und *cmy0*-Eingabedaten, welche durch die 1-Minus-Relation verknüpft sind.  
Dies ist ein einfacher Benutzerwunsch und zeigt weiterhin gleiche Farben in alten Dokumenten.
- Elementar-Bunton-Ausgabe *RGB* für *rgb*-Eingabedaten (1, 0, 0), (0, 1, 0) und (0, 0, 1).  
Diese Bunton-Ausgabe ist geräteunabhängig.
- Druck der unbunten Farben nur durch die Farbe Schwarz *N* und nicht durch *CMY*.  
Diese Ausgabe hat eine hohe Material-Effizienz.
- Benutzung von der Dreiecks-*rgb*-Farbkodierung mit einer linearen Beziehung zu CIELAB.  
Diese *rgb*-Farbkodierung hat eine hohe Kodierungs-Effizienz.

Der Drucker- und Monitor-Hersteller kann eine Transformation  $rgb - rgb'_{rgb^*}$  innerhalb des Druckers oder Monitors als Filter benutzen, um möglichst viele dieser Ziele gleichzeitig zu erreichen.

Falls es eine Option gibt, *cmyk*-Eingabedaten zu dem Drucker zu schicken, zum Beispiel mit einem *PostScript*-Drucker oder mit einem Prüfdrucker im graphischen Bereich, dann kann eine Transformation  $rgb - cmyk'_{rgb^*}$  berechnet werden. Diese Transformation kann in einem Filter benutzt werden, um die linearisierte Elementar-Buntonausgabe zu erzeugen. Der Farbatlas des *Relativen Elementar-Farbsystem* (REFS) mit ungefähr 2000 Farben wurde mit dieser Methode gedruckt. Ein Norm-Offsetdruck auf Norm-Offsetpapier wurde benutzt, siehe [www.ps.bam.de/REFS](http://www.ps.bam.de/REFS)

## 9. Trends für die Implementierung und abschließende Anmerkungen

Es wird angestrebt die vielen Vorteile des *rgb*-Workflows in der Farbbild-Technologie insbesondere für Monitore zu behalten und hier keine Änderung anzustreben.

Alte Büro-Dokumente mit gemischten Eingabe-Operatoren erzeugen weiterhin die gleiche Ausgabe, falls die 1-Minus-Relation im Workflow gültig ist. Dies wird angestrebt und erlaubt Anwendungsprogrammen und Benutzern weiterhin ihre bevorzugten Farboperatoren zu benutzen. Ein Beispiel ist in Anhang A angegeben.

Für *RGB*-Farbgeräte und zur Ausgabezeit filtert das Rechner-Betriebssystem oder das *RGB*-Gerät die *rgb*-Eingabedaten zu den speziellen Gerätedaten für die Elementar-Bunton-Ausgabe. Eine Methode zur Berechnung der Filter-Transformation ist in Anhang B angegeben.

Anmerkung: Falls die *rgb*-Eingabedaten  $rgb_{sRGB}$ -Eingabedaten nach IEC 61966-2-1 sind, dann kann die Filter-Transformation  $rgb_{sRGB} - rgb'_{rgb^*}$  berechnet und benutzt werden. Das ist ähnlich für jeden Filter-Datensatz  $rgb - Lab^*$  mit einem bekannten Geräte-Farbumfang.

Für *CMYK*-Farbgeräte und zur Ausgabezeit filtert das *CMYK*-Gerät die *rgb*-Eingabedaten zu den speziellen Gerätedaten für die Elementar-Bunton-Ausgabe. Solch eine Transformation wurde für die Produktion des *Relativen Elementar-Farbsystem* im Norm-Offsetdruck auf Norm-Offsetpapier benutzt. Der REFS-Atlas dient als Referenz für die Elementar-Buntonausgabe und die gleichabständig gestufte Ausgabe sowohl in CIELAB als auch visuell.

## 10. Literatur

CIE13.3:1995, Method of measuring and specifying colour rendering of light sources.

CIE R1-47:2009, Hue angles of elementary hues, Thorstein Seim (Norway), Report for the CIE Division 1 „Vision and Colour“ meeting, Budapest 2009, Seite 43 bis 77, siehe „CIE, Division 1, Meeting Minutes 2009“

[http://www.cie.co.at/index\\_ie.html](http://www.cie.co.at/index_ie.html)

IEC 61966-2-1, Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space - sRGB

ISO 9241-306:2008, Ergonomics of human-system interaction -- Part 306: Field assessment methods for electronic visual displays, Prüfvorlagen siehe

<http://www.ps.bam.de/ME16/10L/L16E00NP.PDF>

ISO 15076-1:2005, Image technology colour management -- Architecture, profile format and data structure -- Part 1: based on ICC.1:2004-10

ISO/IEC 15775:1999 & Adm1 2005, Colour reproduction properties of colour copiers.

ISO/IEC TR 19797:2004, Gerät output of 16-step colour scales, output linearization method (LM) and specification of the reproduction properties, siehe eine öffentliche Version (20 Seiten, 280 kByte)

<http://www.jbmia.or.jp/sc28/sc28docs/j28n656.zip>

ISO/IEC TR 24705:2005, Method of specifying image reproduction of colour Geräts by digital and analog test charts, siehe eine öffentliche Version (80 Seiten, 1 Mbyte)

<http://www.jbmia.or.jp/sc28/sc28docs/j28n689.zip>

DIN 33872-1 to -6:2009 (im Druck), Methode zur Kennzeichnung der relativen Farbwiedergabe mit JA-NEIN-Kriterien. Für DIN-Prüfvorlagen einschließlich Fragen über Ausgabe-Eigenschaften siehe

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

Anmerkung: Eine englische Übersetzung von DIN 33872-1 bis 6 ist erhältlich als Dokument Nr. j28n1280 in ISO/IEC JTC1/SC28 "Office Equipment"

Richter, Klaus (2006), Gerät dependent linear relative CIELAB data lab\* and colorimetric data for corresponding colour input and output on monitors and printers, CIEEx030:2006, Proceedings of the ISCC/CIE Expert Symposium '06, "75 years of the CIE Standard Colorimetric Observer", Ottawa Canada, Seiten 139-144.

Richter, Klaus (2007), Colorimetric model of logarithmic colour spaces LMSLAB, Part II, The Proceedings of the 26th Session of the CIE, 2007, Beijing, Proceedings Volume 2.pdf, Seiten 199-230 in der gedruckten Version.

Richter, Klaus (2008a), Farbmetrische Ergänzung zu DIN 33872-1 bis -6, siehe (1 MB, 41 Seiten)

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

Richter, Klaus (2008b). Digitaler Farbatlas für 5- und 16-stufige Farbreihen, siehe (7 MByte, 180 Seiten)

<http://www.ps.bam.de/Eg99/10L/L99g00NP.PDF>

Richter, Klaus (2008c), Ergonomic colour image technology with high visual and material efficiency based on elementary (unique) hues, 259-264, 16th Color Imaging conference, Portland, 2009

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

Witt, Jens (2006), Farbmetrische Methoden zur Herstellung von Prüfvorlagen für Farbkopierer, Farbscanner und Farbmonitore, Dissertation, Technische Universität Berlin, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, siehe die URL (186 Seiten, 8,6 MByte, PDF-Format)

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

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

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

Autor: Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität Berlin

email: klaus.richter@mac.com

Weitere Informationen siehe [www.li.tu-berlin.de](http://www.li.tu-berlin.de) unter „Veranstaltungen“ und „Publikationen“

<http://idisk.me.com/klaus.richter-Public/index.html>

## Überblick über Anhang A bis B:

Anhang A zeigt Beispiele für die Realisierung der *1-Minus-Relation*.

Anhang B zeigt einige Gleichungen für die Berechnung der Transformationen  $rgb - rgb'_{olV^*}$  und  $rgb - rgb'_{rgb^*}$ .



## Anhang A Beispiele für die Realisierung der 1-Minus-Relation

Dieser Anhang A zeigt wie die 1-Minus-Relation in einer PDF-Datei implementiert werden kann, zum Beispiel  $r = 1 - c$ .

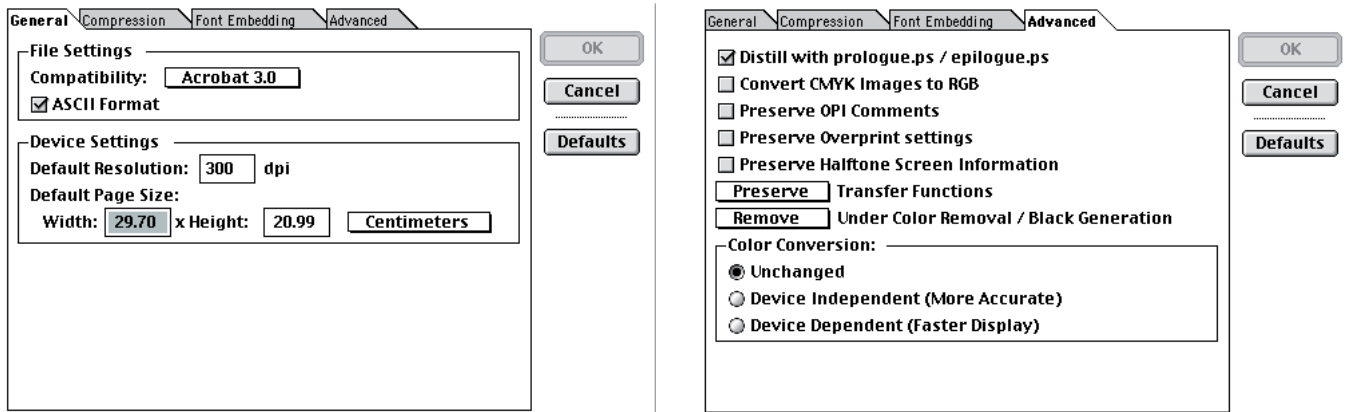


Bild A.1: Gebrauch und Voreinstellungen der Software *Adobe Acrobat Distiller* für die Implementierung der 1-Minus-Relation mit einer Datei *prologue.ps*.

Bild A.1 zeigt die *Landschafts*-Voreinstellung (L) (*links*) und die Voreinstellung zum Distillieren mit der Datei *prologue.ps* (Inhalt für *rgb*-Transfer siehe unten).

```
% prologue.ps
% prologue-rgbL.ps (Transfer nach rgb, L=Landschafts-Voreinstellung)
%
% This file can be used to add custom PostScript code that you
% wish to have executed at the beginning of every PostScript job
% being distilled. If the option labelled "Use Prologue.ps and
% Epilogue.ps" is selected in the "Advanced" panel of the "Job
% Options" dialog, the contents of this file will be executed
% before the actual PostScript file is run.
%
(Processing prologue-rgb_cmy->rgbL.ps...\n) print flush
% Insert your custom PostScript here...

%Early definition of MTLsetgray identical to former setgray, etc.
/MTLsetgray {setgray} bind def
/MTLsetrgbcolor {setrgbcolor} bind def
/MTLsetcmykcolor {setcmykcolor} bind def

/setgray {/MTLw exch def
  /MTLrx MTLw def /MTLgx MTLw def /MTLbx MTLw def
  MTLrx MTLgx MTLbx
  MTLsetrgbcolor} def

/setrgbcolor {/MTLbx exch def /MTLgx exch def /MTLrx exch def
  MTLrx MTLgx MTLbx
  MTLsetrgbcolor} def

/setcmykcolor {/MTLn exch def /MTLy exch def /MTLm exch def /MTLc exch def
  MTLn 0 eq {/MTLrx 1 MTLc sub def
    /MTLgx 1 MTLm sub def
    /MTLbx 1 MTLy sub def}
  {/MTLrx 1 MTLn sub def
    /MTLgx 1 MTLn sub def
    /MTLbx 1 MTLn sub def} ifelse
  MTLrx MTLgx MTLbx
  MTLsetrgbcolor} def
(Done processing prologue-rgb_cmy->rgbL.ps.\n) print flush
% End of file: prologue.ps
```

Der Inhalt der Datei *prologue.ps* im Verzeichnis von *Adobe Distiller* wird für den Datentransfer der drei *PS*-Operatoren benutzt. Alle Daten werden transformiert zu *rgb*-Eingabedaten für den *PS*-Operator *rgb setrgbcolor*. Man kann (*dreimal*) die letzten zwei Zeilen ändern von

```
MTLrx MTLgx MTLbx          nach          1 MTLrx sub 1 MTLgx sub 1 MTLbx sub 0
MTLsetrgbcolor} def      MTLsetcmykcolor} def
```

für den Transfer von *rgb*-Eingabedaten nach *cmy0*-Eingabedaten. Der Transfer arbeitet mit jeder *PS*-Prüfdatei von DIN 33872.

## Anhang B Gleichungen für die Berechnung des Transformation $rgb - rgb'_{rgb^*}$

Anhang B enthält einige Basisideen für die Transformation zwischen *rgb*-Eingabedaten und der Änderung dieser Eingabedaten, um die angestrebte gleichabständige Ausgabe in CIELAB und zur gleichen Zeit die Elementar-Buntonausgabe auf jedem Gerät zu erreichen.

Die Startausgabe sollte so gleichmäßig wie möglich sein, was zum Beispiel gewöhnlich für den Standard-Offset-Prozeß, die Farbdrucker des graphischen Bereichs, und für *PostScript*-Drucker mit *cmymk*-Eingabedaten der Fall ist. Für eine Prüfung kann die Prüfvorlage Nr. 1 für *rgb*-Eingabedaten und die Prüfvorlage Nr. 2 für *cmymk*-Eingabedaten von DIN 33872-1 benutzt werden.

Für professionelle Anwendungen werden die folgenden *PDF*- und *PS*-Prüfdateien mit 1080 Farben empfohlen:

<http://www.ps.bam.de/ZG45/10L/L45G00NP.PDF>

<http://www.ps.bam.de/ZG45/10L/L45G00NA.PS>

<http://www.ps.bam.de/ZG46/10L/L46G00NP.PDF>

<http://www.ps.bam.de/ZG46/10L/L46G00NA.PS>

Die Dateien erzeugen 6 Seiten und die Dateigröße ist 550 kByte für die *PDF*- und 150 kByte für die *PS*-Datei. Die Ausgabe der Seiten 1 und 2 ist identisch. Auf Seite 3 werden alle Farbdaten von Seite 1 mit der *1-Minus-Relation* nach *rgb*-Eingabedaten (Datei L45G00NP.PDF) oder *cmymk*-Eingabedaten (Datei L46G00NP.PDF) transformiert.

Für einen realen Fotodrucker wurden die Daten der Start- und linearisierten Ausgabe mit ähnlichen Dateien erzeugt (30 Seiten, 2,6 Mbyte im *PDF*-Format und mit viel mehr Daten in *LAB\**,  $lab^*_{olv^*}$ ,  $lab^*_{rgb^*}$ , und so weiter, siehe DIN 33872-1)

Für die Startausgabe mit der NP-Datei, siehe

<http://idisk.me.com/klaus.richter-Public/GG67/GG67L0NP.PDF>

<http://idisk.me.com/klaus.richter-Public/GG67/GG67L0NA.PS>

Für die linearisierte Ausgabe mit der FP-Datei ist der Transfer  $rgb \rightarrow rgb'_{olv^*} = lab^*_{olv^*}$  (Geräte-Bunton-Ausgabe) innerhalb der Datei

<http://idisk.me.com/klaus.richter-Public/GG67/GG67L0FP.PDF>

Für die linearisierte Ausgabe mit der FP-Datei ist der Transfer  $rgb \rightarrow rgb'_{rgb^*} = lab^*_{olv^*}$  (Elementar-Bunton-Ausgabe) innerhalb der Datei

<http://idisk.me.com/klaus.richter-Public/HG67/HG67L0FP.PDF>

Beide *FP*-Dateien enthalten die CIELAB-Meßdaten der Startausgabe (NA-Datei) für die 1080 Farben und den Transfer.

Auf der Ausgabeseite 8 der Datei GG67L0NP.PDF ist ein 9x9x9-Gitter von *rgb*-Eingabedaten (Zeilen 01 bis 27 und Spalten A bis a) angegeben. Auf der Ausgabeseite 15 der Datei GG67L0FP.PDF ist ein 9x9x9-Gitter von transferierten  $rgb'_{olv^*}$ -Eingabedaten angegeben. Auf der Ausgabeseite 15 der Datei HG67L0FP.PDF ist ein 9x9x9-Gitter von transferierten  $rgb'_{rgb^*}$ -Eingabedaten angegeben.

Die *PS*-Dateien (FA.PS), welche den Transfer im Quellkodierung enthalten, sind *nicht* auf der Webseite angegeben.

Für die Definition von vielen anderen Koordinaten, die in den Dateien benutzt werden, siehe DIN 33872-1 und das Dokument (41 Seiten, 1,5 Mbyte)

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

Wenn die CIELAB-Daten der acht Gerätefarben *OYLCVMNW* gegeben sind, dann sind die Gleichungen zwischen *relativen* und *adaptierten* CIELAB-Koordinaten in DIN 33872-1 definiert, zum Beispiel zwischen  $olv^* = lab^*_{olv^*}$  und  $LAB^*_a$

$olv^* \rightarrow LAB^*_a$  (CIELAB-Stern-Daten)

Wenn die Start-Ausgabe eines 9x9x9-Gitters von regulären  $olv^*$ -Eingabedaten erzeugt wird, dann gibt es eine Abweichung verglichen mit den angestrebten  $LAB^*_a$ -Daten. Die wird durch folgende Relation beschrieben:

$olv^* \rightarrow LAB^*_{a^*}$  (CIELAB-Stern-Strich-Daten)

Für die Ausgabe der angestrebten  $LAB^*_a$ -Daten müssen die  $olv^*$ -Eingabedaten nach  $olv'^*$  (Strich-Stern) geändert werden.

$olv'^* \rightarrow LAB^*_a$  (CIELAB-Stern-Daten)

Für die *Geräte-Bunton*-Ausgabe sind die Daten für das 9x9x9-Gitter  $olv^*$  und *rgb* identisch. Anstelle der Notation  $olv'^*$  (Strich-Stern-Daten) nach DIN 33872 kann man in diesem Fall  $rgb'$  (Strich-Daten) benutzen.

Für die *Elementar*-Bunton-Ausgabe gibt es eine zusätzliche Transformation von  $olv'^*$  nach  $rgb'^*$ . Für *Geräte*- und *Elementar*-Bunton-Ausgabe können die zwei Transformationen mit  $rgb \rightarrow rgb'_{olv^*}$  und  $rgb \rightarrow rgb'_{rgb^*}$  beschrieben werden.