



Bundesamt für Landestopographie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Federal office of topography

Eidgenössische Vermessungsdirektion
Direction fédérale des mensurations cadastrales
Direzione federale delle misurazioni catastali
Directorate of cadastral surveying

Farben in INTERLIS-2

Sascha Brawer, Adasys AG, Kronenstrasse 38, 8006 Zürich

Januar 2000

Eidg. Vermessungsdirektion
Bundesamt für Landestopographie
Seftigenstrasse 264, CH-3084 Wabern
Fax +41 31 963 22 97, E-Mail interlis@lt.admin.ch
Web www.swisstopo.ch oder www.gis.ethz.ch

Copyright © 1999 Eidg. Vermessungsdirektion, CH-3084 Wabern

Alle mit © bezeichneten Namen sind mit dem Copyright des jeweiligen Autors oder Herstellers geschützt. Vervielfältigungen sind *ausdrücklich erlaubt* solange der Inhalt unverändert bleibt.

Inhalt

1	Einführung	3
1.1	Übersicht	3
1.2	Anforderungen	3
2	Angabe über Farbnamen	4
2.1	Zentraler Farbenkatalog	4
2.2	Kommerzielle Farbmusterkataloge	4
3	Numerische Angabe von Farben	5
3.1	Gerätespezifische Farbräume	5
3.1.1	RGB	5
3.1.2	HLS	6
3.1.3	HSV und weitere Transformationen aus RGB	7
3.1.4	CMY, CMYK	8
3.2	Geräteunabhängige Farbräume	9
3.2.1	XYZ	9
3.2.2	xyz, xyY, rgb	10
3.2.3	sRGB	10
3.2.4	$L^*a^*b^*$	11
3.2.5	$L^*C_{ab}^*h_{ab}^*$	12
3.2.6	$L^*u^*v^*$	13
4	Konkreter Vorschlag für INTERLIS	14
4.1	Farbraum	14
4.2	Nötige Genauigkeit	14
4.2.1	Genauigkeit der L^* -Achse	14
4.2.2	Genauigkeit der C_{ab}^* - und h_{ab}^* -Achsen	15
4.3	Kombination mit Namen	15
4.4	Beispielwerte	16
5	Literatur	17
6	Impressum	19
6.1	Beteiligte Autoren	19
6.2	Entstehungsgeschichte dieses Dokuments	19

1 Einführung

1.1 Übersicht

Da es INTERLIS-2 unter anderem ermöglicht, Grafiken zu definieren, muss es möglich sein, Farben zu spezifizieren. Eine system- und geräteneutrale Definition von „Farbe“ ist jedoch erstaunlich komplex und setzt das Verständnis von Konzepten voraus, die nicht allgemein bekannt sind.

Dieses Papier ist folgendermassen strukturiert:

- **Kapitel 1** zeigt auf, welche Anforderungen eine Art der Farbspezifikation in INTERLIS erfüllen sollte.
- **Kapitel 2** klärt ab, ob sich eine Angabe über Farbnamen eignen würde.
- **Kapitel 3** beschreibt verschiedene Systeme zur numerischen Spezifikation von Farben und stellt Überlegungen an, welche sich für den beabsichtigten Zweck eignen.
- **Kapitel 4** beschreibt einen konkreten Ansatz, der die Vorteile von Farbnamen und numerischer Spezifikation verbindet und sich gut in das INTERLIS-Umfeld einfügt.
- **Kapitel 5** weist auf weiterführende Literatur zum Thema hin.

1.2 Anforderungen

Ein Weg zur Spezifikation von Farben als Text sollte mehreren Anforderungen genügen:

- **Geräteunabhängigkeit** — Es sollte klar definiert sein, welche Farbe mit einer bestimmten Angabe tatsächlich gemeint ist. Nur so kann sichergestellt werden, dass das Ergebnis auf allen Geräten den Erwartungen entspricht.
- **Ausdrucksstärke** — Es sollte möglich sein, alle Farben zu spezifizieren, die ein „normales“ Gerät (insbesondere auch qualitativ gute Drucker und Plotter) darstellen kann. Das Spektrum spezifizierbarer Farben sollte also möglichst gross ein. Idealerweise umfasst es alle Farben, die ein Mensch wahrnehmen kann.
- **Intuitivität** — Beim Lesen einer Farbangabe sollte ein Mensch intuitiv eine ungefähre Vorstellung davon erhalten, was für eine Farbe gemeint ist. Ein INTERLIS-Modell besitzt immer auch Dokumentationscharakter und sollte für Menschen ohne grösseren Aufwand verständlich sein.
- **Systemneutralität** — Die Art und Weise der Farbangabe sollte kein System (GIS, Betriebssystem, Hardware) bevorzugen oder gar die Anschaffung besonderer Hilfsmittel bedingen.

2 Angabe über Farbnamen

Eine vergleichsweise einfache und bequeme Angabe von Farben erfolgt über Namen. Ein trivialer Ansatz ist, einige gebräuchliche Namen wie „orange“, „hellgrün“, „türkis“ usw. fest zu vergeben. Dies ist eine der Möglichkeiten, wie Farben bei im X-Window-System spezifiziert werden können.

2.1 Zentraler Farbenkatalog

Denkbar wäre, dass eine zentrale Stelle einen Katalog von Farbnamen festlegt und entsprechend dokumentiert, welchem Namen welche Farbe entspricht. Damit wären die meisten der oben postulierten Kriterien erfüllt, jedoch nicht jenes der *Ausdrucksstärke*: Ist eine gewünschte Farbe nicht im Katalog enthalten, muss auf ihre Benutzung verzichtet werden. Es ist anzunehmen, dass diese Einschränkung als zu restriktiv empfunden würde.

Zudem stellt sich bei diesem Ansatz die Frage, in welcher Form die Dokumentation der Farbe erfolgen müsste: Wie definiert die zentrale Stelle, was für ein Türkis tatsächlich gemeint ist?

2.2 Kommerzielle Farbmusterkataloge

Immerhin existieren ganze Bücher mit benannten Farbmustern, beispielsweise das Pantone- oder das HKS-System. Es wäre denkbar, auf eines dieser Systeme zurückzugreifen, um die gewünschte Farbe zu dokumentieren, oder statt eigener Farbnamen könnten die Bezeichnungen eines dieser Systeme benutzt werden.

Der Rückgriff auf ein solches System wäre jedoch mit folgenden Problemen behaftet:

- Unter Umständen würden Lizenzgebühren für die Benutzung eines kommerziellen Farbsystems fällig.
- Ohne Anschaffung eines Musterbuchs/Farbfächers ist eine Angabe wie „Pantone 1234“ nicht interpretierbar.
- Trotz allem könnten die Anwender nur eine recht eingeschränkte Zahl von möglichen Farben benutzen.

3 Numerische Angabe von Farben

Feste Farbnamen oder auch der Rückgriff auf ein existierendes Farbnamensystem dürften somit den Anforderungen von INTERLIS nicht genügen.

Im Gegensatz zur Bezeichnung über Namen erlaubt es eine numerische Angabe, beliebig viele Farben zu bezeichnen. In der Literatur wird eine grössere Anzahl verschiedener Koordinatensysteme beschrieben, bei denen ein Punkt in einem meist dreidimensionalen Raum einer bestimmten Farbe entspricht. Nachfolgend werden einige dieser Farbräume erläutert und daraufhin untersucht, ob sie sich für die Anwendung als Spezifikationsraum in INTERLIS eignen.

Ein Name wie „türkis“ wird jedoch immer einfacher und intuitiver zu benutzen sein als eine numerische Angabe. Der konkrete Vorschlag gegen Ende dieses Kapitels ermöglicht daher, eigene Namen für beliebige Farben zu vergeben.

3.1 Gerätespezifische Farbräume

3.1.1 RGB

Sehr bekannt ist der RGB-Farbraum, bei dem eine Farbe als Tripel von Rot-, Grün- und Blauwerten definiert ist. Der Minimalwert $\langle 0, 0, 0 \rangle$ entspricht normalerweise dem „schwärzesten Schwarz“, der Maximalwert $\langle 1, 1, 1 \rangle$ dem „weissesten Weiss“, das ein Gerät darstellen kann.

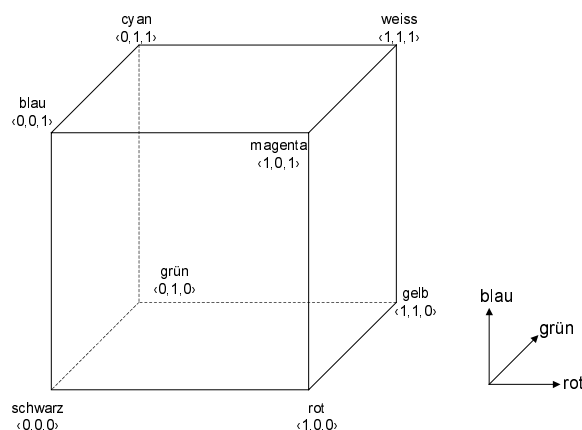


Abbildung 1: Der RGB-Farbraum ist ein Würfel.

Es ist jedem Gerät überlassen, welche Farbe es etwa dem Wert $\langle 0.5, 0.5, 0.5 \rangle$ zuordnet. Einige Geräte versuchen, eine von Menschen als mittleres Grau wahrgenommene Farbe darzustellen. Andere Geräte setzen beispielsweise den Elektronenstrahl der Bildschirmröhre auf die Hälfte der maximal möglichen Intensität; in diesem Fall würde (aufgrund der Nichtlinearität der menschlichen Wahrnehmung) ein helles Grau dargestellt. Diese Verzerrung lässt sich gut durch eine Exponentialfunktion beschreiben, die durch einen Parameter γ parametrisiert wird. Die Kompensation dieser Verzerrung wird daher oft *Gamma-Korrektur* genannt.

Da RGB ein gerätespezifischer Farbraum ist, bezeichnet ein Punkt in diesem Raum für sich alleine genommen noch keine bestimmte Farbe. Ein RGB-Tripel kann erst eindeutig interpretiert werden, wenn die

Farbeigenschaften des zugehörigen Koordinatensystems genau bekannt sind. Ein Tripel $\langle 0, 1, 0 \rangle$ wird sicher von allen Geräten als Grün dargestellt, aber die Unterschiede zwischen den Grüntönen unterschiedlicher Geräte sind sehr deutlich wahrnehmbar. Damit erfüllt RGB das oben postulierte Kriterium der *Eindeutigkeit* nicht.

Nimmt man einen typischen PC-Bildschirm zum Massstab, gibt es zahlreiche Farben, die dieser Monitor nicht darstellen kann. Im entsprechenden RGB-Raum sind diese Farben schlicht nicht repräsentierbar. Damit erfüllt RGB auch das Kriterium der *Ausdrucksstärke* nicht.

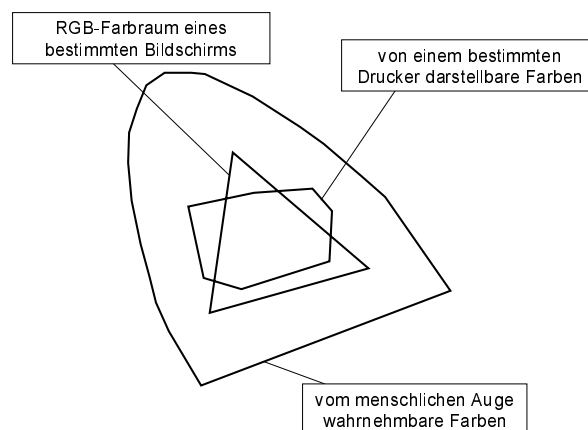


Abbildung 2: Der RGB-Farbraum eines bestimmten Geräts umfasst nicht alle Farben, die das menschliche Auge wahrnehmen kann. Ein Drucker kann unter Umständen andere Farben wiedergeben als in einem RGB-Raum repräsentiert werden können.

Ob ein RGB-Tripel intuitiv verständlich ist, kann bezweifelt werden. Zwar ist vielen Anwendern bekannt, welchen Farben die Eckpunkte des RGB-Würfels entsprechen, aber die wenigsten dürften wissen, welche Koordinaten ein bräunliches Orange, Smaragdgrün oder sonst ein Zwischenton besitzt. In diesem Zusammenhang sei auf eine weitere negative Eigenschaft von RGB, die *Uneinheitlichkeit bezüglich der Wahrnehmung*, hingewiesen: In manchen Teilen des RGB-Raums ist eine bestimmte numerische Distanz zwischen zwei Punkten kaum, in anderen Teilen als sehr deutlicher Farbunterschied wahrnehmbar. Anders als bei anderen Farbräumen (vgl. unten) ist es beispielsweise bei RGB auch nicht möglich, einem RGB-Tripel „anzusehen“, welchen Helligkeitseindruck die Farbe hervorruft.

Zusammengefasst erscheint RGB nur sehr bedingt für die beabsichtigten Zwecke geeignet.

3.1.2 HLS

Aus jedem RGB-Raum ist ein zugehöriger HLS-Raum ableitbar (vgl. [Sangwine/Horne, 1998], p. 76 – 83), der ebenfalls drei Dimensionen besitzt. Diese haben folgende Bedeutung:

- **Farbton (Hue)** — Ein Winkel in einem Farbkreis, der von rot (0°) über gelb (60°), grün (120°), cyan (180°), blau (240°), magenta (300°) wieder zu rot geht.
- **Helligkeit (Lightness)** — Die Helligkeit der Farbe. Helle Farben besitzen einen hohen, dunkle einen tiefen Helligkeitswert.
- **Sättigung (Saturation)** — Die „Buntheit“ oder Stärke des Farbtons. Verwaschene Farben besitzen einen tiefen, leuchtend-bunte Farben einen hohen Wert in dieser Dimension. Die Sättigung von Grautönen ist 0.

Der HLS-Raum ist deutlich intuitiver als RGB (vgl. Abbildung 3). Allerdings entspricht, wie bei RGB, die Distanz zwischen zwei Punkten im Raum nicht unbedingt dem Wahrnehmungsunterschied zwischen den dazugehörigen Farben. So sind in Abbildung 3 die Farben bei 90° nicht ein Mittelton zwischen gelb (60°) und grün (120°), sondern liegen näher bei grün.

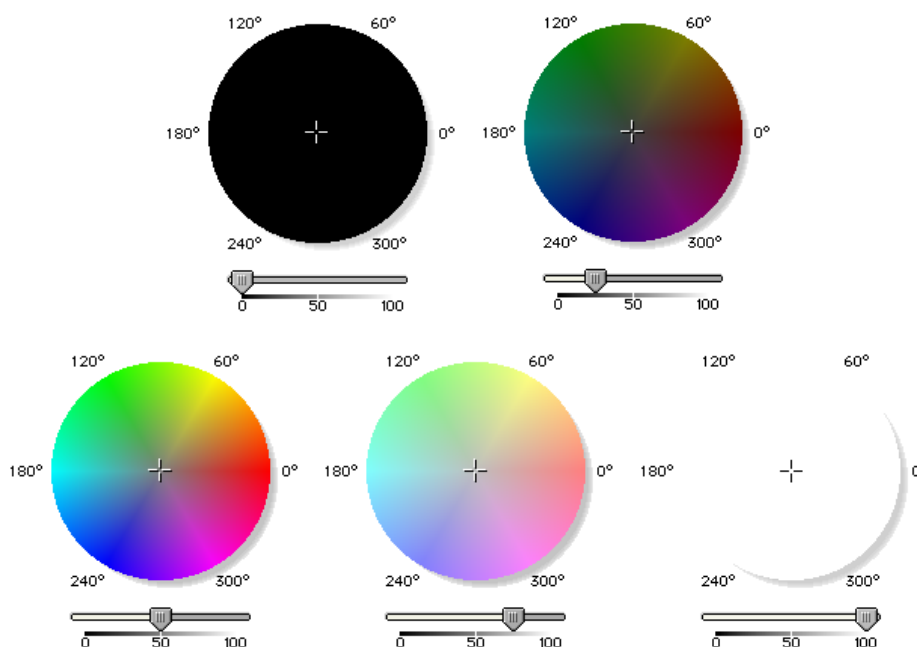


Abbildung 3: Schnitte durch den HLS-Farbraum für verschiedene Helligkeiten. Da sich HLS auf den allgemein bekannten Farbkreis bezieht, ist dieser Farbraum intuitiv verständlicher als RGB.

Wesentlich problematischer ist jedoch, dass ein HLS-Raum genauso wie der RGB-Raum, von dem er abgeleitet wurde, *geräteabhängig* ist: Je nach Gerät bezeichnen dieselben Koordinaten eine andere Farbe.

In einem HLS-Farbraum können dieselben Farben wie beim zugrundeliegenden RGB-Raum spezifiziert werden. Somit ist es wiederum möglich, dass ein Drucker Farben ausgeben kann, die im HLS-Raum eines Bildschirms überhaupt nicht kodierbar sind.

[Poynton, 1997] führt weitere Gründe dafür an, wieso sich HLS (ebenso wie das nachfolgend erwähnte HSV-Koordinatensystem) nicht sonderlich dafür eignet, Farben zu spezifizieren.

3.1.3 HSV und weitere Transformationen aus RGB

Neben HLS gibt es weitere Ansätze, um RGB in ein intuitiv verständlicheres Koordinatensystem zu transformieren. Am bekanntesten ist der in Abbildung 4 dargestellte HSV-Raum.

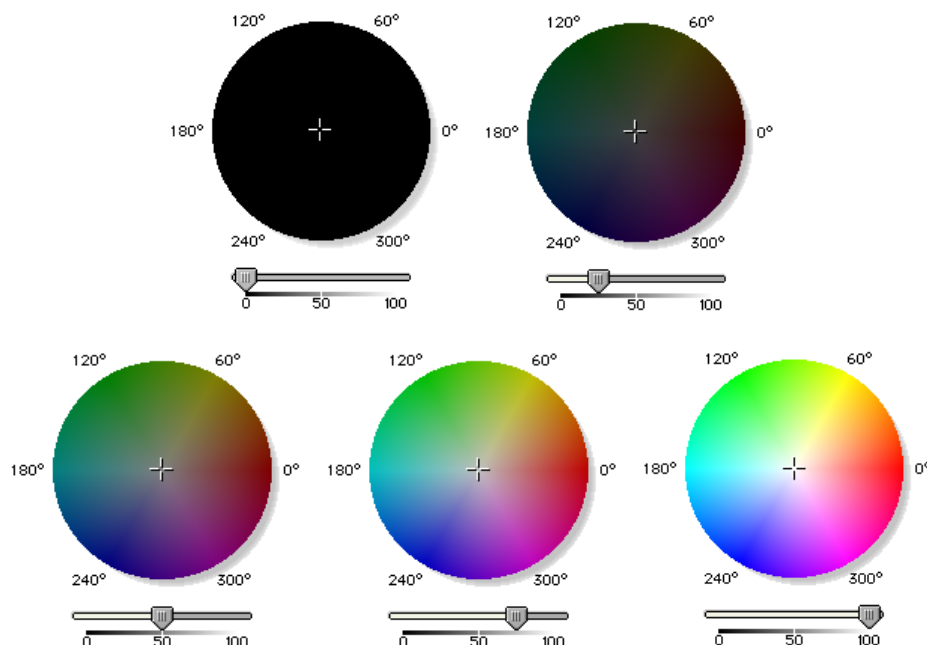


Abbildung 4: Schnitte durch den HSV-Farbraum für verschiedene Helligkeiten.

Für alle diese abgeleiteten Räume gelten im Prinzip dieselben Aussagen wie für HLS: Zwar sind sie intuitiver als RGB, aber die oben postulierten Kriterien der *Ausdrucksstärke* und vor allem der *Geräteunabhängigkeit* werden nicht erfüllt.

3.1.4 CMY, CMYK

Drucker arbeiten mit der subtraktiven Farbmischung: Ein Drucker trägt Farbe auf ein Trägermaterial (normalerweise Papier) auf. Fällt weisses Licht auf das Papier, absorbieren die Farbschichten einige Teile des Spektrums, und der Rest wird reflektiert.

Werden nun Pigmente der Farben Zyanblau (C, von englisch *cyan*), Magentarot (M) und Gelb (Y, von englisch *yellow*) auf weisses, reflektierendes Papier aufgetragen, absorbiert (oder „subtrahiert“) jede Komponente die entsprechende Gegenfarbe aus dem eintreffenden weissen Licht. Beim Drucken werden unterschiedliche Intensitäten von geeignet gewähltem Zyanblau, Magentarot und Gelb dazu verwendet, den Anteil von rotem, grünen bzw. blauem Licht zu kontrollieren, den die bedruckte Fläche unter weissem Licht reflektiert.



Abbildung 5: Subtraktive Farbmischung.

Allerdings sind nur sehr wenige Drucker tatsächlich in der Lage, Pigmente in verschiedenen Intensitäten auftragen. Die meisten Geräte simulieren unterschiedliche Intensitäten durch eine mehr oder weniger grosse Pünktchen in verschiedenen Winkeln.

Theoretisch wäre es nicht nötig, zusätzlich zu diesen drei Farben noch Schwarz zu benutzen. In der Praxis wird der dreidimensionale CMY-Raum jedoch kaum verwendet, weil die drei Farben aus verschiedenen Gründen zusammen einen schmutzig-braunen und nicht einen satt schwarzen Eindruck ergeben.

Zudem ist Papier nur begrenzt saugfähig: Werden zu viele Farbschichten übereinander gedruckt, trocknet die aufgetragene Farbe zu langsam, und es besteht die Gefahr des Verwischens. Ein letzter Grund für den Einsatz von Schwarz ist die Häufigkeit von feinen schwarzen Konturen (z.B. für Text): Ein Drucker, der in mehreren Durchgängen arbeitet, müsste die Pigmente extrem präzise plazieren, da sonst Farbsäume sichtbar würden.

Ist nun CMY bzw. CMYK besser für die Zwecke von INTERLIS geeignet? Bezüglich der *Verständlichkeit* ist dieser Farbraum wohl in etwa mit RGB vergleichbar, mit dem Unterschied, dass keine von CMY oder CMYK abgeleiteten Farbräume existieren, welche intuitiver wären.

Ähnlich wie nicht jeder Monitor dieselben Farben ausstrahlt, unterscheiden sich auch die von Druckern verwendeten Farbpigmente zum Teil erheblich (vgl. Abbildung 6). Ebenso ist nicht allgemein festgelegt, wie ein bestimmter Intensitätswert zu reproduzieren ist. CMY bzw. CMYK ist damit in hohem Mass *geräteabhängig*.

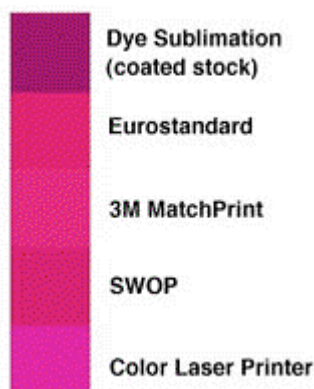


Abbildung 6: Welche Farbe ist „Magenta“? Die Farbpigmente unterscheiden sich teilweise erheblich.
(Quelle: <http://www.apple.com/colorsync/benefits/training/cmyk.html>)

3.2 Geräteunabhängige Farbräume

3.2.1 XYZ

Für zahlreiche Anwendungen ist es notwendig, Farben unabhängig von Faktoren wie Beleuchtung, Trägermaterial, Pigmentzusammensetzung etc. zu charakterisieren. Eine internationale Kommission, die *Commission Internationale d'Éclairage (CIE)*, hat aus diesem Grund eine Reihe von standardisierten Lichtquellen festgelegt. Zudem wurden bestimmte Bedingungen wie etwa Abstand und Betrachtungswinkel festgelegt, unter denen das von reflektierenden Flächen zurückgeworfene Licht zu messen ist.

Zusätzlich hat die CIE im Jahr 1931 einen „Standardbeobachter“ definiert, um von individuellen Unterschieden im Farbensehen zu abstrahieren und so quantitative Farbangaben zu ermöglichen. Die drei Typen von Farbrezeptoren in der Netzhaut dieses fiktiven Beobachters reagieren auf Licht unterschiedlicher Wellenlänge in genau definierter Weise, wobei versucht wurde, das Farbensehen der normalsichtigen Durchschnittsbevölkerung zu modellieren.¹

¹ Später, im Jahr 1964, hat die CIE einen weiteren Standardbeobachter festgelegt, der die Bevölkerung besser modelliert. Aus diesem Grund existieren zwei XYZ-Systeme, die üblicherweise durch Angabe der Jahreszahl unterschieden werden.

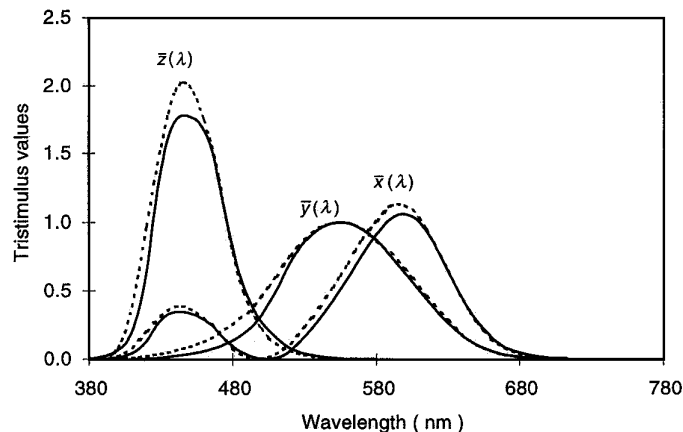


Abbildung 7: Die Empfindlichkeit der drei Rezeptoren auf der Netzhaut des CIE-Standardbeobachters für Licht verschiedener Wellenlängen. Ausgezogene Linien entsprechen dem Standardbeobachter von 1931, gestrichelte jenem von 1964. (Quelle: [Sangwine/Horne, 1998], Abbildung 3.11).

Von der CIE festgehaltene Funktionen modellieren, wie stark jeder der drei Typen von Farbrezeptoren auf einer durchschnittlichen Netzhaut durch Licht gereizt wird, wenn Licht aus einer bekannten Quelle auf einen Reflektor trifft und unter standardisierten Bedingungen betrachtet wird. Dadurch braucht nicht das gesamte einfallende Licht charakterisiert zu werden: es reicht aus, drei Werte X, Y und Z anzugeben. Das XYZ-System ist so definiert, dass Y für eine perfekt reflektierende Fläche den Wert 100 annimmt.

XYZ ist unabhängig von einem bestimmten Gerät definiert, und sämtlichen vom Menschen wahrnehmbaren Farben kann ein XYZ-Tripel zugeordnet werden. Damit besitzt XYZ als erster der bisher eingeführten Farbräume die für die Anwendung bei INTERLIS zentrale Eigenschaften der *Geräteunabhängigkeit* und der *Ausdrucksstärke*.

Die Definition ist allgemein verfügbar und bevorzugt kein bestimmtes System; das Kriterium der *Systemneutralität* ist daher ebenfalls erfüllt.

Allerdings ist XYZ keineswegs ein *intuitiv verständlicher* Farbraum. Es existieren jedoch eine Reihe von Farbräumen, die von XYZ abgeleitet sind und damit gleichermassen geräteunabhängig und systemneutral sind, sich aber für die Zwecke von INTERLIS besser eignen. Nachfolgend werden daher einige mit XYZ verwandte Räume beschrieben und auf ihre Eignung untersucht.

3.2.2 xyz, xyY, rgb

Für verschiedene Spezialzwecke wurden Transformationen aus dem XYZ-Raum entwickelt. So eignet sich ein xyz genannter Raum besonders gut, um das Ergebnis von additiven Farbmischungen zu berechnen. Diese Räume sind jedoch ebenso wenig intuitiv wie XYZ und werden daher hier nicht näher besprochen.

3.2.3 sRGB

In [Stokes et al., 1996] wird vorgeschlagen, einige der Nachteile von RGB zu korrigieren, indem ein standardisierter RGB-Raum definiert wird. Ein Punkt in diesem Raum entspricht dabei ungefähr jener Farbe, die ein PC mit typischer Grafikkarte auf einem typischen Bildschirm darstellt, wenn ein RGB-Tripel an die Grafikbibliothek von Microsoft Windows übergeben wird.

sRGB ist als Transformation aus XYZ, also *geräteunabhängig* definiert. Damit erfüllt es die wichtigste der postulierten Bedingungen. Es ist jedoch nicht *systemneutral*.² Es könnte sein, dass sRGB eine gewisse

² Die Annahme einer „typischen Grafikkarte“ und eines „typischen Bildschirms“ sind recht idealisierend. Kein System kann Farben korrekt wiedergeben, wenn das Ausgabegerät nicht regelmässig im Hinblick

Verbreitung finden wird, nachdem sich einige andere Standards (etwa CSS, eine Style-Sheet-Sprache für HTML) darauf beziehen.

Bezüglich des Problems mit der *Ausdrucksstärke* (ein Drucker/Plotter kann Farben ausgeben, denen kein Punkt im Farbraum entspricht) gilt im Prinzip dasselbe wie bei gerätespezifischem RGB.

Bezüglich der mangelnden *intuitiven Verständlichkeit* sind die Erwägungen für sRGB identisch mit jenen, die oben für RGB angestellt wurden. Dies könnte mit einer geeigneten Transformation, analog zu HLS oder HSV, behoben werden. Jedoch wird nachfolgend ein Farbraum beschrieben, der sich besser als sRGB für die Zwecke von INTERLIS eignet.

3.2.4 $L^*a^*b^*$

In der graphischen Branche recht verbreitet ist der Farbraum $L^*a^*b^*$ (manchmal auch CIELAB genannt), der über die in Abbildung 8 beschriebene Transformation aus XYZ ableitbar ist.

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \cdot f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* &= 500 \cdot \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \\ b^* &= 200 \cdot \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \end{aligned} \quad , \text{ wobei } f(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{x} & \text{falls } x > 0.008856; \\ 7.787x + \frac{16}{116} & \text{sonst} \end{cases}$$

Abbildung 8: Die Umrechnung von XYZ zu $L^*a^*b^*$. In die Berechnung fliesst mit $\langle X_n, Y_n, Z_n \rangle$ ein „Referenzweiss“ ein, um eine allfällige Färbung des Lichts zu kompensieren. Häufig werden die Werte von CIE-Standardlichtquellen (meist D50, gelegentlich D65) eingesetzt. Die XYZ-Koordinaten dieser Lichtquellen finden sich beispielsweise in [Sangwine/Horne, 1989], Tabelle 3.1.

Dieser Raum besitzt eine Reihe von nützlichen Eigenschaften:

- **Geräteunabhängigkeit** — $L^*a^*b^*$ ist von XYZ abgeleitet und hängt damit nicht von einem bestimmten Gerät ab. Es ist eindeutig definiert, welche Farbe zu einem $L^*a^*b^*$ -Tripel gehört.
- **Ausdrucksstärke** — Jeder Farbe, die eine reflektierende Fläche abgeben kann, ist in $L^*a^*b^*$ ein Punkt zugeordnet.
- **Intuitive Verständlichkeit** — L^* ist die Helligkeit, wobei eine vollkommen schwarze Fläche (die keinerlei Licht reflektiert) ein L^* von 0 und ein perfekter Reflektor (der alles Licht reflektiert) ein L^* von 100 besitzt. Ein menschlicher Betrachter empfindet eine Farbe mit $L^* = 50$ als mittlere Helligkeit. a^* ist die Rot-Grün-Achse: Farben mit $a^* = 0$ werden als weder rot noch grün empfunden, Farben mit negativem a^* sind rot, Farben mit positivem a^* grün. Analog ist b^* die Blau-Gelb-Achse. Je weiter eine Farbe in der durch a^* und b^* aufgespannten Ebene vom Nullpunkt entfernt ist, um so gesättigter ist sie.
- **Systemneutralität** — $L^*a^*b^*$ ist vollkommen systemneutral; als internationaler Standard ist der Farbraum unabhängig von einer bestimmten Firma.
- **Zunehmende Verbreitung** — $L^*a^*b^*$ findet im professionellen Druck zunehmende Verbreitung. Programme wie Adobe Photoshop unterstützen den $L^*a^*b^*$ -Farbraum.

auf seine Farbverzerrungen vermessen wird. Sollen diese Verzerrungen kompensiert werden, sind somit auch unter Betriebssystemen der Firma Microsoft Transformationen unvermeidlich.

- **Leichte Transformierbarkeit zu RGB** — $L^*a^*b^*$ -Tripel sind durch Multiplikation mit einer 3×3 -Matrix, gefolgt von einer Potenzierung (Gammakorrektur), die effizient mittels einer Tabelle erfolgen kann, in die RGB-Werte eines beliebigen Bildschirms transformierbar (vgl. [Adobe, 1992], Kapitel 23). Der Aufwand für Systemimplementierer ist somit sehr gering.
- **Gute Komprimierbarkeit** — Nur am Rande erwähnt sei, dass sich $L^*a^*b^*$ besser als RGB für verlustbehaftete Verfahren zum Komprimieren von Bildern eignet. Im Zusammenhang mit INTERLIS ist dies jedoch irrelevant.

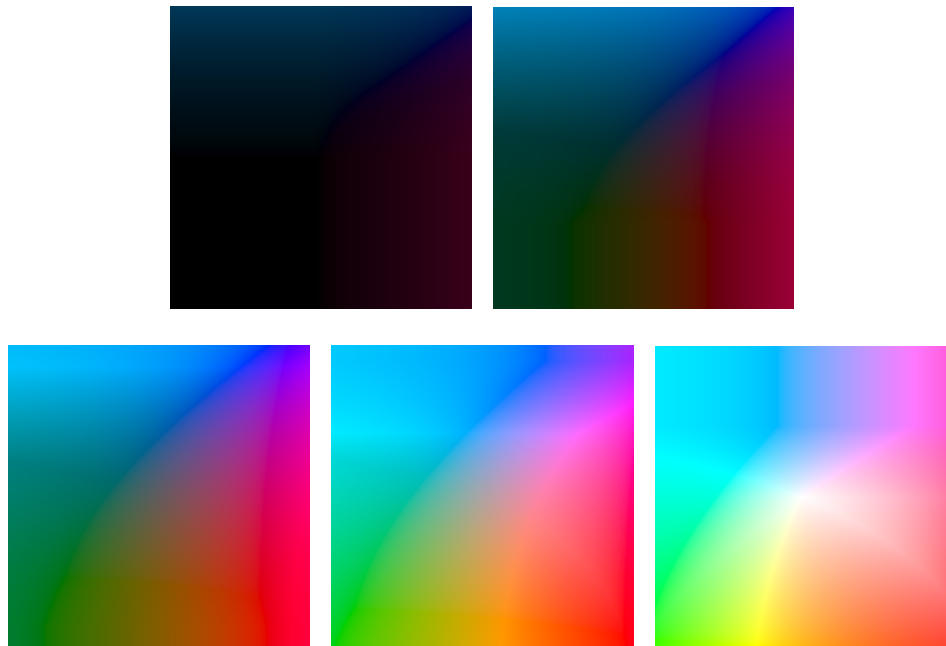


Abbildung 9: Schnitte durch den CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbraum bei $L^* = 0, 25, 50, 75$ und 100 . Die Werte für a^* (Grün-Rot-Achse; im Bild horizontal) und b^* (Blau-Gelb-Achse; im Bild vertikal) sind theoretisch unbeschränkt; im Bild reichen sie von -100 bis $+100$. Im Gegensatz zu RGB besitzen alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben eine Darstellung in CIE- $L^*a^*b^*$. Jedoch kann kein Gerät sämtliche Farben korrekt reproduzieren (so können auf Normalpapier mit Tinte oder Toner keine stark gesättigten Farben erzeugt werden), und entsprechend ist diese Abbildung nicht farbgetreu.

3.2.5 $L^*C_{ab}^*h_{ab}^*$

Wie oben beschrieben, entsprechen im $L^*a^*b^*$ -Raum die einzelnen Achsen L^* (dunkel — hell), a^* (grün — rot) und b^* (blau — gelb) unmittelbar wahrnehmbaren Eigenschaften der Farben.

Die intuitive Verständlichkeit kann jedoch noch gesteigert werden, wenn die Farbkordinaten nicht über ein kartesisches, sondern über ein polares System angegeben werden.

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad h_{ab}^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Abbildung 10: Umrechnung vom kartesischen $L^*a^*b^*$ -Raum in die polare Form $L^*C_{ab}^*h_{ab}^*$ (nach [Sangwine/Horne, 1998]).

Diese polare System verbindet die intuitive Verständlichkeit von HLS und HSV mit den oben beschriebenen zahlreichen Vorteilen von $L^*a^*b^*$, da nun die Achsen L^* (Helligkeit), C^* (Farbsättigung, engl. *Chroma*) und h^* (Farbton, engl. *hue*) separat verfügbar sind.

Aus diesem Grund wird in Kapitel 4 ein konkreter Vorschlag für INTERLIS-Farben auf der Basis dieses Koordinatensystems gemacht.

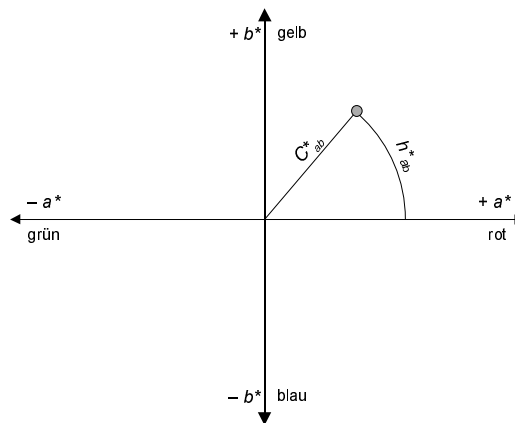


Abbildung 11: Der Farbraum $L^*C_{ab}^*h_{ab}^*$ arbeitet mit polaren Koordinaten auf $L^*a^*b^*$.

3.2.6 $L^*u^*v^*$

Die Definition von $L^*a^*b^*$ geht von einer Fläche aus, die passiv von einer Lichtquelle beleuchtet wird. Für selbstleuchtende Körper existiert ein anderer Farbraum namens $L^*u^*v^*$. Er ist ebenfalls als Transformation von XYZ definiert ist, wobei aber kein Referenzweiss benötigt wird. Analog zu $L^*C_{ab}^*h_{ab}^*$ existiert ein polarer Raum $L^*C_{uv}^*h_{uv}^*$.

$L^*a^*b^*$ scheint sich jedoch besser als $L^*u^*v^*$ für die hier diskutierte Anwendung zu eignen, da die INTERLIS-Graphiken am Schluss fast immer auf Papier gedruckt werden dürften. Dagegen wird es kaum je nötig sein, die Farbe von selbstleuchtenden Körpern in INTERLIS zu spezifizieren.

4 Konkreter Vorschlag für INTERLIS

4.1 Farbraum

Die untenstehenden Tabelle fasst die Eignung verschiedener Farbräume für die Anwendung in INTERLIS-Graphiken zusammen:

Farbraum	Geräte-unabhängigkeit	Ausdrucks-stärke	Intuitive Verständlichkeit	Systemneutralität
RGB	–	–	–	–
HLS	–	–	++	–
HSV	–	–	++	–
CMY(K)	–	–	–	–
XYZ	+	+	--	+
sRGB	+	–	–	–
$L^* a^* b^*$	+	+	+	+
$L^* C_{ab}^* h_{ab}^*$	+	+	++	+

Abbildung 12: Eignung verschiedener Farbräume für die Zwecke von INTERLIS.

Somit erfüllt der letzte der besprochenen Farbräume ($L^*a^*b^*$ mit Polarkoordinaten) die in Kapitel 1 postulierten Anforderungen am besten.

4.2 Nötige Genauigkeit

Teil eines INTERLIS-Modells ist die Angabe, mit welcher Genauigkeit numerische Grössen festzuhalten sind. Nun ist der $L^*a^*b^*$ -Raum so definiert, dass der Unterschied zwischen zwei Farben gerade noch wahrnehmbar ist, wenn der gemäss Abbildung 13 berechnete Wert gleich 1 ist.³

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Abbildung 13: Berechnung des Farbunterschieds im kartesischen $L^*a^*b^*$ -Raum.

4.2.1 Genauigkeit der L^* -Achse

Für die Helligkeit reicht damit eine Genauigkeit von einer Nachkommastelle aus.

³ [Has/Newman, o.D.] weist darauf hin, dass die Wahrnehmbarkeit von Farbunterschieden auch davon abhängt, wieviel Zeit zum Vergleich zur Verfügung steht. Der Artikel zitiert ein Experiment, bei dem gemessen wurde, wie lange ein unerfahrener Betrachter benötigt, bis er den Unterschied bemerkt. Es werden Zahlen von 5 Sekunden für $\Delta E_{ab} = 15$, 10 Sekunden für $\Delta E_{ab} = 10$ und 15 Sekunden für $\Delta E_{ab} = 5$ genannt.

4.2.2 Genauigkeit der C_{ab}^* - und h_{ab}^* -Achsen

Zwar sind a^* und b^* theoretisch unbeschränkt, aber in der Praxis werden Grenzen von ± 128 , auf ganze Zahlen gerundet, als mehr als ausreichend betrachtet (vgl. [Adobe, 1992]). Welche Genauigkeit sind damit für C_{ab}^* und h_{ab}^* nötig, damit die Ungenauigkeit in der a^*/b^* -Ebene nicht grösser als 1 wird?

Die durch die Winkelangabe eingeführte Ungenauigkeit steigt mit zunehmender Distanz vom Nullpunkt. Damit kann eine Genauigkeit als ausreichend erachtet werden, wenn $\langle 127, 128 \rangle$ und $\langle 128, 128 \rangle$ in der a^*/b^* -Ebene noch unterscheidbar sind. Wie aus Abbildung 14 ersichtlich ist, reicht für diesen extremen Fall eine Nachkommastelle aus.

a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}^*
127	128	180.3136156811	45.22468817962
128	128	181.0193359838	45

Abbildung 14: Kartesische und polare Koordinaten einer sehr weit vom Nullpunkt entfernten Farbe (zur Umrechnung vgl. Abb. 10). Es handelt sich um zwei gerade noch unterscheidbare Orangetöne, die allerdings so stark gesättigt sind, dass sie von kaum einem Gerät darstellbar sein dürften.

4.3 Kombination mit Namen

Wie in Kapitel 2 bereits angesprochen wurde, sind Farbnamen am einfachsten zu benutzen, besitzen aber den Nachteil, dass nur eine beschränkte Menge von Farben verwendet werden kann. In INTERLIS sind jedoch Namen mit einer numerischen Spezifikation verbindbar, so dass die Benutzer ihre eigenen Farbnamen definieren und untereinander mit den üblichen INTERLIS-Mitteln austauschen können.

Dies erfolgt durch die Definition einer Metatabelle. Instanzen von Metatabellen, sogenannte Meta-Objekte, werden in einer besonderen Transferdatei festgehalten und vom INTERLIS-Compiler eingelesen. Sie stehen für INTERLIS-Modelle zur Verfügung und können daher in Graphik-Definitionen benutzt werden, um beispielsweise die Farbe einer Signatur zu bestimmen.

```
!! Bestandteil des Symbollogiemodells
TOPIC Colors =
  TABLE LCh EXTENDS INTERLIS.METAOBJECT =
    !! Attribut „Name“ ererbt von INTERLIS.METAOBJECT
    Luminance = 0.0 .. 100.0;
    Chroma = 0.0 .. 181.1;
    Hue = 0.0 .. 359.9 CIRCULAR [DEGREE] COUNTERCLOCKWISE;
  END LCh;
END Colors;

!! Bestandteil des Graphikmodells
TABLE BunteSignatur EXTENDS SIGN =
  ...
PARAMETER
  Farbe: -> Symbollogiemodell.Colors.LCh;
END BunteSignatur;
```

4.4 Beispielwerte

Abbildung 15 nennt einige Farben mitsamt ihrer Koordinaten. Da dieses Dokument auf einem System geschrieben wurde, das nicht in der Lage ist, Farben korrekt wiederzugeben, muss an dieser Stelle leider darauf verzichtet werden, die Farben bunt darzustellen.

Name	L^*	a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}^*
Schwarz	0	0	0	0.0	0.0
Dunkelgrau	25	0	0	0.0	0.0
Mittelgrau	50	0	0	0.0	0.0
Hellgrau	75	0	0	0.0	0.0
Weiss	100	0	0	0.0	0.0
Fuchsiarot	40	70	0	70.0	0.0
Hellblau	80	0	-30	30	270.0
Sattes Gelb	90	0	100	100.0	90.0
Braun	50	30	50	58.3	59.0
Lila	50	50	-50	70.7	315.0

Abbildung 15: Kartesische und polare Koordinaten einiger Farben.

5 Literatur

[Adobe, 1992]

Adobe Developers Association: TIFF Revision 6.0. <http://partners.adobe.com/asn/developer/PDFS/TN/TIFF6.pdf>

*Kapitel 23 definiert eine Variante des TIFF-Formats für Bilder im L*a*b*-Farbraum und nennt eine Anzahl von Vorteilen gegenüber RGB. Ausserdem wird eine schnelle Methode zur Umrechnung von L*a*b* zu RGB skizziert.*

[Apple, 1998]

Apple Computer, Inc.: Introduction to Color and Color Management Systems. In: *Inside Macintosh — Managing Color with ColorSync*.

<http://developer.apple.com/techpubs/macos8/MultimediaGraphics/ColorSyncManager/ManagingColorWithColorSync/ColorSync.9.html>

Allgemein verständliche Einführung in verschiedene Farbräume, mit illustrativen Graphiken.

[Apple, o.D.]

Apple Computer, Inc.: A Brief Overview Of Color. <http://www.apple.com/colorysync/benefits/training/overview.html>

Sehr kurz gehaltene, allgemein verständliche Grobeinführung in verschiedene Konzepte im Zusammenhang mit Farben. An Laien gerichtet.

[Has/Newman, o.D.]

Michael Has, Todd Newman: Color Management: Current Practice and The Adoption of a New Standard. <http://www.color.org/wpaper1.html>

Nennt Messdaten für den Rot-, Grün- und Blaureferenzpunkt von zwei typischen Computermonitoren und zeigt, dass sie stark von den häufig zitierten xy-Werte der NTSC-Standard-Phosphorfarben abweichen. Gibt eine Transformation von XYZ zum RGB-Raum eines bestimmten Bildschirms an.

[ICC, 1996]

International Color Consortium: ICC Profile Format Specification. <http://www.color.org/profiles.html>

Definiert ein Datei-Format, mit dem beliebige Geräte im Hinblick auf ihre Farbwiedergabe charakterisiert werden können. Anhang A diskutiert verschiedene Farbräume.

[Poynton, 1997]

Charles A. Poynton: Frequently Asked Questions about Color. <ftp://ftp.inforamp.net/pub/users/poynton/doc/colour/ColorFAQ.pdf>

Begründet in Abschnitt 36, wieso sich HLS und HSV nicht zur Spezifikation von Farben eignen.

[Sangwine/Horne, 1998]

Sangwine, Stephen J. und Horne, Robin E. N. [Hrsg.]: The Colour Imaging Processing Handbook. Chapman & Hall: London [...], 1998. ISBN 0-412-80620-7. 440 Seiten.

Seriöse Einführung in die wissenschaftlichen Grundlagen der Farbwahrnehmung und deren Anwendungen im Bereich der Bildverarbeitung.

[Stokes et al., 1996]

Michael Stokes, Matthew Anderson, Srinivasan Chandrasekar und Ricardo Motta: A Standard Defalut Color Space for the Internet — sRGB. November 1996. <http://www.color.org/sRGB>

Spezifikation von sRGB.

6 Impressum

6.1 Beteiligte Autoren

Sascha Brawer (sb), Adasys AG, Kronenstrasse 38, 8006 Zürich, sb@adasys.ch

6.2 Entstehungsgeschichte dieses Dokuments

<i>Version</i>	<i>Datum</i>	<i>Wer</i>	<i>Was</i>
1.0	1999-12-30	sb	Erste Version