

Ein Web Service zur personalisierten Farbdarstellung in Karten

Jörg Steinrücken, Lutz Plümer
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Bereich Geoinformation
Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn
{steinruecken,pluemer}@igg.uni-bonn.de

Zusammenfassung

Raumbezogene Daten und Karten, die über standardisierte Schnittstellen (Web Map Service des Open Geospatial Consortiums) im World Wide Web verfügbar sind, ermöglichen es Nutzern, spontan Daten und Informationen aus einer oder mehreren Quellen zu kombinieren und eigene, auf individuelle Zwecke zugeschnittene, Karten zu erstellen. Aufgrund der nicht aufeinander abgestimmten graphischen Darstellung der Daten verschiedener Quellen, lassen diese Karten allerdings sehr häufig eine prägnante Darstellung vermissen.

Dieser Beitrag beschreibt einen Web Service, der die Erstellung prägnanter Karten durch die Bestimmung gut unterscheidbarer Farben unterstützt. Die Auswahl solcher Farben erfolgt in einem Optimierungsmodell durch die Maximierung der minimalen Distanz der Farben. Da dieses nichtlineare Problem durch einzelne Standardverfahren nicht effizient global optimal lösbar ist, wurde eine Methode entwickelt, die mehrere Standardverfahren und Lösungsparadigmen integriert.

Die Unterscheidbarkeit der errechneten Farben wird weiter verbessert, indem in der Problemformulierung nicht von einem Standardnutzer und Standardbedingungen ausgegangen wird, sondern personalisierte Randbedingungen, bspw. Farbsehschwächen eines Nutzers und die Qualität der Farbwiedergabe eines Anzeigegegeräts, berücksichtigt werden.

Abstract

Geospatial data and maps which are available in the World Wide Web via standardised interfaces (Web Map Service of the Open Geospatial Consortium) enable users to create spontaneously their own maps for individual purposes by combining data of different sources. In general, graphical representations of these sources are not harmonised and resulting maps do not meet the requirements of a concise cartographic product.

This paper describes a Web Service which supports the creation of concise maps by selecting well distinguishable colours. These colours are determined by formulating an optimisation problem which aims at maximising the minimal distance between colours. Since this nonlinear problem cannot be solved globally optimal by single optimisation methods in a short period of time, we developed a method which integrates several methods and solution paradigms.

The distinguishability of colours is further improved by incorporating constraints which characterise a specific user instead of standard users and standard conditions. Such personalised constraints are given by users' colour-defective vision, for example, or device specific colour reproduction.

1. Einleitung

Das Angebot an raumbezogenen Daten im World Wide Web (WWW) hat in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklung erfahren. Sehr häufig erfolgt die Bereitstellung dienst-basiert über standardisierte Web Map Services (WMS) des Open Geospatial Consortiums (OGC). Dies fügt sich in den allgemeinen Trend des Internets von einer reinen *Client-Server-Architektur* hin zu einer *Service-orientierten Architektur*, die durch eine prozessorientierte Sicht in Form von Diensten gekennzeichnet ist (vgl. Schill & Springer 2007). Dienste kapseln Funktionen und Daten und machen sie plattformunabhängig über veröffentlichte Schnittstellen in einem Netzwerk verfügbar (Dostal et al. 2005). In der konkreten Implementierung durch Web Services werden so Daten aus festen, meist für einen mensch-

lichen Nutzer bestimmten Kontexten gelöst und auch maschinellen Adressaten, z.B. anderen Diensten, zugänglich gemacht. Karten und Daten sind so nicht nur unabhängig von Ort und Zeit, sondern auch unabhängig von bestimmten Anwendungen zugreifbar und nutzbar. Ein beliebiger Nutzer wird so in die Lage versetzt, on demand Daten und Informationen aus einer oder mehreren Quellen zu kombinieren, zu integrieren und so eigene, auf individuelle Zwecke abgestimmte, Karten zu erstellen.

Ein Nachteil dieser Möglichkeiten wird sehr schnell offensichtlich: Die graphische Darstellung, die jedes Angebot mitbringt, ist isoliert von anderen Angeboten festgelegt; die ad-hoc-Kombination beliebiger Quellen führt damit in der Regel zu Karten, die den Anforderungen einer prägnanten kartographischen Gestaltung nicht genügen. Die wesentliche Ursache ist die Nicht-Unterscheidbarkeit der Farben verschiedener Quellen. Damit kommt der Auswahl geeigneter Farben die größte Bedeutung zu: Diese müssen so gewählt werden, dass sie sich für das menschliche Auge möglichst gut unterscheiden und so eine fehlerfrei Identifikation aller in der Karte enthaltenen Objekte gesichert ist (Abbildung 1). Die uneingeschränkte Nutzung von Farbe wird allerdings durch Randbedingungen beeinflusst, die von einem spezifischen Nutzer abhängen. Im Einzelnen sind dies Farbsehschwächen, Reproduktionseigenschaften digitaler Geräte und Umgebungsbedingungen (z.B. Innenräume oder helles Sonnenlicht).

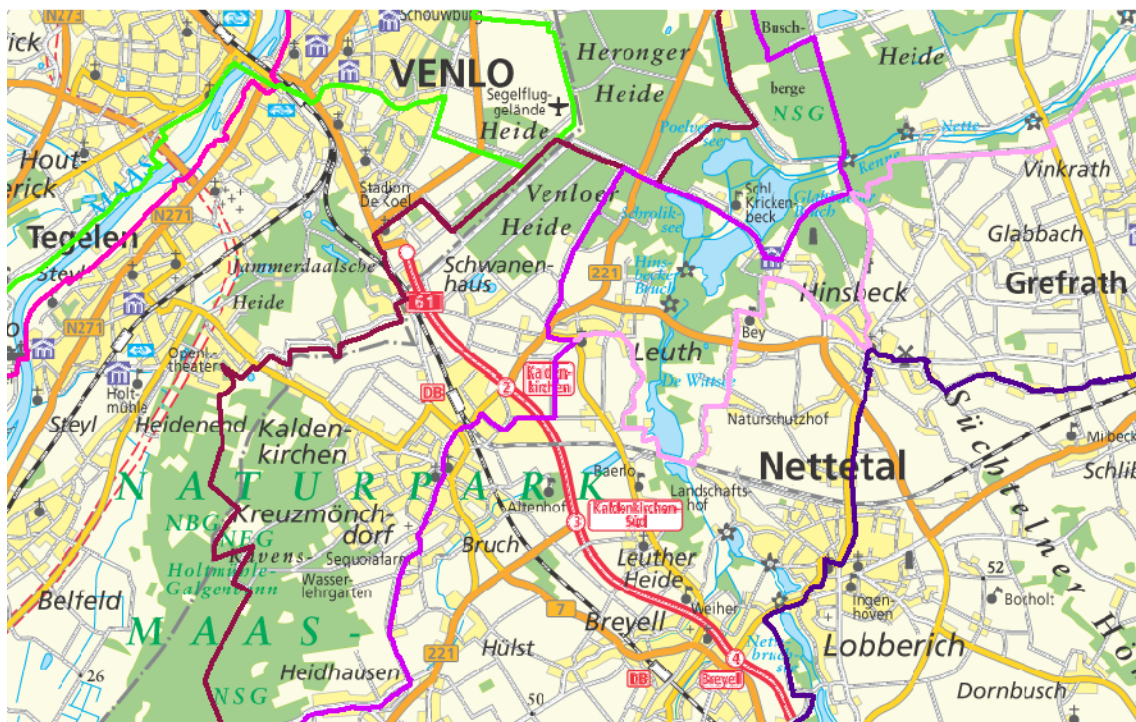


Abbildung 1: Überlagerung einer topographischen Karte mit Radwegen als Beispiel zur Integration raumbezogener Daten verschiedener Quellen

Dieser Beitrag beschreibt eine Möglichkeit, wie die Prägnanz ad hoc zusammengestellter Karten für die Darstellung auf Bildschirmen (Displays) durch die Auswahl gut unterscheidbarer, auf einen bestimmten Nutzer zugeschnittenen Farben sichergestellt werden kann. Dazu werden im folgenden Abschnitt zunächst die Möglichkeiten des Datenbezugs über Web Map Services umrissen. Abschnitt 3 skizziert die Einbindung dieser Dienste in eine Service-basierte Architektur zur Erstellung personalisierter Karten und beschreibt die darin genutzten Komponenten zur Personalisierung und zur Bestimmung gut unterscheidbarer Farben. Abschnitt 4 fasst die Ergebnisse zusammen.

2. Bezug von Geodaten über standardisierte Schnittstellen

Für die standardisierte Abfrage von raumbezogenen Daten in Form von Karten sind drei Spezifikationen des OGC von Bedeutung, die *OpenGIS Web Map Server Implementation Specification (WMS)*, die *Styled Layer Descriptor Profile of the Web Map Service Implementation Specification (SLD-WMS)* und die *Symbology Encoding Implementation Specification (SE)*.

Der WMS bezeichnet den OGC-Dienst zur Visualisierung raumbezogener Daten. Ein WMS erzeugt auf Anfrage eines Clients aus raumbezogenen Daten eine georeferenzierte Karte in Form einer Bilddatei. Im überwiegenden Teil der Fälle werden diese Bilder als Rastergraphiken (z.B. *.jpg, *.gif, *.png) zurückgegeben, Vektorgraphiken (z.B. Scalable Vector Graphics - SVG) sind ebenfalls möglich, allerdings nicht sehr weit verbreitet. Die Spezifikation liegt aktuell in der Version 1.3.0 vor (de La Beaujardiere 2006).

Die Abfrage eines WMS erfolgt über das HTTP-Protokoll (Fielding et al. 1999). Der Service wird durch eine URL (Berners-Lee et al. 2005) adressiert, bestimmte Operationen und damit die abzufragende Datenquelle, bzw. Ausschnitte daraus, durch Parameter-Wert-Paare (`key=value`) im Query-Teil der URL angegeben. Einzelne Paare werden durch „&“ getrennt. Die Parameter, die für Anfragen zur Verfügung stehen, werden durch den WMS-Standard definiert.

Die Operation zur Abfrage eines Kartenbildes ist durch „GetMap“ gegeben. Ein Beispiel ist:

```
http://www.example.net:8080/PfadZurKarte?  
VERSION=1.3.0&  
REQUEST=GetMap&  
CRS=CRS:84&  
BBOX=-95.15,21.534,-77.987,45.712&  
WIDTH=540&  
HEIGHT=320&  
LAYERS=Layer1&  
STYLES=&  
FORMAT=image/png.
```

Der Query-Teil der Anfrage (nach dem „?“) enthält neben der Version des Standards („VERSION“), nach dem die Anfrage formuliert wurde, die Art der Anfrage („REQUEST“), das gewünschte Referenzsystem („CRS“), die linke untere und rechte obere Ecke der angefragten Karte in Koordinaten des Referenzsystems („BBOX“), die Breite und Höhe des Kartenbildes in Pixeln („WIDTH“, „HEIGHT“), die gewünschten thematischen Ebenen („LAYERS“), zugehörige Style-Informationen („STYLES“) und das gewünschte Graphikformat („FORMAT“).

Die Werte derjenigen Parameter, die Informationen über die durch einen WMS verfügbaren Daten erfordern (CRS, LAYERS, STYLES, FORMAT) können von einem Nutzer durch die Abfrage von Metadaten mit Hilfe der Operation „GetCapabilities“ erhalten werden.

Ein WMS bietet allerdings nur rudimentäre Möglichkeiten, die ausgegebenen Kartenbilder in ihrer graphischen Darstellung zu beeinflussen: Über den Parameter STYLES können lediglich Layoutanweisungen angefordert werden, die vom WMS selbst zur Verfügung gestellt werden. Damit bleibt es dem jeweiligen Betreiber vorbehalten, die Darstellungsweise seiner Daten festzulegen. Hinzu kommt, dass sich so nur die Erscheinungsweise ganzer Datensätze bzw. Layer bestimmen lässt.

Die *Styled Layer Descriptor Profile of the Web Map Service Implementation Specification* beschreibt die Erweiterung der WMS-Schnittstelle um die Möglichkeit, beliebige Darstellungsanweisungen von Seiten eines Nutzers an den WMS zu übergeben. Die Darstellungsanweisungen liegen dabei als Symbology Encoding (SE) vor. Zur Übergabe von SE-Anweisungen werden die Parameter „SLD_BODY“

und „SLD“ genutzt. Ersterer enthält eine SE-Zeichenkette als Wert, letzterer eine URL auf ein SE-Dokument im WWW. Die aktuelle Version der SLD-WMS Spezifikation ist 1.1.0 (Lupp 2007).

Die *Symbology Encoding Implementation Specification* (SE) beschreibt eine XML-Anwendung zur Definition von Darstellungsanweisungen für raumbezogene Daten. SE liegt derzeit in der Version 1.1.0 vor (Müller 2006). Die Angabe von Style-Anweisungen kann für einzelne Objektklassen oder in Abhängigkeit von bestimmten Eigenschaften für ein oder mehrere Features erfolgen, indem Darstellungsregeln definiert werden. Die möglichen Regeln setzen im Kern die graphischen Variationsmöglichkeiten für Punkte, Linien und Flächen (vgl. Bertin 1974, MacEachren 1995) um:

- *Point Symbolizer* ordnen einem punkthaften Objekt ein Symbol (Graphic) zu. Eine Graphic kann entweder durch SE konfiguriert werden (Mark) oder als externe Graphikdatei durch einen Verweis referenziert werden. Während es sich bei ersteren um einfache geometrische Figuren (Quadrate, Kreise, ...) mit spezifischen Eigenschaften (Begrenzung, Füllung) handelt, können letztere beliebig komplex sein. Weiterhin lassen sich Eigenschaften wie Größe und Richtung angeben.
- *Line Symbolizer* werden genutzt, um linienhafte Geometrien darzustellen. Beeinflussbar sind beispielsweise Linieneigenschaften wie Farbe, Stärke und Strichlierungen. Durch die Angabe einer Graphic (vgl. Point Symbolizer) ist eine Linie durch beliebige Signaturen darstellbar.
- *Polygon Symbolizer* visualisieren flächenhafte Geometrien. Beeinflussbar sind dabei die Begrenzungslinie und die Füllung. Festlegungen für die Linien sind durch den Line Symbolizer gegeben. Füllungen können einfarbig sein oder ebenfalls durch eine Graphic (vgl. Point Symbolizer) bestimmt werden.
- *Text Symbolizer* legen die Darstellung von Beschriftungen fest. Mögliche Parameter sind beispielsweise Schriftart, Schriftgröße oder die Platzierung der Schrift.

3. Personalisierung der Farbdarstellung

Im WWW sind eine Vielzahl von Ressourcen verfügbar, die unter Nutzung der im letzten Abschnitt beschriebenen Schnittstelle raumbezogene Daten frei zugänglich machen. Der Umfang einer Datenquelle kann dabei von einzelnen Objekten einer bestimmten Thematik bis hin zu kompletten topographischen Karten reichen. Die Kombination dieser Quellen erlaubt ad hoc die Erstellung von Karten für bestimmte Zwecke. Als Beispiel für die nachstehenden Ausführungen diene folgendes Szenario (vgl. auch Abbildung 1): Eine topographische Karte, die bereits verschiedene Farben enthält, soll durch die Überlagerung mit linienhaften Objekten (Radwegen) in ihrem Informationsumfang erweitert werden. Verschiedene Radwege sind dabei thematisch ausgezeichnet und müssen voneinander unterschieden werden. Die topographische Karte ist über einen SLD-WMS verfügbar, kann aber – da es sich um eine bereits vorgefertigte Karte in Form von Rasterdaten handelt – in ihrer Darstellung nicht ohne weiteres geändert werden. Die Radwege sind ebenfalls über einen SLD-WMS verfügbar und – da es sich um raumbezogene Objekte handelt – in ihrer Darstellung von außen beeinflussbar. Ziel ist es, die Radwege so darzustellen, dass sich ein möglichst prägnantes Kartenbild ergibt, d.h. dass sowohl die Radwege vom Inhalt der topographischen Karte, als auch die Radwege untereinander visuell gut unterscheidbar sind. Als Darstellungsmöglichkeiten stehen die bekannten grafischen Variablen (Bertin 1974, MacEachren 1995), zur Verfügung; diese werden durch die im letzten Abschnitt genannten Line Symbolizer umgesetzt.

Für die Darstellung linienhafter raumbezogener Objekte werden die Variablen „Größe“, „Form“ und die drei Dimensionen der Farbe („Farbton“, „Sättigung“, „Helligkeit“) als praktisch einsetzbar erachtet; die geforderte gute Unterscheidbarkeit wird primär durch den Einsatz visuell gut unterscheidbarer Farben, die nominale Unterscheidung von Objekten im Wesentlichen durch den Farbton erreicht. Die

zers geladen wird (1). Dieser Web Map Client bietet Werkzeuge zur komfortablen Abfrage und Kombination von Datenquellen. Ein Nutzer gibt dort die URLs ein, von denen er Daten beziehen möchte. Weiterhin bietet der Web Map Client eine Eingabemöglichkeit für den Namen, der einen Nutzer im Personalisierungsserver eindeutig identifiziert. Diese Angaben werden an den Server gesandt (2), der dann als Proxy zur Abfrage des Personalisierungsservers dient. Im ersten Schritt werden die Nutzereingaben an die Personalisierung weitergereicht (3) und können durch den Nutzernamen eindeutig einer registrierten Person zugeordnet werden. Vom Personalisierungsserver werden die URLs der Datenquellen angefragt und GetCapabilities-Dokumente und Beispieldaten bezogen (4), die dann auf ihre Farbdarstellung hin analysiert werden (5). Diese Analyse erfolgt durch ein Open-Source-Graphikprogramm (ImageMagick, www.imagemagick.org). Im nächsten Schritt werden dann unter Berücksichtigung der persönlichen visuellen und technischen Eigenschaften eines Nutzers die benötigten gut unterscheidbaren Farben berechnet (5). Weitere Ausführungen dieser Berechnung erfolgen im Abschnitt 3.3. Die erhaltenen Farben werden zusammen mit anderen Variablenwerten (z.B. der Größe der Objekte) in Darstellungsvorschriften in Form von SE-Dokumenten umgesetzt und im Personalisierungsserver gespeichert. Der Proxy erhält als Rückgabe die URLs auf diese Dokumente (6), die er seinerseits an den Web Map Client weiterreicht (7). Von dort werden dann die gewünschten WMS angefragt (8). Die Anfragen enthalten im Parameter SLD die URLs der SE-Dokumente. Der WMS bezieht diese Dokumente (9), wendet sie auf die Kartendarstellung an und sendet das Kartenbild zurück an den Web Map Client (10).

Einen ähnlichen Ablauf beschreiben Chesneau et al. (Chesneau et al. 2005) für die automatische Verbesserung des Farbkontrasts von Risiko-Karten. Der Anwendungs- und Umsetzungskontext ist dabei allerdings nicht durch das WWW, sondern durch ein Geoinformationssystem gegeben; personalisierte Daten werden nicht einbezogen. Weiterhin nutzen Chesneau et al. Farben aus einem wissensbasierten System, während der hier vorgestellte Ansatz die Lösung eines Optimierungsproblems zum Ziel hat (vgl. Abschnitt 3.3).

3.2 Erstellung und Speicherung von Nutzerprofilen

Die Personalisierung stellt Funktionen zur Verfügung, um nutzerspezifische Eigenschaften zu erfassen, vorzuhalten und in eine Kartendarstellung einzubringen. Dies erfolgt – wie im WWW allgemein üblich – durch die Einrichtung von Nutzerprofilen. Ein Nutzer erstellt ein solches Profil, indem er sich zunächst durch die Angabe eines anonymisierten Benutzernamens (nicht Vor- und Nachname) einer E-Mail-Adresse und eines Passwortes registriert. Des Weiteren müssen dann Informationen über Seh- und Geräteeigenschaften erfasst werden.

Sehschwäche: Im einfachsten Fall ist dem Nutzer seine Farbsehschwäche bekannt und kann direkt angegeben werden. Als Alternative bzw. zur Verifikation werden über das WWW einfache Tests auf Farbsehschwäche durchgeführt. Die Eignung derartiger Online-Tests wurde für Siebttests des Farbsehens bestätigt (Kuchenbecker et al. 2007).

Geräteprofile: Ein Nutzer hat die Möglichkeit, Darstellungseigenschaften für verschiedene Anzeigegeräte anzugeben (z.B. stationärer Bildschirm, Notebookdisplay, Personal Digital Assistant). Im einfachsten Fall ist ein solches Gerät durch professionelle Werkzeuge kalibriert (Werkzeuge und Vorgehen bspw. in Fraser et al. (Fraser et al. 2005)); dies muss durch den Nutzer angegeben werden. Ist keine Kalibrierung erfolgt, wird dem Nutzer zur Installation eines Programms zur visuellen Kalibrierung geraten. Eine solche Kalibrierung beeinflusst die Farbdarstellung durch eine Justierung der Gamma-Einstellungen (vgl. Fraser et al. 2005). Die Farbdarstellung wird durch die Anzeige von Testgrafiken überprüft, indem vom Nutzer Angaben zur Erkennbarkeit der darin enthaltenen Farben und

Graustufen gefordert werden. Auf diese Weise ist zumindest eine annähernde Einschätzung der Darstellungsmöglichkeiten des Bildschirms gegeben.

Für die Nutzung der personalisierten Informationen ist der Zugriff darauf von besonderer Bedeutung: Die Daten müssen einerseits sicher vor unbefugtem Zugriff, andererseits aber möglichst ohne große Hürden für die Kartenerstellung verfügbar sein. Dies kann in einem zweistufigen System erfolgen. Für die beliebige Abfrage der Daten zu Seh- und Geräteeigenschaften und deren Nutzung bei der Kartengenerierung genügt die Angabe des Nutzernamens. Diese Daten sind für jedermann zugänglich, bleiben aber nach außen anonymisiert. Der explizite lesende und schreibende Zugriff auf alle Daten des Nutzerprofils ist dagegen erst nach einem expliziten Login mit Benutzernamen und Passwort möglich.

3.3 Auswahl gut unterscheidbarer Farben

Die Bestimmung der benötigten gut unterscheidbaren Farben ist als Optimierungsproblem formulierbar und durch mathematische Methoden lösbar. Dies erfordert eine objektivierte Beschreibung des subjektiven Vorgangs der Farbwahrnehmung in einem Bezugssystem (Farbraum), auf dem eine geeignete, der menschlichen Wahrnehmung entsprechende Metrik definiert ist. Die üblicherweise zur Reproduktion von Farben auf Bildschirmen genutzten RGB-Farbräume bieten diese Eigenschaft nicht: Farben, die rechnerisch den gleichen Abstand besitzen, werden vom menschlichen Auge nicht als visuell gleichabständig angesehen. Ein annähernd visuell gleichabständiges System steht mit dem CIE-LUV-Farbraum zur Verfügung; der Abstand von Farben ist darin durch die Euklidische Distanz definiert (Wysecki & Stiles 1982). Farben, die einen Abstand von mindestens 45 Längeneinheiten besitzen, können als gut unterscheidbar angesehen werden (Nagy et al. 1990). Das Optimierungsproblem besteht dann darin, die minimale Distanz im CIELUV-Farbraum zu maximieren. Ein solches Problem wird als MAXMIN- oder MAXIMIN-Problem bezeichnet (z.B. Erkut & Neuman 1989); für die Anwendung auf Farben lässt es sich wie folgt formulieren:

Gegeben ist eine Menge F von m Farben mit ihren Farborten. Jeder Farbort ist durch Farbwerte in einem gebräuchlichen dreidimensionalen Farbraum (Anwendungsfarbraum) festgelegt und nicht änderbar.

Gesucht ist eine Menge X von n Farben. Der minimale Abstand jedes Farbortes aus X soll sowohl zu jedem anderen Farbort aus X als auch zu jedem Farbort aus F in einem gleichabständigen Farbraum (Optimierungsfarbraum) maximal werden.

Unter der Annahme, dass als Anwendungsfarbraum der auf digitalen Geräten am weitesten verbreitete Standard-RGB-Raum (sRGB, Simon 2008) und als Optimierungsfarbraum CIELUV genutzt wird, ergibt sich der in Abbildung 3 dargestellte Ablauf.

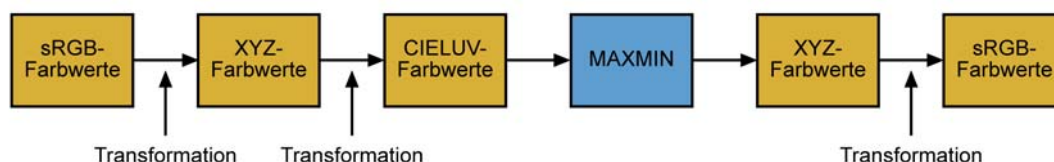


Abbildung 3: Ablaufdiagramm der Berechnung von Farben mit maximaler Distanz im sRGB

Die für die Optimierung verfügbaren Farben sind dann in dem dreidimensionalen Körper zu suchen, der durch die Transformation des sRGB-Würfels in den CIELUV-Raum entsteht (Abbildung 4, links). Die Abbildung zeigt rechts anhand der Triangulation der konvexen Hülle des Körpers, dass sich dieser annähernd als konvexes Polyeder durch den Schnitt von Hyperebenen bzw. Halbräumen der Form

$$\{x \mid a^T x \leq b\} \text{ mit } a \in \mathbb{R}^n, a \neq 0 \text{ und } b \in \mathbb{R}$$

beschreiben lässt.

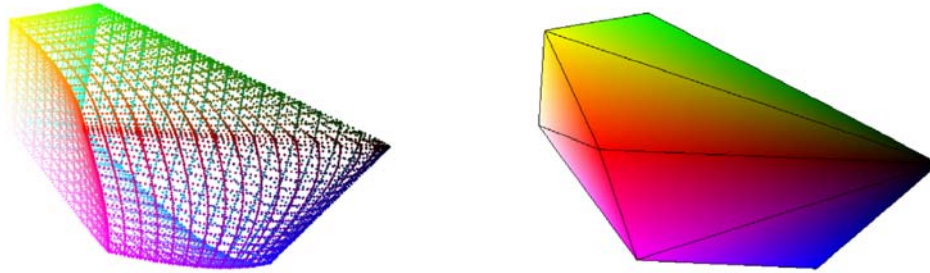


Abbildung 4: Transformation des sRGB-Würfels in den CIELUV-Farbraum: Darstellung des Farbkörpers (links) und Annäherung durch ein Polyeder (rechts)

In der Notation der Mathematischen Optimierung wird das Problem MAXMIN formuliert durch¹:

$$\begin{aligned} \text{MAXMIN} \quad & \text{maximiere} \quad \min \left(\|X_i, Y_j\|_2 \right), \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m + n, j > i \\ \text{u. d. Nb.} \quad & a_k^T X_i \leq b_k, \quad i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 9. \end{aligned}$$

Darin bezeichnet $Y = (X, F)$ die Gesamtmenge der gesuchten und der vorab gegebenen Farben, jede Farbe Y_j wird durch ihre Koordinaten L_j, u_j, v_j im CIELUV-Farbraum repräsentiert. $\| \cdot \|_2$ bezeichnet die Euklidische Distanz zweier Punkte:

$$\|X_i, Y_j\|_2 = \sqrt{(L_j - L_i)^2 + (u_j - u_i)^2 + (v_j - v_i)^2}.$$

Das Farbraum-Polyeder ist als Schnitt von 9 Halbräumen modellierbar.

Ähnliche Probleme wurden bereits in früheren Arbeiten betrachtet (Carter & Carter 1982, Campadelli et al. 1999, Glasbey et al. 2007). Dabei war in allen Fällen die Menge F der gegebenen Farben leer, d.h. es wurde lediglich ein Anzahl gut untereinander differenzierbarer Farben gesucht. Weiterhin wurden in verschiedene Arbeiten unterschiedliche Lösungsmethoden genutzt, eine Lösung on demand war in keinem Fall das Ziel.

Letzteres ist hier die Herausforderung, die Bestimmung einer Lösung innerhalb des Zeitraums einer Kartenabfrage im WWW: Es handelt sich bei dem Problem MAXMIN um ein nichtlineares Problem, das durch eine Vielzahl lokal optimaler Lösungen gekennzeichnet ist. Klassische gradientenbasierte Verfahren berechnen zwar effizient eine lokale, in der Regel aber nicht die global optimale Lösung. Probleme der globalen Optimierung sind im Allgemeinen schwer lösbar (NP-vollständig).

Zur Bestimmung einer Lösung on demand wurde deshalb ein Verfahren entwickelt, das in drei Schritten mehrere Standardverfahren und Lösungsparadigmen integriert. Diese Schritte lassen sich in Kürze beschreiben als „Bestimmung von Startpunkten“, „Verbesserung der Lage der Startpunkte“ und „Detektion suboptimaler Lösungen“.

Der erste Schritt basiert auf der Beobachtung, dass sich Punkte auf dem Rand des Farbraumpolyeders (vgl. Abbildung 4 rechts) sehr gut als Startpunkte eignen. Dementsprechend werden im ersten Schritt zunächst zufallsbasiert n Punkte auf dem Rand platziert und nachfolgend so auf diesem bewegt, das

¹ Eine detaillierte Beschreibung der Formulierung und Notation von Optimierungsmodellen wird bspw. in Boyd & Vandenberghe (Boyd & Vandenberghe 2006) gegeben.

ihre minimale Distanz untereinander, bzw. zu den bereits gegebenen Farben, maximiert wird. Die so gefundenen Punkte dienen im zweiten Schritt als Startpunkte für ein Verfahren der Sequentiellen Quadratischen Optimierung (SQP-Verfahren, Fletcher 1987), einem lokalen Optimierungsverfahren, das eine lokale Lösung des oben formulierten MAXMIN-Problems findet. SQP-Verfahren gelten als sehr leistungsfähig für die Lösung allgemeiner nichtlinearer Probleme (Hock & Schittkowski 1983). Im letzten Schritt wird ein dreidimensionales Voronoi-Diagramm (Okabe et al. 2000) genutzt, um suboptimale Lösungen und mögliche Verbesserungen zu detektieren. Auf Basis des Voronoi-Diagramms wird die „größte leere Kugel“ berechnet (vgl. Toussaint 1983), d.h. diejenige größte Kugel, deren Mittelpunkt innerhalb des Farbraums liegt und die keine andere der gegebenen und gesuchten Farben enthält. Falls der Radius dieser Kugel größer ist als die bisher berechnete minimale Distanz, ist eine suboptimale Lösung gefunden und die am schlechtesten platzierte Farbe wird durch den Kugelmittelpunkt ersetzt. Insgesamt wird so eine gute lokale Lösung innerhalb weniger Sekunden erreicht. Das detaillierte Vorgehen ist beschrieben in Steinruecken (Steinruecken 2009).

Die personalisierten Daten eines Nutzers werden in Form von Nebenbedingungen im Optimierungsproblem berücksichtigt. In ihrer Auswirkung führen diese Bedingungen zu einer Einschränkung des verfügbaren Farbraums. Ebenso lassen sich weitere kartographische Gestaltungsanforderungen, bspw. die Bestimmung einer Farbpalette, die lediglich in einer Dimension des Farbraums variiert, in Form von Nebenbedingungen integrieren.

4. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein Web Service beschrieben, der einen Nutzer bei der Erstellung prägnanter Karten aus Daten verschiedener Quellen unterstützt, indem Farben bestimmt werden, die eine gute Unterscheidbarkeit aller in der Karte enthaltenen Objekte sicherstellen. Die Bestimmung solcher Farben erfolgt durch die Formulierung eines Optimierungsproblems, das die Maximierung der minimalen Distanz zwischen allen Farben zum Ziel hat (MAXMIN-Problem). Die Darstellungsmöglichkeiten und Seheigenschaften eines Nutzers sind in Nutzerprofilen gespeichert und fließen als Nebenbedingungen in das Optimierungsmodell ein. Die Schwierigkeit des Problems besteht in einer Lösung on demand. In diesem Beitrag wurde eine dreistufige Methode vorgestellt, die aus einer zufallsbasierten Bestimmung von Startpunkten, einer lokalen Optimierungsmethode und einem globalen geometrischen Algorithmus besteht. Diese Methode ermöglicht die Bestimmung einer guten lokalen Lösung on demand. Ein beispielhaftes Ergebnis wurde in Abbildung 1 dargestellt.

Der beschriebene Web Service wurde prototypisch implementiert und ist über <http://colour.ikg.uni-bonn.de> erreichbar. Für die Erstellung von Karten steht dort auch ein geeigneter Web Map Client zur Verfügung.

Literatur

Berners-Lee, Tim; Fielding, Roy T.; Masinter, Larry (2005): Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax (RFC 3986). (RFC, 3986). Online verfügbar unter <http://gbiv.com/protocols/uri/rfc/rfc3986.html>.

Bertin, Jacques (1974): Graphische Semiologie. Diagramme Netze Karten. de Gruyter, Berlin.

Boyd, Stephen; Vandenberghe, Lieven (2006): Convex Optimization. Cambridge University Press, Cambridge.

Campadelli, Paola; Posenato, Roberto; Schettini, Raimondo (1999): An algorithm for the selection of high-contrast color sets. In: Color Research & Application, Jg. 24, H. 2, S. 132–138.

- Carter, Robert C.; Carter, Ellen C.* (1982): High-contrast sets of colors. In: *Applied Optics*, Jg. 21, H. 16, S. 2936–2939.
- Chesneau, E.; Ruas, A.; Bonin, O.* (2005): Colour Contrasts Analysis for a better Legibility of Graphic Signs on Risk Maps, La Corogne, Espagne (Actes de conférences de l'Association de Cartographie Internationale (ICC' 2005)).
- Dostal, Wolfgang; Jeckle, Mario; Melzer, Ingo; Zengler, Barbara* (2005): *Service-orientierte Architekturen mit Web Services. Konzepte - Standards - Praxis.* Elsevier, München.
- Erkut, Erhan; Neuman, Susan* (1989): Analytical models for locating undesirable facilities. In: *European Journal of Operational Research*, Jg. 40, H. 3, S. 275–291.
- Fielding, Roy T.; Gettys, Jim; Mogul, J C; Frystyk, H; Masinter, Larry; Leach, P.; Berners-Lee, Tim* (1999): Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1. (RFC, 2616). Online verfügbar unter <http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>.
- Fletcher, Roger* (1987): *Practical Methods of Optimization.* 2. Aufl. John Wiley & Sons, Inc.; Wiley & Sons, Chichester (A Wiley-Interscience publication).
- Fraser, Bruce; Murphy, Chris; Bunting, Fred* (2005): *Color Management. Industrial-Strength Production Techniques.* 2. Aufl. Peachpit Press, Berkeley.
- Glasbey, Chris; van der Heijden, Gerie; Toh, Vivian F. K.; Gray, Alison* (2007): Colour displays for categorical images. In: *Color Research & Application*, Jg. 32, H. 4, S. 304–309.
- Hock, W.; Schittkowski, Klaus* (1983): A comparative performance evaluation of 27 nonlinear programming codes. In: *Computing*, Jg. 30, H. 4, S. 335–358.
- Kuchenbecker, J.; Röhl, F. W.; Wesselburg, A.; Bernarding, J.; Behrens-Baumann, W.* (2007): Untersuchungen zur Validität eines webbasierten Farbsehtests für Screeninguntersuchungen des Farbsehens. In: *Der Ophthalmologe*, Jg. 104, H. 1, S. 47–53.
- La Beaujardiere, Jeff de* (2006): *OpenGIS Web Map Server Implementation Specification.* Open Geospatial Consortium. (OpenGIS Implementation Specification, OGC 06-042). Online verfügbar unter <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.
- Lupp, Markus* (2007): *Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification.* Open Geospatial Consortium. (OpenGIS Implementation Specification, OGC 05-078r4). Online verfügbar unter <http://www.opengeospatial.org/standards/sld>.
- MacEachren, Alan M.* (1995): *How Maps Work, Representation, Visualization, and Design.* Guilford Press, New York.
- Müller, Markus* (2006): *Symbology Encoding Implementation Specification.* Open Geospatial Consortium. (OpenGIS Implementation Specification, OGC 05-077r4).
- Nagy, Allen L.; Sanchez, Robert R.; Hughes, Thomas C.* (1990): Visual search for color differences with foveal and peripheral vision. In: *Journal of the Optical Society of America A*, Jg. 7, H. 10, S. 1995–2001.
- Okabe, Atsuyuki; Sugihara, Kokichi; Nok Chiu, S.* (2000): *Spatial Tessellations. Concepts and applications of Voronoi diagrams.* 2. ed. John Wiley & Sons, Inc., Chichester.
- Schill, Alexander; Springer, Thomas* (2007): *Verteilte Systeme. Grundlagen und Basistechnologien.* Springer, Berlin Heidelberg.

Schläpfer, Kurt (1993): Farbmeterik in der Reproduktionstechnik und im Mehrfarbendruck. 2. Aufl. UGRA - Verein zur Förderung wissenschaftlicher Untersuchungen in der grafischen Industrie, St. Gallen.

Schumann, Heidrun; Müller, Wolfgang (2000): Visualisierung. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Simon, Klaus (2008): Farbe im Digitalen Publizieren. Konzepte der digitalen Farbwiedergabe für Office, Design und Software. Springer, Berlin Heidelberg.

Steinrücken, Jörg (2009): Automatisierte Erzeugung personalisierter ad-hoc-Karten in einem Servicebasierten GIS (Mapping on Demand). Dissertation, Universität Bonn. <http://www.ikg.uni-bonn.de/publikationen/dissertationen.html>

Toussaint, Godfried T. (1983): Computing largest empty circles with location constraints. In: International Journal of Parallel Programming, Jg. 12, H. 5, S. 347–358.

Wyszecki, Günther; Stiles, W. S. (1982): Color Science. Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. 2. Aufl. John Wiley & Sons, Inc., New York.