

EIN VERFAHREN ZUR GRAFISCH-INTERAKTIVEN DEFINITION VON FARBVALENZEN

J. Kaster, K.-F. Kraiss, H. Küttelwesch
Wachtberg-Werthhoven

Zusammenfassung: Farbcodierung auf Bildschirmen muß in den meisten Anwendungsbereichen intuitiv vorgenommen werden, da dem Designer keine verlässlichen und reproduzierbaren Angaben über ergonomisch günstige Farbeinstellungen vorliegen. Es fehlt an geeigneten Verfahren und Instrumentarien für eine einfache Anwendung der Farbmeterik.

In diesem Beitrag wird ein benutzerfreundliches Dienstleistungsprogramm, basierend auf dem Konzept des photocolorimetrischen Raums, vorgestellt. Nach der Messung des Farbort- und des Leuchtdichtespektrums eines Farbmonitors können programmgesteuert definierte, reproduzierbare Farbeinstellungen vorgenommen werden. Die zugehörigen Farbort- und Leuchtdichtewerte werden gleichzeitig angezeigt.

1 Einführung

Die ergonomische Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle am Bildschirmarbeitsplatz gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Trend zu höherer Komplexität bei der Führung und Überwachung technischer Prozesse sowie insbesondere beim Einsatz rechnergestützter Informationssysteme bedingt eine stetig wachsende Informationsrate, die vom menschlichen Benutzer aufzunehmen und zu verarbeiten ist.

Mit der Verbreitung farbtüchtiger Bildschirmgeräte bietet sich die Möglichkeit, Farbe als zusätzliche Codierungsdimension bei der Realisierung neuartiger Konzepte für die Mensch-Rechner-Kommunikation zu nutzen. In der Literatur finden sich jedoch nur in seltenen Fällen reproduzierbare

Angaben über optimale, nach ergonomischen Gesichtspunkten ausgewählte Farbeinstellungen. Vorliegende Untersuchungen belegen, daß z.B. die in den Bildschirmtext-Feldversuchen gewählten Darstellungsbedingungen deutlich verbessert werden können /1/.

Die vom Designer ausgewählten Farbort- und Leuchtdichtewerte erscheinen dem späteren Benutzer oftmals ungeeignet. Dann steht zumeist keine direkte Eingriffsmöglichkeit in die Farbgebung zur Verfügung, Akzeptanz und Effektivität des Gesamtsystems leiden. Ein Grund für das Fehlen von Maßzahlen und Richtwerten für die Farbeinstellung liegt darin, daß der Anwender üblicherweise nicht mit der Farbmeterik vertraut ist und auch nicht über das zur Messung notwendige Instrumentarium verfügt.

Im folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, das softwaremäßig eine geräteunabhängige Definition von Farbvalenzen erlaubt. Dieses Verfahren hat sich bei einer Versuchsreihe zur grafisch-interaktiven Definition von Farbvalenzen bei digitalen Fernsehkarten bewährt.

2 Der photocolorimetrische Raum

Bildröhren moderner Fernsehgeräte können den größten Teil der natürlich vorkommenden Farben wiedergeben. Die Grundaufgabe bei der rechnergesteuerten Farbeinstellung besteht darin, daß eine eindeutige Zuordnung zwischen den programmseitig eingestellten Werten und der resultierenden Farbwiedergabe des verwendeten Bildschirmgerätes ermittelt werden muß. Das hier vorgestellte Verfahren beruht auf dem Konzept des photocolorimetrischen Raums, mit dessen Hilfe die Darstellungsmöglichkeiten eines Farbmonitors quantitativ beschrieben werden.

Der photocolorimetrische Raum faßt Leuchtdichte- und Farbortabstufungen zusammen /2/. Sowohl die Farbortebene (u', v') als auch die Leuchtdichteachse ($\lg L$) sind in Stufen

eingeteilt, die vom Auge gerade noch wahrgenommen werden können (jnd = just noticeable difference). Somit wird für alle drei Achsen derselbe Maßstab verwendet. Für die Darstellung empfiehlt sich oft eine größere Einteilung. In Bild 1 werden dem Betrachter die Abmessungen des photocolorimetrischen Raums durch eine Achseinteilung angezeigt, die einer für das menschliche Auge bequem wahrnehmbaren Abstufung entspricht. Die in Bild 1 angegebenen Abmessungen gelten für einen TV-Monitor vom Typ Barco CDCT 2/51. Für andere Fabrikate ergeben sich möglicherweise andere Begrenzungslinien.

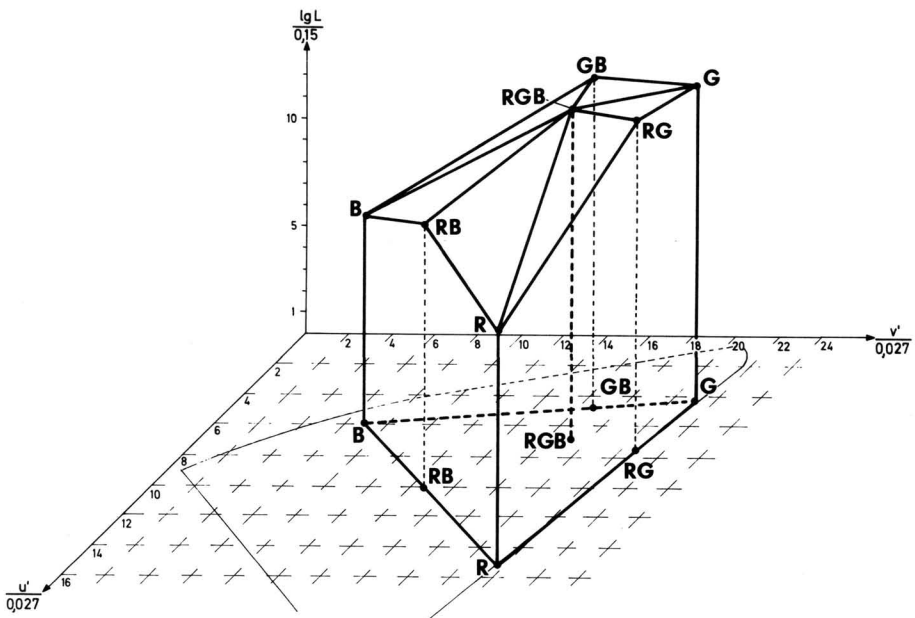


Bild 1: Der photocolorimetrische Raum nach Galves und Brun /2/

3 Farbmetrische Grundlagen

Als Voraussetzung für die Definition des verfügbaren Farbraums eines bestimmten Monitors wird in einer Meßreihe zunächst sowohl für die Einzelkanonen (R,G,B) als auch für die parallel angesteuerten Kanonen (RG,RB,BG,RGB) der Leuchtdichteverlauf in Abhängigkeit von der Ansteuerspannung ermittelt. Bestimmt man in einer weiteren Meßreihe für die Einzelkanonen und Kanonenkombinationen die Farbortkoordinaten, so kann für den betreffenden Monitor der potocolorimetrische Raum mit vollständig definierten Eckpunkten aufgespannt werden.

Da der Darstellungsbereich des Monitors auf die ungesättigten Farbortbereiche begrenzt ist, kann für praktische Anwendungen eine hinreichende Linearität des photocolorimetrischen Raums in allen Bereichen angenommen werden. Unter dieser Voraussetzung können durch lineare Interpolation zwischen den Eckpunkten die erforderlichen Ansteuerspannungen für alle darstellbaren Farben ermittelt werden.

3.1 Leuchtdichtebereich eines Farbmonitors

Die Abhängigkeit der Leuchtdichte von der Ansteuerspannung der einzelnen Farbkanonen zeigt Bild 2. Die Ergebnisse sind in Form einer Kurvenschar zusammengefaßt. Die Beobachtung, daß die Einzelkanonen bei Maximalansteuerung verschiedene Helligkeiten erreichen, ist auf den unterschiedlichen Wirkungsgrad der Phosphore zurückzuführen. Werden zwei oder alle drei Kanonen parallel angesteuert, addieren sich die Helligkeiten. Der untersuchte Monitor zeigt ab ca. $L = 150 \text{ [cd/m}^2\text{]}$ ein stark nichtlineares Verhalten. Da die Verbindungslinien zwischen den einzelnen Meßpunkten im doppelt-logarithmischen Maßstab linear verlaufen, läßt sich die Beziehung zwischen den beiden Variablen Leuchtdichte $L \text{ [cd/m}^2\text{]}$ und Ansteuerspannung $U \text{ [V]}$ wie folgt beschreiben:

$$U = K_i \cdot e^{\alpha(\lg L)} ; \quad 0 \leq U \leq 1 \quad [\text{V}] \quad (1)$$

Der Parameter α entspricht dem Steigungskoeffizienten, der für alle im Bild dargestellten Kurven nahezu gleich groß ist ($\alpha \sim 1,19$). Der Koeffizient K_i ist ein Maß für den Abstand der Geraden untereinander. Der Wert K_i kann am Schnittpunkt der Abszisse mit der jeweiligen Kurve abgelesen werden. Für die Leuchtdichte an dieser Stelle gilt $L = 1$ [cd/m²] oder $\lg L = 0$ [cd/m²]. Der Index i gibt an, für welche Ansteuerung der Farbkanonen der Koeffizient K_i gilt.

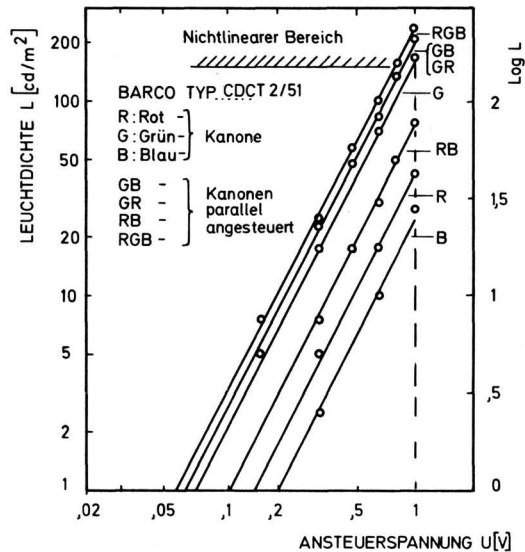


Bild 2: Die Leuchtdichte L [cd/m²] in Abhängigkeit von der Ansteuerspannung U [V].

Der verfügbare Leuchtdichtebereich der einzelnen Farben und Farbkombinationen definiert die Anzahl der erzielbaren unterscheidbaren Helligkeitsabstufungen. Damit das Auge einen Leuchtdichteunterschied feststellen kann, ist ein Minimalkontrast C_{Lmin} erforderlich. Da das Auge Lichtreize logarithmisch verarbeitet, drückt man diesen eben merklichen Unterschied ($jnd = just noticeable difference$) entsprechend aus:

$$C_{L_{\min}} = L_1/L_2 \geq 1.05 \quad (2)$$

$$\text{oder: } jnd_L = \lg C_{L_{\min}} = 0.021 \quad (3)$$

Für praktische Anwendungen wird nicht der Wert für den Schwellenkontrast, sondern für ein bequem wahrnehmbares Leuchtdichte-verhältnis benötigt. In diesen Fällen rechnet man üblicherweise mit dem siebenfachen Schwellenwert:

$$jnd_L^* = 7 * jnd_L = 0.15 \quad (4)$$

3.2 Farbortbereich eines Farbmonitors

Ebenso wie der Leuchtdichtebereich muß auch die Lage der vom Versuchsmonitor darstellbaren Farborte ausgemessen werden. Man verwendet auch hier als Parameter die reinen Farben und die Mischfarben; d.h., daß an diesen Punkten die Beziehung zwischen den genormten Werten von Farbort (u'/v') bzw. der Leuchtdichte (L) und den drei verschiedenen Kanonenansteuerspannungen (U_R, U_G, U_B) ermittelt wird.

Das für die Messung eingesetzte SPECTRA-Photometer liefert die Farborte in den x/y -Koordinaten des CIE-Farbdreiecks /3/. Die anschließende Umrechnung in die u'/v' -Koordinaten des UCS-Diagramms (Uniform Chromaticity Space) hat den Zweck, das Farbdreieck so zu entzerren, daß gleiche Farbortdifferenzen als gleiche Farbunterschiede gesehen werden /4/.

In der Literatur ist für die minimale sichtbare Farbortdifferenz im u'/v' -Diagramm folgender Wert angegeben /2,4/:

$$jnd_F = jnd_{u'} = jnd_{v'} = 0,00384 \quad (5)$$

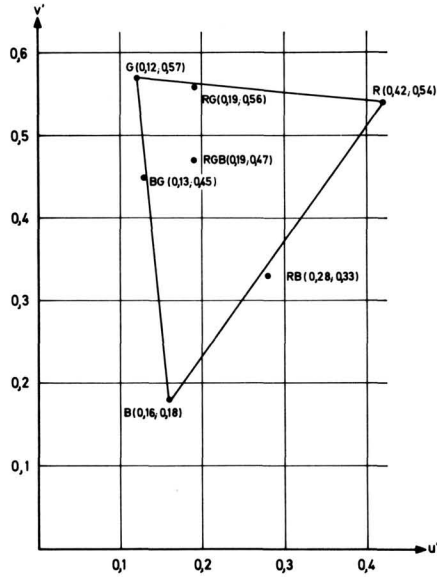


Bild 3: Gemessene Farborte in Abhängigkeit von der Kanonenansteuerung (für BARCO TYP CDCT 2/51)

Auch für die Farbwahrnehmung wird analog zur Leuchtdichte nicht das Schwelleninkrement, sondern der siebenfache Wert für bequeme Farbunterscheidungen angesetzt:

$$jnd_F^* = 7 * jnd_F = 0,027 \quad (6)$$

Liegen die Farbwerte (u'/v') zwischen den Stützpunkten, werden die einzelnen Ansteuerspannungen entsprechend den Abständen zu den benachbarten Stützpunkten linear interpoliert.

Mit den bisher beschriebenen Grundlagen kann für jeden Monitor der photocolorimetrische Raum aufgespannt werden, mit dessen Hilfe zu jeder Farb-/Intensitätskombination die zugehörigen Kanonenansteuerspannungen bestimmt werden können.

4 Benutzerfreundliches Dienstleistungsprogramm

Mit dem oben beschriebenen Verfahren besteht für den Benutzer von Farbgrafikgeräten die Möglichkeit, durch Angabe **standardisierter Farbparameter** unabhängig vom verwendeten Monitor definierte, reproduzierbare Farbeinstellungen vorzunehmen. Voraussetzung hierzu ist die Kenntnis der Meßkurven und -werte nach Abschnitt 3, die z.B. in den Herstellerunterlagen mitgeliefert werden könnten. Diese Daten werden in einem Dienstleistungsprogramm verarbeitet, das die eingegebenen Farbparameter des Benutzers in die zugehörigen Ansteuerspannungen für den TV-Monitor transformiert.

Die Realisierung einer nach software-ergonomischen Aspekten gestalteten Dialogschnittstelle ist für die effektive Anwendung dieses Verfahrens notwendig. Aufgrund der Komplexität der interaktiven Einstellung von Farbvalenzen muß der Dialog unmittelbar verständlich und aufgabenangemessen sein, so daß sich der Benutzer auf die Farbeinstellungen konzentrieren kann, ohne durch spezielle Systemeigenschaften belastet zu werden. Da verschiedenfarbige Bildanteile sich in ihrer Farbgebung gegenseitig beeinflussen, wird die interaktive Farbwahl iterativ vorgenommen. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte muß daher vollständig vom Benutzer steuerbar sein.

Aufgrund der dargestellten farbmétrischen Grundlagen erweist sich die interaktive Einstellung von Farbvalenzen als ein Bedienproblem mit quasi-dreidimensionaler Steuerung. Ein Punkt im photocalorimetrischen Raum ist neben dem zugehörigen Farbort durch seinen Leuchtdichtewert bestimmt. Aus ergonomischer Sicht ist ein elektronischer Bildschirm für dreidimensionale Einstelltätigkeiten wegen der fehlenden Kompatibilität von Objektraum und ebenem Darstellungsformat ungeeignet.

Die hier vorgestellte Lösung ist durch eine Reduktion der Eingabekomplexität auf eine sequentielle Bedientätigkeit gekennzeichnet, die ihr Äquivalent in der grafischen Schnittstellengestaltung am Dialogbildschirm findet (vgl. Bild 4,

rechter Monitor). Zur individuellen Variation von Farben und Sättigungsgrad wird dem Benutzer ein Farbdreieck angeboten, in dem er die u'/v' -Koordinaten durch Cursorpositionierung mit der Maus anwählt. Nach Drücken der Maustaste wird die benachbarte Intensitätsskala R_L für den ausgewählten Farbart angezeigt. Während Cursorverschiebungen über dem Farbdreieck mit **gedrückter** Maustaste wird diese Anpassung "dynamisch" ausgeführt. Nach der Farbartwahl kann die Leuchtdichte in der Intensitätsskala ebenfalls durch Cursorpositionierung festgelegt werden. Diese Einstellvorgänge werden iterativ wiederholt, bis die gewünschten Farbparameter erreicht sind.

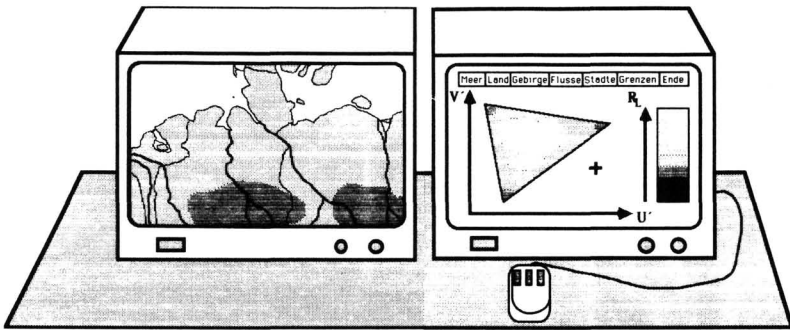


Bild 4: Interaktiver Farbmisch-Arbeitsplatz
- rechter Monitor = Dialogbildschirm

Am oberen Bildrand ist eine Menüleiste zur Auswahl derjenigen Informationskategorie angezeigt, die aktuell in der Farbgebung modifiziert werden soll. Alle Farbmanipulationen können auf dem Zielsystem mitverfolgt werden. Das Bildbeispiel wurde einer Untersuchung zur subjektiven Bevorzugung von Farben und Farbkombinationen bei der Gestaltung digitaler Landkarten entnommen. Die Farben der geografischen Informationskategorien konnten aus einem Kontinuum von 2^{24} Farben ausgewählt werden. Bisherige Erfahrungen zeigen, daß Versuchspersonen ohne weitere Vorkenntnisse und Erfahrungen individuelle Farbeinstellungen schnell und effektiv vornehmen können.

5 Literaturverzeichnis

- 1 Pastoor, S.; Beldie, I.P.; Wöpking, M.: Textdarstellung im CEPT-Standard noch nicht optimal. ntz Nachr.-techn. Zeitung 37 (1984) H.10, S. 640ff.
- 2 Galves, J.P.; Brun, J.: AGARD-CP-167, Color and Brightness Requirements for Cockpit Displays: Proposal to Evaluate their Characteristics, 1975, S. 61-68.
- 3 Häusing, M.: Forschungsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe: Angewandte Informatik - Über die Farbcodierung von Informationen auf elektronischen Sichtgeräten, Reihe 10, Nr. 10.
- 4 Richter, K.: Criticism, modification and enlargement of colour space CIELAB 1976. Vortrag auf der intern. FARB-INFO '77, Basel.
- 5 Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) (1976). Official recommendation on color spaces, color difference equations and metric color terms. Supplement No.2 for CIE-Publication No. 15, Colorimetry (E-1.3.1) 1971, Draft May 1976.
- 6 Kraiss, K.F.; Küttelwesch H.: Untersuchungen zur Darstellung von Sonardaten auf Bildschirmen; Bericht Nr. 60, Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Wachtberg-Werthhoven, August 1984.
- 7 Kraiss, K.F.; Küttelwesch, H.: Color and Grey Scale in Sonar Displays; Society for Information Display, Symposium 1984, June 4-8, San Francisco; Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Werthhoven.

J. Kaster, K.-F. Kraiss, H. Küttelwesch
 Forschungsgesellschaft für
 Angewandte Naturwissenschaften
 Neuenahrer Straße 20
 5307 Wachtberg-Werthhoven