

HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG

BACHELORARBEIT

Weiterentwicklung von
OpenStreetMap-Farbschemata für Nutzer
mit Farbsinnstörungen

Autor:
Johannes KRÖGER

Betreuender Prüfer:
Prof. Dr.-Ing. Jochen SCHIEWE
Zweitprüferin:
Mag. rer. nat. Beate WENINGER

28. Oktober 2012

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die farbliche Darstellung von Straßenklassen in der Karte von OpenStreetMap.org auf ihre Eignung für Menschen mit Farbsinnstörungen untersucht. Ein verbessertes Farbschema wird präsentiert.

Farbsinnstörungen werden erklärt und die resultierenden Probleme in der Kartografie sowie entsprechende Lösungsansätze vorgestellt. Um Betroffenen eine erfolgreichere Identifikation und Unterscheidbarkeit der Straßenklassen zu ermöglichen, wird das bestehende Farbschema der OpenStreetMap.org-Karte verändert. Testaufgaben werden entwickelt, um die Eignung beider Farbschemata mit Betroffenen prüfen zu können. Die Durchführung einer öffentlichen Onlineumfrage wird beschrieben, anschließend werden die Ergebnisse vorgestellt.

Erklärung (§23(4) PSO)

Ich versichere, dass ich diese Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den

Johannes Kröger

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	Gliederung	2
2	Die menschliche Farbwahrnehmung und Farbsinnstörungen	3
2.1	Die menschliche Farbwahrnehmung	3
2.2	Farbsinnstörungen	4
2.3	Simulation von Farbsinnstörungen	4
2.4	Hilfsmittel für Betroffene	6
3	Farben in der Kartografie	7
3.1	Farbmodelle	7
3.1.1	RGB	7
3.1.2	HSL	7
3.2	Kartografische Farbschemata	8
3.3	Wechselwirkungen in der Farbwahrnehmung	9
3.4	Resultierende Probleme und Lösungsansätze bei Farbsinnstörungen	10
4	Das OpenStreetMap-Projekt	12
4.1	OpenStreetMap	12
4.2	Datenstruktur und allgemeine Klassifikationsregeln	12
4.3	Klassifikation von Straßen	13
5	Untersuchung der OpenStreetMap.org-Karte	15
5.1	Die OpenStreetMap.org-Karte	15
5.2	Visuelle Beschreibung des Kartenstils	16
5.3	Mapnik	17
5.4	Renderregeln der Straßen in osm.xml	18
5.5	Untersuchung des Kartenstils auf Probleme für Betroffene	19
6	Erarbeitung verbesserter Farben	23
6.1	Zielsetzung	23
6.2	Möglichkeiten der Farbänderung	23
6.3	Arbeitsumgebung	24
6.4	Farbfindungsprozess	25
6.5	Das neue Farbschema	27
7	Test der Farbschemata	29
7.1	Allgemeine Hypothesen	29
7.2	Testdesign	29
7.3	Entwurf der Testaufgaben	32
7.4	Demografische Fragen	34
7.5	Die verwendete Legende	35

7.6	Verwendete Kartenbilder	36
7.6.1	Direkte Identifikation einzelner Straßensegmente	36
7.6.2	Identifikation mehrerer Straßen ohne direkte Verbindung	37
7.6.3	Identifikation mehrerer Straßen in einem Straßennetz aller Klassen	38
7.6.4	Sichtbarkeitsbeurteilung der Straßen vor farbigem Hintergrund	40
7.7	Ishihara-Tafeln	41
7.8	Umfragesoftware	42
7.9	Durchführung	43
8	Ergebnisse	44
8.1	Zahlen und Demografie	44
8.2	Kommentare der Teilnehmer	45
8.3	Ishiharatafeln	45
8.4	Kartenbildaufgaben	45
8.4.1	Direkte Identifikation einzelner Straßensegmente	46
8.4.2	Identifikation mehrerer Straßen ohne direkte Verbindung	52
8.4.3	Identifikation mehrerer Straßen in einem Straßennetz aller Klassen	58
8.4.4	Sichtbarkeitsbeurteilung der Straßen vor farbigem Hintergrund	63
8.5	Zeitmessungen	66
9	Diskussion	67
9.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	67
9.2	Fazit und Ausblick	69
	Literaturverzeichnis	71
	Abbildungsverzeichnis	72
	Tabellenverzeichnis	74

1 Einleitung

Farbsinnstörungen, im Volksmund “Farbsehschwächen” oder gar “Farbenblindheit” genannt, sind stark verbreitet. Rein statistisch hat jeder zwölfte Mann eine angeborene Rot-/Grünfehlsichtigkeit (Wissinger und Kohl, 2005). In unserer heutigen, von visuell dargestellten und farbkodierten Informationen überfluteten Umwelt treten für Betroffene in allen Lebensbereichen Probleme auf. Die Ampelfarben Rot, Gelb und Grün werden oft als qualitatives Schema (Schlecht - Mittelmäßig - Gut) verwendet, doch sofern keine weiteren Signaturen verwendet oder weiterführende Informationen angegeben werden, sind für Betroffene so kodierte Inhalte teilweise nicht zu interpretieren.

In der Kartografie werden unterschiedliche Elemente verbreitet durch farbliche Unterschiede dargestellt. Für Menschen mit Farbsinnstörungen entstehen dadurch häufig Nachteile. Typische Wetterkarten, welche Rot für Hitze und Grün für gemäßigte Temperaturen verwenden, können in vielen Fällen nicht interpretiert werden. Wird das Verkehrsaufkommen in Grün für “niedrig” und Rot für “hoch” dargestellt, so kann ein Betroffener nicht erfahren, wann und wo er mit Stau rechnen kann. Punktmarkierungen auf Karten, etwa als Resultat einer Suche in einer dynamischen Karte, werden gerne mit roten Symbolen vorgenommen, für Menschen mit einer Rot/Grün-Schwäche gehen diese teilweise im Kartenhintergrund unter. Wasserflächen und Gebäude sind farblich für sie teilweise nicht zu unterscheiden. Die Probleme sind äußerst vielfältig.

Obwohl die Farbwahrnehmung bei Farbsinnstörungen umfassend erforscht sind und für Normalsichtige simuliert werden kann, entstehen tagtäglich neue Karten mit ungeeigneter Farbwahl. Die wachsende Popularität der *Neocartography*, der Erstellung von Karten durch Laien, verstärkt dies. Wer Farben für eine kartografische Darstellung nur nach seinem eigenen Farbempfinden und Gutdünken auswählt, der würde kaum mit einer Karte enden, die für Menschen mit Farbsinnstörungen problemlos lesbar ist.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit einem Teilaspekt der Karte von OpenStreetMap, aufgrund der freien Lizenz der Daten dem Neocartography-Projekt schlechthin: Der farblichen Klassifikation der Straßen und ihrer Eignung für Menschen mit Farbsinnstörungen.

1.1 Zielsetzung

Die Farben der Straßenklassen in der “Mapnik”-Karte auf www.openstreetmap.org sollen auf ihre Eignung für Menschen mit Farbsinnstörungen untersucht werden. Mithilfe von Farbänderungen sollen die Erkennung und die Identifikation der Straßen für Betroffene vereinfacht werden. In einem Test mit Betroffenen sollen das ursprüngliche und das neu erstellte Farbschema auf ihre Tauglichkeit überprüft werden.

1.2 Gliederung

Diese Arbeit ist wie folgt gegliedert:

In Kapitel 2 werden die Grundlagen der menschlichen Farbwahrnehmung sowie mögliche Farbsinnstörungen erläutert. Zusätzlich werden Programme zur Simulation der Wahrnehmung von Betroffenen und Hilfsmittel zur Farbunterscheidung für Betroffene vorgestellt.

In Kapitel 3 werden Farbmodelle vorgestellt sowie die Verwendung von Farben in der Kartografie beschrieben. Probleme bei Menschen mit Farbsinnstörungen und entsprechend Lösungsansätze werden vorgestellt.

In Kapitel 4 wird das OpenStreetMap-Projekt und die dort verwendete Daten- und Klassifikationsstruktur vorgestellt.

In Kapitel 5 wird die Karte von www.openstreetmap.org untersucht. Ihre Eignung für Menschen mit Farbsinnstörungen wird geprüft.

In Kapitel 6 werden verbesserte Farben erarbeitet und vorgestellt.

Kapitel 7 beschreibt die Erarbeitung von Testaufgaben sowie die Durchführung eines Tests zur Prüfung der Eignung der ursprünglichen sowie der neu erarbeiteten Farben mit Betroffenen.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse desselben präsentiert.

In Kapitel 9 schließt die Arbeit mit der Zusammenfassung der Ergebnisse sowie einem Fazit und Ausblick.

2 Die menschliche Farbwahrnehmung und Farbsinnstörungen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der menschlichen Farbwahrnehmung erklärt. Die verschiedenen Typen von Farbsinnstörungen werden vorgestellt. Zwei Programme werden vorgestellt, mit denen Bildschirminhalte am PC in der Wahrnehmung von Farb(en)-Blinden simuliert werden können. Hilfsmittel zur Verbesserung der Farberkennung von Betroffenen werden erwähnt.

2.1 Die menschliche Farbwahrnehmung

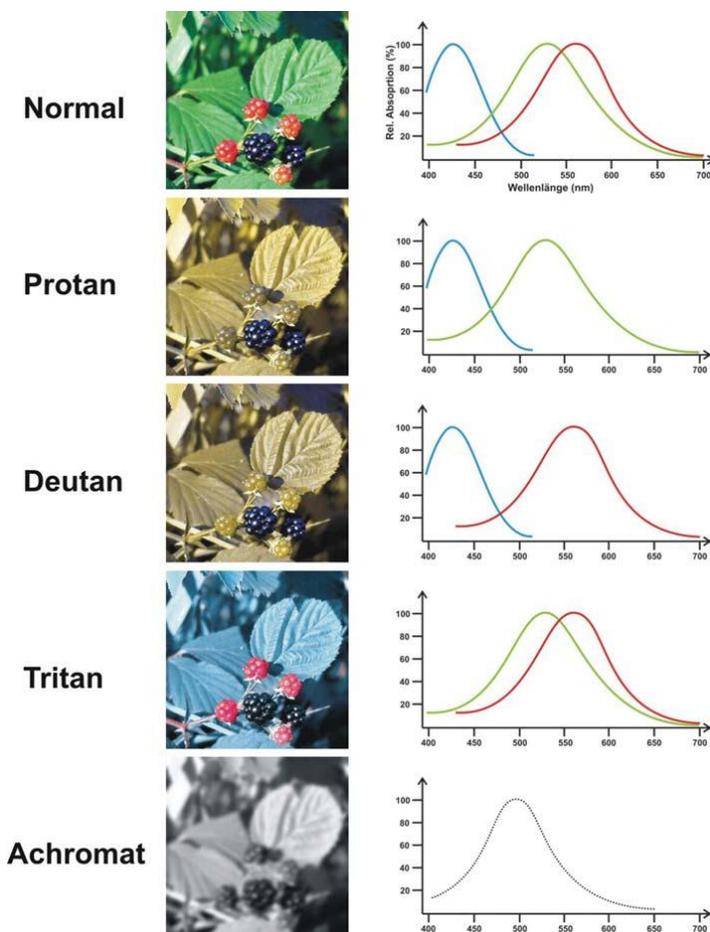


Abbildung 2.1: *“Simulation des Farb- und Seheindrucks bei Menschen mit verschiedenen Farbschstörungen und Darstellung der Absorptionskurven der involvierten Zapfepigmente. Die gestrichelte Kurve bei der Achromatopie stellt das Absorptionsspektrum des Stäbchenpigments dar.”* Aus Wissinger und Kohl (2005).

Im menschlichen Auge gibt es zwei Arten von photoempfindlichen Rezeptoren: Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen haben eine hohe Lichtempfindlichkeit und ermöglichen damit das Sehen in der Dunkelheit. Die Zapfen nehmen stärkeres Licht wahr und sind die Grundlage für die Differenzierung von Farben. Es gibt drei verschiedene Typen von Zapfen, welche aufgrund ihrer spezifischen Empfindlichkeitsmaxima im Spektrum unterschieden werden. Bei den sogenannten Blauzapfen liegt die maximale Lichtempfindlichkeit bei 430 nm, bei den Grünzapfen bei 530 nm und bei den Rotzapfen bei 560 nm. Insgesamt kann der Mensch mithilfe der Zapfen Licht des Wellenlängenbereiches von ca. 400 nm bis 750 nm wahrnehmen. Die Bereiche, in denen die einzelnen Zapfentypen Licht absorbieren, überdecken sich dabei teilweise (siehe Abbildung 2.1). (Wissinger und Kohl, 2005)

Durch die additive Mischung der von den Zapfen absorbierten Wellen (blauviolett, gelbgrün und rot) entstehen die vom Menschen wahrgenommenen Farben. Die Farbwahrnehmung eines normalsichtigen Menschen

wird daher als Trichromasie bezeichnet. (Wissinger und Kohl, 2005)

2.2 Farbsinnstörungen

Fehlt ein Zapfentyp im menschlichen Auge, so spricht man von einer Dichromasie. Dies ist zum Beispiel bei Rot- oder Grünblindheit der Fall, der Protanopie beziehungsweise Deuteranopie. Die entsprechenden Rot- beziehungsweise Grünzapfen fehlen den Betroffenen völlig. Blau-/Gelbblindheit, die Tritanopie, ist das Fehlen der Blauzapfen. Eine Monochromasie ist dementsprechend vorhanden, wenn nur ein Zapfentyp existiert. Dies sind meist die Blauzapfen, der Betroffene kann also nur noch blaue Farbtöne wahrnehmen. Fehlen sämtlichen Zapfen, während gleichzeitig Stäbchen vorhanden sind, so wird von einer Stäbchenmonochromasie beziehungsweise Achromatopsie gesprochen. Der Betroffene kann überhaupt keine Farben wahrnehmen, es ist also die "echte" Farbenblindheit. (Wissinger und Kohl, 2005)

Neben den Farbblindheiten gibt es die sogenannten anomalen Trichromasien. Hier sind zwar alle Zapfen vorhanden, ihre Absorptionsmaxima liegen allerdings an anderen Bereichen des Lichtspektrums als dies bei Normalsichtigen der Fall ist. Liegt das Absorptionsmaximum des Grünzapfens näher an 560 nm als normal so liegt eine Protanomalie vor, ist umgekehrt das Absorptionsmaximum des Rotzapfens näher an 530 nm, so hat der Betroffene eine Deuteranomalie. Eine Tritanomalie ist entsprechend eine Verschiebung des Absorptionsmaximum des Blauzapfens. Diese Anomalien sind äußerst vielseitig, es ist in diesem Rahmen nicht möglich genauere Angaben zu machen. (Wissinger und Kohl, 2005)

Circa 8% der männlichen Bevölkerung Europas sind von einer angeborenen Rot/Grün-Fehlsichtigkeit betroffen. Blau/Gelb-Fehlsichtigkeiten sind dagegen sehr selten, etwa 1:13.000 (Sharpe et al. (1999) nach Wissinger und Kohl (2005)). Bei diesen beiden Farbsinnstörungen ist die Sehschärfe nicht eingeschränkt. Im Gegensatz dazu sind bei der Blauzapfenmonochromasie und der Stäbchenmonochromasie nur noch 10-20% der Sehschärfe vorhanden. Diese Störungen sind sehr selten, einer in 100.000 beziehungsweise einer in 30.000 ist betroffen. Da Farbsinnstörungen zumeist als Gendefekte über das X-Chromosom vererbt werden, sind hauptsächlich Männer von ihnen betroffen. Tritane Farbsinnstörungen sind genderunabhängig. (Wissinger und Kohl, 2005)

Durch die verschiedenen Farbsinnstörungen ergibt sich für den Betroffenen je nach Wellenlängenbereich und Störung eine veränderte Farbwahrnehmung (siehe Abbildung 2.1 und Tabelle 2.1). Bei deuteranen und protanen Störungen kommt es zu Verwechslungen grüner und roter Farbtöne. Bei Tritanopie ähneln sich blaue mit grünen sowie gelbe mit violetten Farbtönen. Im Rahmen dieser Arbeit wird unter der Hypothese gearbeitet, dass die Farbwahrnehmungsanomalien ähnliche, wenn auch schwächere Probleme bereiten wie die Anopien. Farben, die zum Beispiel für einen Deuteranopen unterscheidbar sind, sollten auch für einen von einer Deuteranomalie Betroffenen keine Probleme bereiten.

2.3 Simulation von Farbsinnstörungen

Da für Normalsichtige die Farbenseht eines Betroffenen nur schwer vorzustellen ist, bietet sich die Verwendung von Simulationen an. Bilddateien können mit Konvertern in die Farbräume der verschiedenen Störungen transformiert werden¹²³. Für eine Simulation in

¹<http://www.vischeck.com/daltonize/>

²<http://www.adobe.com/accessibility/products/photoshop/overview.html>

³<http://colorfilter.wickline.org/>

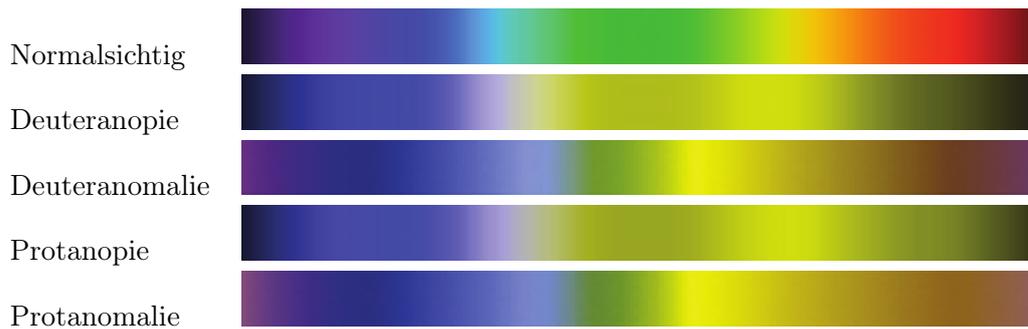


Tabelle 2.1: Simulation der Wahrnehmung des Farbspektrums durch Menschen mit Farbsinnstörungen (aus Jenny und Kelso (2007)).

“Echtzeit” bieten sich die kostenlosen Programme Color Oracle und Color Doctor an.

Color Oracle⁴ ist ein von Jenny und Kelso (2007) entwickeltes Java-Programm für Windows, Linux und MacOS, welches im Benachrichtigungsbereich des Desktops per Rechtsklick angesteuert werden kann. Es macht einen Screenshot des gesamten Bildschirms, färbt ihn entsprechend der gewählten Farbblindheit ein und zeigt ihn bis zum nächsten Mausklick im Vollbild. Dabei wird groß und mittig der Name der Farbblindheit eingeblendet. Auf MacOS lässt sich Color Oracle über eine Tastenkombination jederzeit aktivieren, auf Windows und Linux ist dies nicht möglich.

Color Doctor⁵ von Fujitsu ist eine Windowsanwendung. In einem zweigeteilten Anwendungsfenster wird links eine Internetseite oder transparent der “hinter” dem Fenster befindliche Bildschirminhalt dargestellt und rechts eine Simulation desselben Inhalts in einer ausgewählten Farbblindheit. Color Doctor lässt sich in einen “Live”-Modus setzen, in welchem sekundlich oder halb-sekundlich das aktuelle Bild des linken Fensters transformiert wird. Mit dieser Kombination lässt sich schnell zwischen dem Color Doctor und anderen Anwendungen wechseln, ohne nach jedem Wechsel manuell die Simulation aufzufrischen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden beide Programme zur Prüfung geänderter Farben eingesetzt. Color Doctor wegen seiner einfachen Handhabung hauptsächlich bei der Farbmischung.

Sowohl Color Oracle als auch Color Doctor ermöglichen die Simulation von Farbblindheiten, nicht von Anomalien. Da Farbwahrnehmungsanomalien unterschiedlichste Ausprägungen haben können (siehe Kapitel 2, ist ihre korrekte Simulation technisch unmöglich.

Zwischen Color Oracle und Color Doctor zeigten sich im Laufe der Arbeit geringe Unterschiede in der Darstellung, vor allem bei der Simulation von Deuteranopie. Da diese bei der Farbmischung aber in ihrer geringen Stärke keine Rolle spielten, wird hier nicht weiter darauf eingegangen. Möglicherweise werden verschiedene Algorithmen verwendet oder das Zusammenspiel von Betriebssystem, Grafiktreiber und Monitor ist verantwortlich.

⁴<http://www.colororacle.org>

⁵<http://www.fujitsu.com/global/accessibility/assistance/cd/>

2.4 Hilfsmittel für Betroffene

Mithilfe von farbigen Linsen können von Farbsinnstörungen Betroffene versuchen, ihre Farbwahrnehmung zu verbessern. Eine empirische Studie von Swarbrick et al. (2001) mit Kontaktlinsen zeigte, dass zwar einige Sehtests besser abgeschlossen werden konnten, bei anderen aber keine Verbesserung festgestellt wurde. Sie schließen mit dem Fazit, dass die Linsen zwar in einigen Situationen helfen können, eine Farbsinnstörung aber nicht in einem Maße beeinflussen, dass dem Betroffenen jede Arbeit uneingeschränkt möglich wäre. Darüber hinaus sei wegen der starken Einfärbung der Linsen die Wahrnehmung in Dämmerlicht stark eingeschränkt.

Auf modernen Smartphones ist es möglich mittels Applikationen wie etwa DanKam⁶ über die Kamera aufgenommene Bilder in Echtzeit so zu filtern, dass zum Beispiel der Farbton verändert oder die Sättigung erhöht wird. Dies lässt Betroffene die Welt in (für einen Normalsichtigen) verfälschten, aber unterscheidbaren Farben sehen.

Für die Verwendung im Alltag sind beide Ansätze eher ungeeignet.

⁶<http://dankaminsky.com/dankam/>

3 Farben in der Kartografie

Im folgenden Kapitel werden zunächst die im Rahmen der Arbeit verwendeten Farbmodelle vorgestellt. Anschließend werden Klassifikationsmethoden in der Kartografie vorgestellt, wobei insbesondere die Verwendung von Farben behandelt wird. Wechselwirkungen der Farben miteinander werden beschrieben. Abschließend werden durch Farbsinnstörungen entstehende Probleme in der Kartografie vorgestellt und mögliche Lösungsansätze erläutert.

3.1 Farbmodelle

Farbmodelle dienen der mathematischen Beschreibung von Farben. Nachfolgend werden zwei verbreitete, im Rahmen dieser Arbeit verwendete Farbmodelle erläutert.

3.1.1 RGB

Wie in Kapitel 2 beschrieben, funktioniert die normale menschliche Farbwahrnehmung über eine additive Mischung der drei wahrgenommenen Farben blauviolett, gelbgrün und rot. Ein weitgehend entsprechendes mathematisches Farbmodell ist das RGB-Modell, die additive Mischung von reinem Licht der Farben Rot, Grün und Blau.

Farben werden als Kombination ihrer Rot- (R), Grün- (G) und Blauwerte (B) definiert. Dabei werden meist 8 Bit pro Farbkanal benutzt, also je 256 Werte, 0-255. Dementsprechend sind 3 Farbkanäle \times 8 Bit = 24 Bit Farbtiefe, der sogenannte *True Color* Modus eines Anzeigergeräts.

Als Schreibweise ist entweder die Auflistung der Kanalwerte als Dezimalzahlen in der Reihenfolge R, G, B üblich oder aber die Zusammenfassung der Bytes in hexadezimaler Schreibweise. In letztem Fall wird meist ein “#” voran gestellt. Zum Beispiel wäre die Notation für ein reines Gelb (additiv gemischt aus Rot und Grün) “(255,255,0)” beziehungsweise “#FFFF00”. Sind alle drei Farbkanäle gleichwertig, so ist die Farbe neutral: #000000 = Schwarz, #999999 = Grau, #FFFFFF = Weiß.

Das RGB-Farbmodell entspricht damit der Funktionsweise eines handelsüblichen Bildschirms, nicht aber dem menschlichen Farbempfinden.

3.1.2 HSL

Nach Brewer (2005) folgt das menschliche Farbempfinden nicht der Mischung aus Rot, Grün und Blau. Stattdessen werden Farben im menschlichen Bewusstsein primär über ihren Farbton (engl. *Hue*, H) definiert, zusätzlich über ihre Sättigung (engl. *Saturation*, S) und die Helligkeit (engl. *Lightness* L):

Der Farbton ist der dominante Wellenlängenbereich eines Lichtes, welcher vom Betrachter einer benannten Farbe zugeordnet wird. Zum Beispiel wäre ein Licht von 570 nm ein “Gelb”. Die Farbtöne sind im Farbspektrum in der Reihenfolge ihrer Wellenlängen angeordnet: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett.

Die Sättigung wird auch als Chroma, Reinheit oder Farbigkeit einer Farbe bezeichnet. Ein voll gesättigtes Rot wäre ein reines Rot, während die Farbe bei einer Abnahme der Sättigung immer mehr in Richtung Grau, einem neutralen unbunten Farbton ginge. Geringe Sättigungsunterschiede sind für einen menschlichen Betrachter schwer zu erkennen. Über die gesamte Bandbreite der Sättigung kann der Mensch nur wenige Schritte unterscheiden.

Die Helligkeit ist ein relativer Begriff, welcher beschreibt, wieviel Licht der Betrachter von einem Betrachtungsobjekt zurückgeworfen beziehungsweise ausgesandt empfindet.

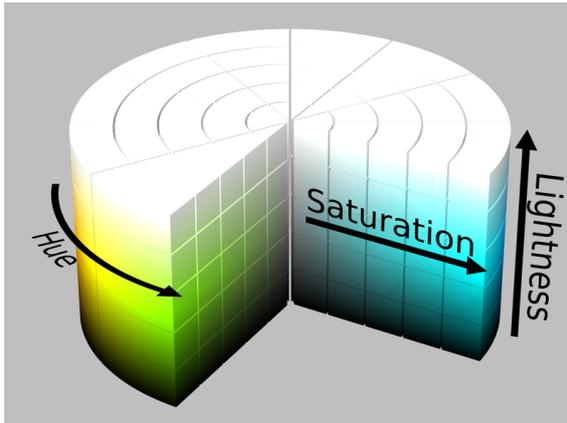


Abbildung 3.1: Zylindrische Darstellung des HSL-Farbmodells (Quelle: Wikimedia, Autor: SharkD, Lizenz: CC-BY-SA)

Im HSL-Farbmodell werden diese Parameter direkt verwendet (siehe Abbildung 3.1). Dabei entspricht H einem Farbton im sichtbaren Farbspektrum. Zur Findung von Farben, die auch bei Farbsinnstörungen unterscheidbar sind, ist die Benutzung eines solchen Modells naheliegend, da hier die beiden wichtigsten Parameter Farbton und Helligkeit (siehe Abschnitt 3.4) direkt manipulierbar sind.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Farben entweder als hexadezimale RGB-Werte definiert oder als Liste ihrer Parameter (R, G, B beziehungsweise H, S, L), wobei dabei der Wertebereich von 0 (Minimum) bis 255 (Maximum) verwendet wird.

3.2 Kartografische Farbschemata

In der Kartografie werden die grafischen Grundelemente Punkt, Linie und Fläche verwendet. Eine Klassifikation dieser kann dabei über Veränderungen von Form, Muster, Orientierung (Richtung), Farbe, Helligkeit und Größe dargestellt werden. (Bollmann und Koch, 2002)

Im Bezug auf die Änderung von Farbparametern zur Klassifikation nennt Brewer (2005) besonders den Farbton als geeignet, die Verwendung unterschiedlicher Helligkeiten würde meist eine Rangfolge suggerieren.

Nach Brewer (2005) sind in der Kartografie unter dem Aspekt der Farbenwahl drei Arten von Farbschemata relevant, welche gegebenenfalls auch in Kombination verwendet werden können:

Sequentiell Als "sequentiell" werden geordnete typgleiche Daten bezeichnet, etwa die Bevölkerungszahlen einer Auswahl von Ortschaften. Werden zur Darstellung dieser Unterschiede Farben verwendet, so empfiehlt Brewer (2005) die Verwendung eines Schemas von hellen zu dunklen Farben beziehungsweise umgekehrt. Eine zusätzliche Veränderung des Farbtons und der Sättigung kann dem Betrachter bei der Unterscheidung der Klassen helfen. Für welches Ende der Skala dabei ein heller oder dunkler Ton verwendet wird, ist dabei je nach Art der Daten zu entscheiden.

Divergierend Existiert in sequentiellen Daten ein Umschlagspunkt, ein Wert an welchem Werte zum Beispiel von positiven in negative Zahlen wechseln oder ein Durchschnittswert, so spricht man von einem divergierenden Schema. Wie aus Tabelle 2.1 ersichtlich, ist die Benutzung eines Gelb-Blau-Verlaufs am sichersten, da auch Menschen mit einer Rot-/Grünschwäche diese Skala korrekt interpretieren können. Ein für Normalsichtige oft naheliegendes Ampelschema (Rot-Gelb-Grün) ist für viele Betroffene nicht lesbar, besonders wenn Rot und Grün eine ähnliche oder sogar gleiche Helligkeit haben. Der Umschlagspunkt ist nach Brewer (2005) idealerweise mit der hellsten Farbe der Skala versehen.

Qualitativ Ein qualitatives Schema beinhaltet Werte, welche nicht in eine Reihenfolge geordnet werden können, zum Beispiel verschiedene Bodenarten oder Bundesländer. In qualitativen Schemata werden meist Farben verschiedener Farbtöne verwendet. Brewer (2005) weist daraufhin, dass in einem guten qualitativen Schema gleichwertiger Daten weder eine Reihenfolge vermittelt wird noch einzelne Klassen fälschlicherweise hervorgehoben werden. Daher ist darauf zu achten, dass die verschiedenen Farben auf den Betrachter eine möglichst identische Wirkung im Bezug auf ihre Helligkeit und Sättigung haben. Auf einem hellen Hintergrund wäre zum Beispiel ein Gelb weniger präsent als ein Blau und würde dem Betrachter damit weniger auffallen. Dies würde eine Minderwertigkeit vermitteln (siehe auch Abschnitt 3.3). Um kleinflächige Klassen im Kartenbild ausreichend deutlich darzustellen ist gegebenenfalls eine hohe Sättigung einzusetzen.

Gibt es zusammengehörige Klassen, so rät Brewer (2005) zur Verwendung ähnlicher Farben, zum Beispiel helle und dunkle Rottöne für verschiedene Gebäudetypen oder eine Auswahl von Grüntönen zur Klassifizierung von Vegetation. Sie relativiert dies allerdings sogleich. In thematischen Karten gebe es oft keine offensichtlichen Beziehungen zwischen Klassen. Der Kartograf solle sich besser auf Farben konzentrieren, welche einfach auseinanderzuhalten seien. Ohnehin könnten vom Kartografen erdachte Farbassoziationen möglicherweise je nach Betrachter nicht funktionieren.

3.3 Wechselwirkungen in der Farbwahrnehmung

Im Kontext einer Karte, einem farbigen, besonders im Fall von OpenStreetMap.org oft sehr detaillierten Bild, kommt es beim Zusammenspiel der Farben zu Wechselwirkungen, welche die Farbwahrnehmung beeinflussen und gegebenenfalls ein weiteres Abstimmen der Farbauswahl erfordern. Kleine Flächen sind schwerer über ihre Farbe zu identifizieren als große Flächen. Hinzu kommt der Effekt des Simultan-Kontrasts: Die Wirkung einer Farbe hängt davon ab, von welchen anderen Farben sie umgeben ist. Eine Farbe mittlerer Helligkeit wirkt auf einen dunklen Hintergrund heller, auf einen helleren Hintergrund dunkler (siehe Abbildung 3.2). Ein grüner Farbton wirkt auf einem dunkelblauen Hintergrund heller und gelblicher. Dabei spielt auch die Sättigung der Farben eine große Rolle. (Brewer, 2005)

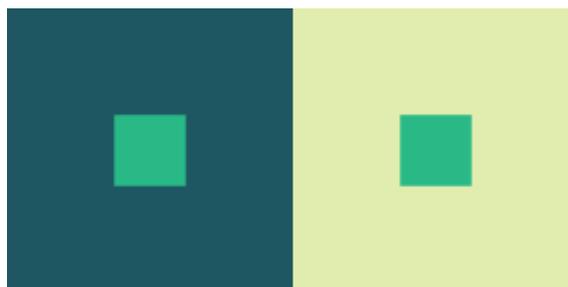


Abbildung 3.2: Simultankontrast in Abhängigkeit der umgebenden Farbe. Im linken Teil des Bildes wirkt das Quadrat in der Mitte heller als das gleichfarbige Pendant im rechten Teil (nach Brewer (2005)).

Auch der empfundene Unterschied zweier Farben an sich spielt eine Rolle. Ein dunkles Grün mag auf einem grauen Hintergrund sehr deutlich zu sehen sein, auf einem ähnlich dunklen, ebenfalls grünen Hintergrund dagegen unter Umständen nur schwer. Dies ist besonders beim Aufeinandertreffen von Punkt- oder Linienklassen mit Flächen zu beobachten.

Diese Effekte können oftmals nicht im Voraus eingeplant werden, da sie von den der Karte zugrunde liegenden Daten abhängen. Durch einen rein theoretischen Ansatz lassen sich diese Probleme schwer beheben, sinnvoller ist die manuelle Untersuchung der entstehenden Kartenbilder, gegebenenfalls speziell von Teilgebieten, in denen Probleme zu erwarten sind. (Brewer, 2005)

3.4 Resultierende Probleme und Lösungsansätze bei Farbsinnstörungen

Brewer (2005) warnt, dass Farben geringer Sättigung für Betroffene problematischer sind als solche mit hoher Sättigung. Kombinationen zwischen Rot, Orange, Braun, Gelb und Grün sind besonders problematisch, wenn die verwendeten Farben eine ähnliche Helligkeit haben. Auch Magenta, Grau und Cyan bilden eine solche Problemgruppe.

Bei monochromen Karten in Graustufen, sind Variationen in der Helligkeit der einzige Farbparameter, der auch hier noch Unterscheidungen ermöglicht. Eine Karte, die in Graustufen für Normalsichtige lesbar ist, ist auch für jeden Farbenblinden lesbar. (Brewer, 2005)

Um eine Farbwahl zu vereinfachen, präsentiert Brewer (2005) ein hexagonales Diagramm mit 61 Farben, welche nach Farbton (kreisförmig) und Helligkeit (nach innen heller) angeordnet sind. Das Diagramm ist in fünf Bereiche unterteilt. Werden Farben gleicher Helligkeit aus benachbarten Bereichen gewählt, so würden diese von Betroffenen gegebenenfalls verwechselt, so Brewer (2005). Farben, die mindestens einen Bereich zwischen sich haben oder in ihrer Helligkeit verschieden sind, seien dagegen unterscheidbar. Brewer (2005) nennt das Diagramm vor allem für sequentielle Farbschemata als geeignet. Für qualitative Schemata sei es aufwendiger sichere Farben zu wählen, denn hier werde meist eine höhere Anzahl von Klassen benötigt.

Während Brewer (2005) sich bei der Betrachtung der Probleme von Farbsinnstörungen auf Farbschemata konzentriert, beziehen Jenny und Kelso (2007) auch Form und Stil der dargestellten Elemente mit ein.

Von Farbsinnstörungen betroffene Menschen brauchen länger als Normalsichtige, um in primär farbkodierten Grafiken Informationen zu finden, sofern sie diese überhaupt wahrnehmen können (Cole (2004) nach Jenny und Kelso (2007)). Um diesem in kartografischen Anwendungen entgegenzuwirken, raten Jenny und Kelso (2007) dazu, unverwechselbare Farbkombinationen, Beschriftungen und zusätzliche nicht-farbliche Markierungen zu verwenden.

Für Punktklassen, welche in Karten häufig nur durch verschiedene Farbtöne differenziert werden, bietet sich die Verwendung unterschiedlicher Symbole und Piktogramme an.

Auch für die Klassifikation von Linien empfehlen Jenny und Kelso (2007) die Verwendung von Farbänderungen, Beschriftungen und Mustern (siehe Abbildung 3.3). Es liegt nahe ihre Dicke zu verändern, doch dies wäre bei einem qualitativen Schema irreführend, da es dem

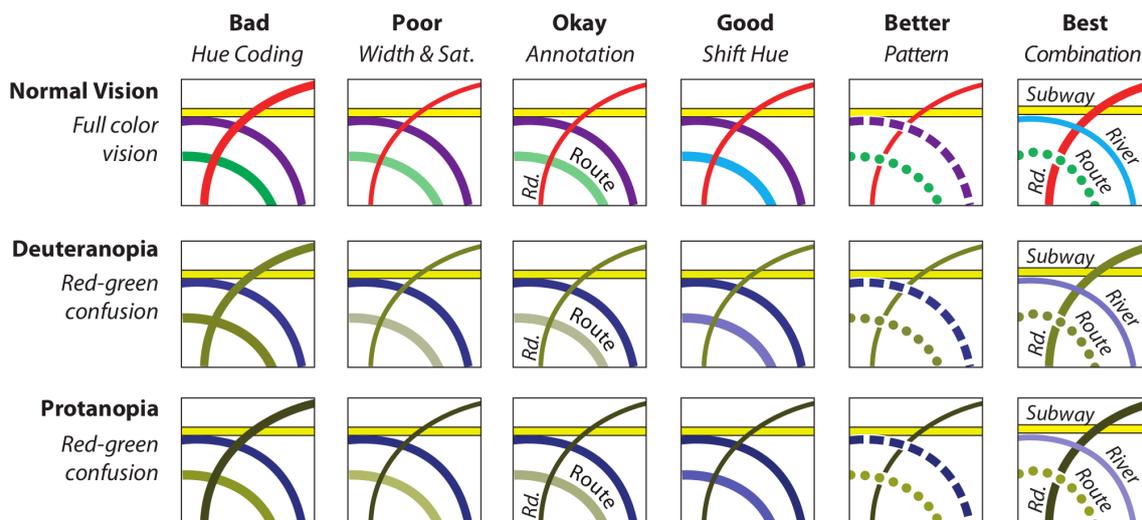


Abbildung 3.3: Über verschiedene Merkmale klassifizierte Linien und die simulierte Darstellung für Grün- beziehungsweise Rotblinde. (Aus Jenny und Kelso (2007))

Betrachter den Eindruck quantitativer Unterschiede vermittelt. Besser sei es, die Linien entsprechend ihrer Klasse mit einer Beschriftung zu versehen. Für Betroffene problemlos zu unterscheiden sind Linien in verschiedenen Mustern (Strichelungen oder gepunktete Linien), doch auch hier besteht die Gefahr eines qualitativen oder quantitativen Eindrucks.

Im Bezug auf qualitative Flächenklassen nennen Jenny und Kelso (2007) neben der Veränderung der Farben (primär Farbton und Helligkeit) auch die Verwendung von Schraffuren als sinnvolle Alternative. Ideal sei meist eine Kombination mehrerer Eigenschaften, um eine möglichst intuitiv lesbare Karte zu entwickeln.

Im Bezug auf interaktive digitale Karten erwähnen Jenny und Kelso (2007) Tooltips und Beschriftungen, die bei Bedarf vom Nutzer eingeblendet werden könnten. So könnten Werte etwa per Mausklick aus der Karte abgefragt werden. Darüberhinaus sei es wünschenswert, dem Benutzer die Änderung des Farbschemas zu ermöglichen.

Eine Berücksichtigung von Farbsinnstörungen wird vereinzelt bei OpenStreetMap.org-ähnlichen Onlinekarten erwähnt. Zum Beispiel arbeitete die britische Behörde für Landesvermessung “Ordnance Survey” an einem CVD-Stil¹ (“color-vision impaired”) und Google Maps änderte die Farbgebung der Visualisierung von Verkehrsaufkommen², nachdem Nutzer auf die Probleme aufmerksam gemacht hatten. Ein Rot wurde dazu stark verdunkelt, um von Grün unterscheidbar zu sein. Eine Anfrage bei der Ordnance Survey nach den verwendeten Farbtönen ergab, dass dort mittlerweile andere, nicht weiter spezifizierte Ideen zur Verbesserung der Accessibility für Betroffene verfolgt werden und zum CVD-Stil keine Angaben gemacht werden könnten (privater Mailkontakt).

¹<http://blog.ordnancesurvey.co.uk/2011/05/maps-for-the-colour-blind-now-a-reality/>

²<http://productforums.google.com/forum/#!category-topic/maps/new-feature-suggestions/X9xiRUQq0y8>

4 Das OpenStreetMap-Projekt

In diesem Kapitel wird zunächst das *OpenStreetMap*-Projekt vorgestellt. Anschließend wird die Daten- und Klassifikationsstruktur desselben erläutert. Die Klassifikationsregeln für Straßen werden detailliert beschrieben.

4.1 OpenStreetMap

OpenStreetMap ist ein weltweites Projekt, welches sich zum Ziel gesetzt hat geometrische und topologische Geodaten zusammenzutragen und jedermann frei unter der Open Database License (ODbL)¹ zur Verfügung zu stellen. Das Projekt wurde 2004 von dem Briten Steve Coast gegründet und ist seitdem zu einer umfangreichen Quelle freier Geodaten herangewachsen. Insgesamt umfasst die OpenStreetMap-Datenbank aktuell (Oktober 2012) mehr als 1.6 Milliarden Knoten, mit denen mehr als 150 Millionen Linien modelliert wurden.² Tagtäglich arbeiten durchschnittlich rund 2000 Benutzer³ an den Daten. Täglich kommen mehr als 1 Millionen Knoten⁴ und 100.000 Linien⁵ dazu.

Durch die Nutzung freier Lizenzen und die konsequente Verwendung ebenfalls freier Software für die Datenverarbeitung, das Rendern und Bereitstellen der Karte, ist es jedermann mit dem entsprechenden Sachverstand möglich, Daten und Software zum Erstellen eigener Karten zu benutzen. Es gibt unzählige Karten und Anwendungen auf OpenStreetMap-Basis.⁶

Die Geodaten von OpenStreetMap werden zentral in einer PostgreSQL-Datenbank mit PostGIS verwaltet. Als Austauschformat für Datenänderungen oder Exporte wird ein eigenes XML⁷-Format mit der Dateiendung .osm verwendet (siehe Abschnitt 4.2).

Als Datengrundlage im Rahmen dieser Arbeit wurden vordefinierte Extrakte der Geofabrik⁸ sowie selbst-definierte Extrakte diverser Gebiete mittels des “Planet.osm extracts” Services von BBBike⁹ benutzt. Zusätzlich wurden für die Tests (siehe Kapitel 7) mithilfe des Editors JOSM¹⁰ verschiedene synthetische Testgebiete erstellt, in welchen speziell erdachte Straßenverläufe/-netze gezeichnet wurde. Die Daten wurden als .osm-XML-Dateien sowie in PostGIS verwaltet.

4.2 Datenstruktur und allgemeine Klassifikationsregeln

OpenStreetMap verwendet die Grundelemente *Knoten* (engl. *Node*), *Linien* (engl. *Way*) und *Relation* (engl. *Relation*) (OpenStreetMap Wiki, a). Ein Knoten ist ein Punktobjekt mit Koordinaten. Ein Knoten kann alleine stehen oder Teil einer Linie sein. Mit Knoten

¹<http://opendatacommons.org/licenses/odbl/>

²http://www.openstreetmap.org/stats/data_stats.html

³<http://osmstats.altogetherlost.com/index.php?item=members>

⁴<http://osmstats.altogetherlost.com/index.php?item=nodes>

⁵<http://osmstats.altogetherlost.com/index.php?item=ways>

⁶http://wiki.openstreetmap.org/wiki/List_of_OSM_based_Services

⁷eXtensible Markup Language, eine menschenlesbare Auszeichnungssprache

⁸<http://download.geofabrik.de/openstreetmap/>

⁹<http://extract.bbbike.org>

¹⁰<http://josm.openstreetmap.de>

werden zum Beispiel Briefkästen, Bäume oder gegebenenfalls Hausnummern modelliert. Eine Linie ist ein Linienobjekt oder als geschlossenes Polygon eine Fläche. Eine Linie besteht aus mehreren Knoten. Mit einer Linie werden zum Beispiel Straßen, Häuser (als Flächen) oder Fußwege modelliert. Relationen dienen zur Definition von Zusammenhängen und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Objekten. Mit Relationen werden zum Beispiel die einzelnen befahrenen Straßenabschnitte einer bestimmten Buslinie sowie die Knoten ihrer Haltestellen zusammengefasst.

Die Elemente werden über sogenannte *Tags*, einfache **Schlüssel:Wert**-Paare mit Informationen versehen. Zum Beispiel wäre ein geschlossenes Polygon mit dem Tag **area=yes** als eine Fläche definiert, mit **building=yes** als ein nicht näher spezifiziertes Gebäude. Im Wiki¹¹ von OpenStreetMap.org gibt es für viele Tags Vorgaben beziehungsweise Empfehlungen bezüglich ihrer Verwendung. Oftmals sind diese je nach Region genauer spezifiziert, sofern dies sinnvoll ist. So ist eine Ampel wohl überall auf der Welt eine Ampel, was aber eine Straße überregionaler Bedeutung ist, hängt stark von den lokalen Gegebenheiten ab. All diese Regeln sind dabei keine Vorgaben, sondern von den Mitarbeitern gemeinschaftlich erarbeitete Richtlinien.

4.3 Klassifikation von Straßen

Straßen werden über den **highway**-Schlüssel klassifiziert. Generell werden für die Klassifikation folgende Empfehlungen gegeben (OpenStreetMap Wiki, c):

highway=motorway: Schnellstraßen mit beschränktem Zugang (keine Durchquerungen durch andere Straßen) mit getrennten Fahrstreifen und meist mehr als 2 Spuren je Richtung.

highway=trunk: Wichtige, kreuzungsfreie Straßen überregionaler Bedeutung mit meist getrennten Fahrspuren pro Richtung.

highway=primary: Verbindungsstraßen des Hauptverbindungsnetzes zwischen Städten.

highway=secondary: Verbindungsstraßen zwischen Städten und Dörfern.

highway=tertiary: Größere Straßen, die weder als **primary** oder **secondary** klassifiziert werden könnten.

Zusätzlich gibt es viele weitere **highway**-Klassen, etwa **residential**, **living_street** oder **track**.

Für Deutschland wird zur folgenden landesspezifischen Verwendung geraten (OpenStreetMap Wiki, b):

Autobahnen werden als **motorway** klassifiziert. **trunk** wird für "autobahnähnliche Straßen" verwendet, also unter anderem Kraftfahrstraßen. Als **primary** werden Bundesstraßen klassifiziert, Hauptverkehrswege, die dem überregionalen Verkehr dienen. Zusätzlich wird dazu geraten, auch andere Straßen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen mit diesem Tag zu versehen. **secondary** sind Landstraßen oder auch besonders gut ausgebaute Kreisstraßen, also Wege des zwischenregionalen Verkehrs. Normale Kreisstraßen werden als **tertiary** aufgenommen, dieser Tag wird auch für innerstädtische Vorfahrtstraßen verwendet, die

¹¹<http://wiki.openstreetmap.org>

hauptsächlich als Durchfahrtsstraßen genutzt werden. Nach diesen primären “großen” Straßen folgen viele genauer spezifizierte Straßenklassen: Zum Beispiel **residential** für Straßen in Wohngebieten, **living_street** für verkehrsberuhigte Bereiche. **unclassified** für öffentliche, einfachst ausgebaute Straßen oder **track** für Wirtschafts-, Feld- oder Waldwege.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die behandelten Straßenklassen entsprechend der Wertklassen nach ihren englischsprachigen Bezeichnungen *Motorway*, *Trunk*, *Primary*, *Secondary* sowie *Tertiary* benannt.

5 Untersuchung der OpenStreetMap.org-Karte

Im folgenden Kapitel wird die untersuchte Karte beschrieben. Dazu werden zunächst allgemeine Aspekte derselben erläutert. Die Darstellung wird visuell beschrieben. Das zum Rendern verwendete Softwarepaket *Mapnik* wird vorgestellt. Die Regeln des Renderstils für die Darstellung der Straßen werden detailliert beschrieben. Abschließend wird der Kartenstil auf Probleme für Menschen mit Farbsinnstörungen untersucht.

5.1 Die OpenStreetMap.org-Karte

Die OpenStreetMap-Homepage www.openstreetmap.org präsentiert dem Besucher eine dynamische Karte, auf welcher eine Auswahl der vorhandenen Datenelemente dargestellt wird. Der Kartenausschnitt kann verschoben sowie im Maßstab vergrößert beziehungsweise verkleinert werden. Die Karte verwendet Javascript, welches bei Bedarf 256x256 Pixel große Kartenkacheln als Rasterbilder lädt und daraus das im Browser dargestellte Kartenbild zusammensetzt. Für die dynamische Bedienung wird die OpenLayers-Bibliothek¹ verwendet. Die Kacheln dieser Karte werden mit Mapnik gerendert. Mapnik wird im folgenden Abschnitt vorgestellt (Abschnitt 5.3).

Die Karte kann in 18 Maßstabsstufen (im Folgenden “Zoomstufen”) angesehen werden. Dabei ist jede Erhöhung der Stufe gleichbedeutend mit einer Halbierung des Maßstabs. Der Maßstab ist in der verwendeten Kartenprojektion vom Breitengrad abhängig (OpenStreetMap Wiki, d). Zoomstufe 7 entspricht auf dem Breitengrad 54° bei 96 DPI einem Maßstab von rund 1:2700000, Zoomstufe 10 rund 1:340000, Zoomstufe 13 rund 1:42500 und Zoomstufe 17 rund 1:2700.

Die Karte auf der OpenStreetMap-Homepage ist primär für den Eigenbedarf der Mitarbeiter selbst gedacht, Ziele sind vor allem eine hohe Aktualität (Änderungen in der Datenbank sollen zeitnah grafisch dargestellt werden) sowie ein hoher Detailgrad, um Mitarbeitern einen schnellen und guten Überblick über die getane beziehungsweise verbleibende Arbeit zu bieten. Die tatsächliche Nutzung ist oftmals allerdings eine andere: Viele Menschen benutzen die Karte auf openstreetmap.org für allgemeine Zwecke, Informationsbeschaffung, Streckenplanung und ähnliches. Die Kartenkacheln werden von Dritten in Internetseiten eingebunden, sie werden als Pläne gedruckt, mobile Smartphone-Applikationen zeigen sie oder benutzen abgeleitete Farbschemata.

Der hohe Detailgrad führt zu einem aus kartografischen Gesichtspunkten sehr überladenen Bild. Es wird wenig generalisiert, es gibt viele sehr feine Linien. Dies liegt nicht speziell an einer höheren Detaildichte der zugrunde liegenden Daten, sondern an der Auswahl, was wie gerendert wird.

Der kartografische Stil an sich wäre zwar durchaus ein interessantes und ergiebiges Thema, wird aber im Rahmen dieser Arbeit nur im Bezug auf die Eignung der farblichen Straßendarstellung für Menschen mit Farbsinnstörungen untersucht.

¹<http://openlayers.org>

Über ein Menü im rechten Bildteil der Karte kann der Benutzer alternativ aus drei "fremden" Kartenstilen (ebenfalls auf Basis der OpenStreetMap-Daten) auswählen. Zum einen die "Cycle Map", eine für Langstrecken-Radfahrer optimierte Darstellung. Die "Transport Map" konzentriert sich bei der Auswahl der gerenderten Features auf den Nah- und Fernverkehr. Die letzte Option "MapQuest Open" ist eine Multipurpose-Straßenkarte des etablierten Kartenservices MapQuest. Diese Kartenstile bieten dem Besucher speziellere Darstellungen beziehungsweise eine alternative Straßenkarte. Im Rahmen dieser Arbeit werden sie nicht weiter behandelt.

5.2 Visuelle Beschreibung des Kartenstils

Als "wichtigste" Verkehrswege werden Motorway und Trunk ab Zoomstufe 5 gerendert. Weitere Kartenelemente sind vorerst nur administrative Grenzen von Ländern, Staaten und Bundesländern (im internationalen Kontext "Gliedstaaten") in einem violetten Farbton sowie die Landmassen beziehungsweise Küstenlinien (Wasser in graublau, Land hellgrau-braun). Die Straßen werden dabei als feine haarlinienartige Linien gerendert, ihre Farben sind blass.

Ab Zoomstufe 6 werden zusätzlich auch überregionale Bahnstrecken (grau) und innerländische Seen dargestellt.

Ab Zoomstufe 7 werden auch Straßen der Klasse Primary dargestellt (siehe Abbildung 5.1). Zusätzlich Fährverbindungen auf See (blau gestrichelt), Naturschutzgebiete (transparent Grün mit grüngestricheltem Rand).

Auf Zoomstufe 8 kommen Waldgebiete in graugrün dazu. Stadtgebiete werden grau hinterlegt. Kleinere Flüsse werden nun mit derselben Farbe wie die Ozeane gerendert.

Ab dem Zoomstufe 9 werden Secondary-Straßen gerendert. Landuse=farm kommt mit einem braunen Farbton hinzu.

Die übrigen Straßenklassen kommen ab Zoomstufe 10 zunächst in grau hinzu, Tertiary und die niedrigeren Klassen wie Residential (siehe Abbildung 5.1). Viele zusätzliche Landnutzungsklassen werden gerendert. Je nach Detailreichtum und Lokalität ist nun von der neutralen Farbe der "leeren" Landmassen nicht mehr viel zu sehen. An ihre Stelle tritt ein Flickenteppich von hellgrünen und hellbraunen Landnutzungsklassen sowie der etwas dunkleren grauen Besiedlungsgebiete. Dies trifft allerdings nur auf entsprechend detailliert aufgenommene Gebiete zu, im Großteil der Welt gibt es noch keine besonderen Landnutzungsflächen, sondern den neutralen Untergrund bis in die höchste Zoomstufe.

Bis einschließlich Zoomstufe 11 werden die Straßen ohne Rand dargestellt. Ab dieser Zoomstufe werden die Klassen Motorway, Trunk, Primary und Secondary mit einem Rand von 0,5 bis 3 Pixel Breite in einem dunkleren Ton ihrer primären Farbe gerendert. Je nach Umgebung werden die Ränder teilweise durch andere Objekte wie Häuser oder diverse Flächen überlagert (siehe Abschnitt 5.4). Damit steht in sehr detaillierten Bildern mehr Raum für die Nicht-Straßen-Elemente zur Verfügung.

Ab Zoomstufe 13 werden dann auch die Klassen Tertiary und Residential in ihren spezifischen Farben mit einem grauen Rand dargestellt (siehe Abbildung 5.1).

Je nach Zoomstufe werden die Straßen in verschiedener Breite gerendert. Dabei nehmen die Breiten kontinuierlich zu, mit Ausnahme des Motorway, welcher ab der Zoomstufe 13 trotz der höheren Hierarchie schmaler dargestellt wird als die übrigen Straßen (siehe Abbildung 5.2). Auf den beiden höchsten Zoomstufen 17 und 18 werden weder die Breite noch die Farben verändert.



Abbildung 5.1: Kartenbilder von openstreetmap.org. Von oben: Zoomstufen 7, 10, 13 und 17. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)

Generell werden Straßen über drei primäre Merkmale klassifiziert. Neben der Farbe ist die Breite ein entscheidendes Merkmal. Der Rand spielt nur eine untergeordnete Rolle, er dient primär zur Abgrenzung der Straßenfläche zur Umgebung beziehungsweise dem Hintergrund. Dabei sind die Randstreifen der Hauptfarbe der Straße angepasst, sie verwenden etwa denselben Farbton, nur dunkler.

Den Verlauf der Straßen und eine daraus ableitbare Klassifikation könnte der Kartograf nur in ausgewählten lokal begrenzten Gebieten berücksichtigen, bei einem weltweiten Projekt wie OpenStreetMap ist dies nicht möglich.

Zusätzliche Elemente der Straßendarstellung wie Beschriftungen und “Highway-Signs” (zum Beispiel “A614” auf Abbildung 5.4) werden hier nicht weiter beachtet. In der Realität helfen sie dem Betrachter primär bei mehr oder weniger lokalen Kenntnissen (Straßenname sehr lokal, Signs eher auf Länderbasis). Dies aber auch nur auf Zoomstufen und Ausschnitten, in welchen sie gerendert werden. Für Menschen mit örtlichen Kenntnissen ist ein Kartenbild einfacher zu interpretieren, denn sie können über Vergleiche mit ihnen bekannten Gebieten Rückschlüsse auf andere machen. Teilweise wissen sie die Klasse einer betrachteten Straße bereits und womöglich interessiert sie diese überhaupt nicht.

5.3 Mapnik

Für die Darstellung der Karte auf www.openstreetmap.org wird *Mapnik* verwendet. Das Mapnik-Projekt² ist eine Sammlung von Programmen und Bibliotheken zur Entwicklung von kartenbasierten beziehungsweise -benutzenden Anwendungen. Mithilfe von Plugins kann eine Vielzahl verschiedener Datenquellen verwendet werden, zum Beispiel Shapefiles, PostGIS oder das .osm-XML-Datenformat (siehe Abschnitt 4.1). (Pavlenko, 2012)

Zur Ausgabe von Kartenbildern bietet Mapnik sowohl verschiedene Rasterformate (JPEG, PNG) als auch Vektordaten in Formaten wie SVG, PDF oder PS.³

Zum Rendern wird standardmäßig die integrierte Renderengine AGG verwendet. Diese bietet Antialiasing auf Subpixelbasis, womit auch kleinste Strukturen grafisch ansprechend gefiltert dargestellt werden können. AGG unterstützt eine Vielzahl von Filter-Algorithmus zur Interpolation der gerenderten Rasterbilder. Standardmäßig wird nach *Nearest Neighbor* gefiltert.

Mapnik wurde im Rahmen dieser Arbeit zum Rendern von PNG-Bildern selbst erstellter Straßenverläufen in Version 2.1.0 auf Linux verwendet.

²<http://www.mapnik.org>

³<https://github.com/mapnik/mapnik/wiki/MapnikRenderers>

Mapnik benutzt zur Definition der Datenquellen, einiger Konfigurationsoptionen und des kartografischen Stils ein sogenanntes *Mapfile* im XML-Format:

In dessen Wurzelement *Map* werden Parameter definiert, welche für die gesamte darzustellende Karte gelten. Zum Beispiel die Projektion beziehungsweise das Koordinatensystem und den Hintergrund.

Wichtigste Unterelemente von *Map* sind *Layer* sowie *Style*. In Layer-Elementen werden Datenquellen angegeben, zum Beispiel ein Shapefile oder eine PostGIS-Abfrage nach einem bestimmten Datentyp. Ausserdem wird angegeben, mit welchem Style der Layer gerendert werden soll. Die Reihenfolge der Layer gibt an, in welcher Reihenfolge die Styles gerendert werden. In den Styles werden *Rules*-Elemente zusammengefasst. In den Rules können grafische Filteroptionen angegeben werden, der Maßstabsbereich, in welchem die Regeln gelten und schließlich verschiedenste *Symbolizer*, um die grafische Darstellung der Daten zu definieren. Hier bietet Mapnik übliche Optionen wie Punkte, Linien, Flächen mit und ohne Muster, Text sowie zusätzlich einige speziellere Symbolizer für komplexere Darstellungen, zum Beispiel für Gebäude, Markierungen oder zum Einbinden von Rasterdaten an. (Mapnik-Wiki, 2012)

5.4 Renderregeln der Straßen in osm.xml

Für die Definition der Renderregeln der Karte auf www.openstreetmap.org wird ein umfangreiches Mapfile namens *osm.xml* (OpenStreetMap SVN) gepflegt.

osm.xml wurde über die Jahre von vielen verschiedenen Entwicklern bearbeitet, es wurden Fehler bereinigt, neue Funktionen von Mapnik ausgenutzt, Kartenelemente hinzugefügt oder entfernt.⁴

Nachfolgend werden beispielhaft die Regeln für die Straßenklasse "Primary" (OpenStreetMap SVN) detailliert erläutert:

Im Style *roads* wird nach Zoomstufen getrennt angegeben, wie breit und in welcher Farbe die Straße auf den Zoomstufen zwischen 7 und 11 gerendert wird. Zum Beispiel auf Zoomstufe 7 mit `stroke="#ec989a" stroke-width="0.5"`.

Für den Effekt der Straßenränder wird im Style *minor-road-casing* für die Zoomstufen 11 bis 18 angegeben, wie breit die Straße inklusive Seitenrändern gerendert wird sowie die Farbe dieser Ränder definiert. Für die Zoomstufe 13 zum Beispiel als `stroke="#8d4346" stroke-width="7.5"`. Würde nur dieser Style gerendert, so würde die so definierte einfarbige Linie in der Karte erscheinen. Im Style *minor-roads-fill* wird mit einer helleren Farbe (für das Beispiel Zoomstufe 13 `stroke="#ec989a"`) und einer geringeren Breite (hier `stroke-width="7"`) eine weitere schmalere Linie am selben Ort definiert. Diese wird "über" *minor-road-casing* gerendert, so dass eine 7,5 Pixel breite Linie entsteht, wobei jeweils 0,25 Pixel die Ränder darstellen.

In *minor-roads-casing-links* und *minor-roads-fill-links* werden Regeln für Ansehlußstraßen definiert.

Mit weiteren Styles werden gegebenenfalls der Straßenname (*roads-text-name*) und Schilder (*roads-text-ref*, *roads-text-ref-low-zoom*) gerendert.

Brücken und Tunnel werden gesondert in den Styles *bridges_fill*, *bridges_casing*, *tunnels_casing* und *tunnels_fill* behandelt.

⁴<https://trac.openstreetmap.org/log/subversion/applications/rendering/mapnik/osm.xml>

Zoomstufe	Motorway		Trunk		Primary		Secondary		Tertiary				
	Casing	Fill	Casing	Fill	Casing	Fill	Casing	Fill	Casing	Fill			
5		0.5		0.4									
6		0.5		0.4									
7		1		1		0.5							
8		1		1		0.5							
9		1.4		2		1.2							
10		2		2		2							
11		2.5		2.5		2.5		1					
12		2		2.5		2.5		1		1			
13	3	#506077	3	#477147	3	#8d4346	2.5	#a37b48	2	#fed7a5	1	#bbbbbb	
14	6.5	5	7.5	7	7.5	7	8.5	8	8.5	6	#bbbbbb	4.5	#ffffb3
15	6.5	5	7.5	7	7.5	7	8.5	8	8.5	6	#bbbbbb	4.5	#ffffb3
16	10	8.5	11.5	11	11.5	11	11.5	11	11.5	11	11	11	9.4
17	10	8.5	11.5	11	11.5	11	11.5	11	11.5	11	11	11	9.4
18	13	11	16	15.5	16	15.5	16	15.5	16	15.5	16	15.5	13
18	13	11	16	15.5	16	15.5	16	15.5	16	15.5	16	15.5	13

Abbildung 5.2: Tabellarische Darstellung der Renderregeln für Farben und Strichbreiten der behandelten Straßenklassen. Farben sind in hexadezimaler Schreibweise angegeben, Breiten in Pixel.

Abbildung 5.2 zeigt die Renderregeln der im Rahmen dieser Arbeit behandelten Straßenklassen in tabellarischer Form. Die Straßen sind mit einer Art unterbrochenem und gespiegeltem spektralen Schema klassifiziert. Eine spektrale Reihenfolge wäre Blau-Grün-Gelb-Orange-Rot. Hier ist es Blau-Grün-Rot-Orange-Gelb, also ein Bruch nach Grün und die Fortführung über den gespiegelten Rest. Dieses Schema dürfte rein farblich betrachtet für kaum jemanden intuitiv in diese Reihenfolge gebracht werden.

Die Sättigung der Farben nimmt von Motorway zu Tertiary zu, ebenso die Helligkeit.

All diese Elemente werden dabei im Bezug auf die Anzeige in geringen Ausdehnungen gerendert. In den niedrigen Zoomstufen werden die Straßen in Subpixel-Breite gerendert, durch Filtering und Antialiasing des Renderers kommt dabei es zu einer Veränderung der Farben, genauer gesagt zu einer Vermischung mit den Farben des jeweiligen Hintergrunds. In höheren Zoomstufen werden die betrachteten Straßen mit bis zu 16 Pixel Breite gerendert, dabei hat Motorway dort eine Breite von nur 13 Pixeln. Liegen 2 Fahrspuren dicht nebeneinander, so werden diese bei Überschneidungen der Ränder zusammengefasst, also verdoppelt sich die Breite damit gegebenenfalls.

5.5 Untersuchung des Kartenstils auf Probleme für Betroffene

Wie in Abschnitt 3.4 erläutert, sind bei bestimmten Farbkombinationen Probleme zu erwarten. Im Bezug auf die Straßen im OpenStreetMap-Stil sind dies besonders die Kombination Grün und Rot, also Trunk und Primary für Menschen mit einer Grünschwäche. Für Menschen mit einer Rotschwäche ist diese Kombination etwas weniger problematisch, dafür sind Grün (Trunk) und Orange (Tertiary) kaum zu unterscheiden (siehe Abbildung 5.3).

Trunk und Primary sind bei Deuteranopie und Protanopie in hohen Zoomstufen bei unmittelbarer Nachbarschaft zwar als unterschiedliche Klassen sichtbar, die Identifikation dürfte aber schwer fallen (siehe Abbildung 5.4). Werden sie in niedrigen Zoomstufen mit feinsten Linien dargestellt, so sind sie nicht unterscheidbar (siehe Abbildung 5.5). Während Normalsichtige die zwar feinen, aber doch deutlich sichtbaren roten und grünen Linien problemlos unterscheiden können, so ist dies für Grün- und Rotblinde unmöglich. Werden Motorway und Primary in gleicher Linienstärke auf niedrigen Zoomstufen (10 bis 12) dargestellt, so sind sie bei Protanopie schwer zu unterscheiden. Bei Protanopie sehen Trunk und Secondary nahezu identisch aus. Selbst bei direkten Verbindungen ist eine Unterscheidung kaum möglich. Es ist davon auszugehen, dass diese Klassen von den wenigsten Betroffenen eindeutig identifiziert werden können. Tertiary ist von allen Anopien in allen Zoomstufen

und Kombinationen identifizierbar und von anderen Klassen unterscheidbar. Motorway ist von der oben genannten Ausnahme für Protanopen abgesehen ebenfalls unterscheid- und identifizierbar.

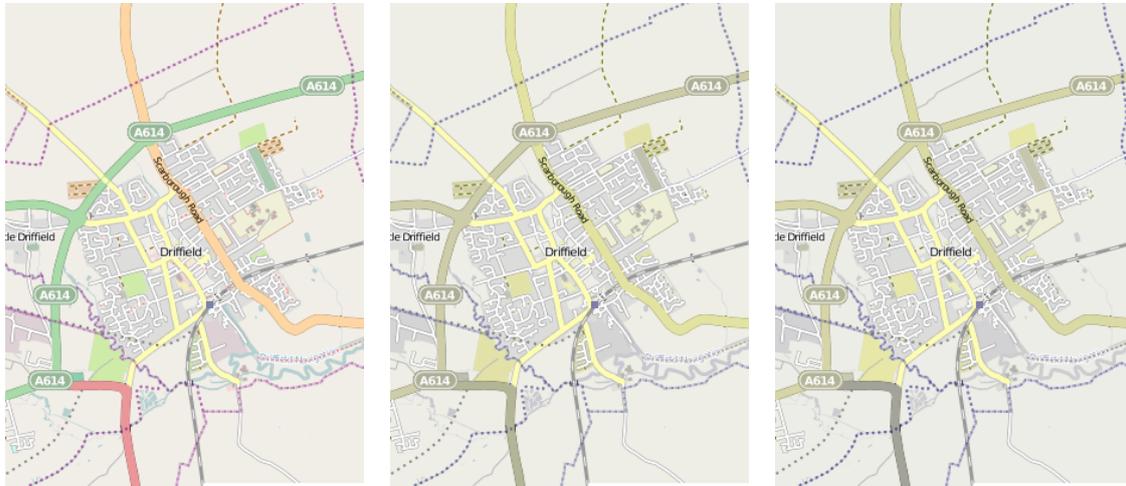


Abbildung 5.4: Links: Trunk, Primary und Tertiary auf Zoomstufe 13, Mitte: Simulierte Wahrnehmung eines Grünblinden, Rechts: Simulierte Wahrnehmung eines Rotblinden. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)

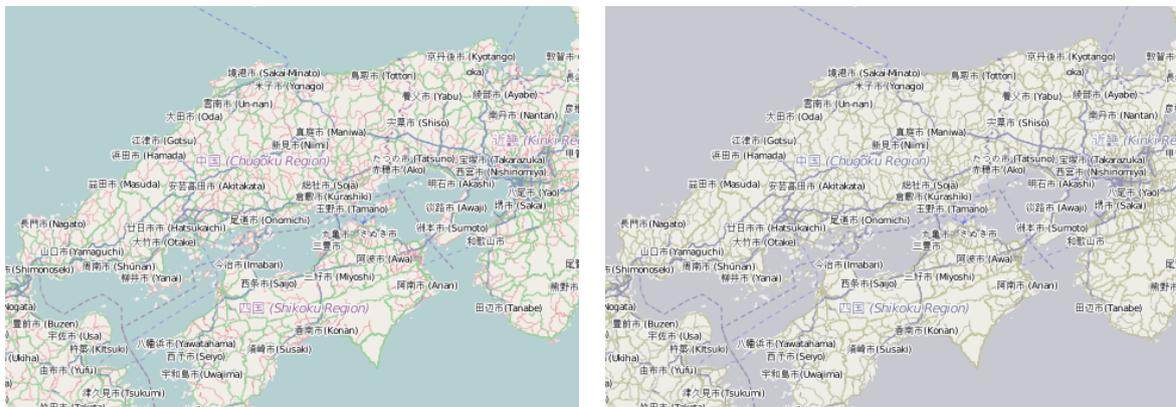


Abbildung 5.5: Links: Trunk und Primary auf Zoomstufe 7, rechts: Simulierte Wahrnehmung eines Grünblinden. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)

Während für Normalsichtige die Klassifikation der Straßen zwar nicht unbedingt intuitiv, aber deutlich und klar unterscheidbar ist, sehen Deuteranopen und Protanopen die Klassen unterhalb Motorway in relativ ähnlichen, grün-gelb-grau-braunen Farbtönen (siehe Abbildung 5.3 (2) und (3)). Dadurch entsteht beim betroffenen Betrachter der Eindruck einer sequentiellen Rangfolge für die tatsächlich qualitative Einteilung (vgl. Abschnitt 3.2). Da die Farbe für Primary dunkler ist als die des Trunk wird eine sequentielle Rangfolge Motorway-Primary-Trunk-Secondary-Tertiary suggeriert. Trunk und Primary werden in der Hierarchie vertauscht.

	Motorway	Trunk	Primary	Secondary	Tertiary
1					
2					
3					
4					

Abbildung 5.3: Die primären Farben der untersuchten Straßenklassen. Von oben: Normal (1), simulierte Deuteranopie (2), simulierte Protanopie (3), simulierte Tritanopie (4).

Für Blaublinde sind alle Straßenklassen gut zu unterscheiden (siehe 5.3 (4)). Sogar die Rangfolge ist “richtig”, sofern der Betrachter blaue Töne als höherwertig ansieht als die roten.

Zu Sichtbarkeitsproblemen kommt es bei den Straßen auch, je nachdem auf welchem Hintergrund beziehungsweise in welchem Kontext sie gerendert werden. Ein grüner Trunk in einem Waldgebiet ist in niedrigen Zoomstufen auch für Normalsichtige kaum zu erkennen. Bei Grün- und Rotblindheit ist hier auch Primary problematisch, bei Rotblindheit besonders auch Secondary. Tertiary ist auf den Zoomstufen 10 bis 12 als graue Linie für alle Menschen kaum zu sehen. Auf höheren Zoomstufen, in denen die Straßen mit Rand gerendert werden, ist die Sichtbarkeit vor grünem Hintergrund verbessert.

Auch in Stadtgebieten gibt es solche Probleme. Für Deuteranopen sind Primary-Straßen in den mittleren Zoomstufen vor einem detaillierten Stadtbild schlecht zu sehen (siehe Abbildung 5.6). Für Protanopen ist dagegen Secondary ähnlich unscheinbar. Werden viele Gebäude dargestellt, so ist bei Protanopie der Kontrast zu Primary gering. Für OpenStreetMap ist dies ungünstig, schließlich sind die Straßen selbst Namensgeber und in vielen Anwendungsbereichen essentiell. Zwar sollten Straßen durch ihre Darstellung anderen Kartenelementen gegenüber nicht stark überbewertet werden, sie sollten jedoch deutlich erkennbar sein und in Form und Klasse möglichst direkt vom Betrachter erkannt werden.

Problematisch für die Identifikation von Kartenelementen ist auch die teilweise falsche Legende auf www.openstreetmap.org (zugänglich über den Link “Map Key”). Zum Zeitpunkt dieser Arbeit (Oktober 2012) wurden hier die Straßenklassen mit teilweise dunkleren Farben als im Kartenbild dargestellt. Randbreiten wurden dabei überproportional dick gezeichnet. Die Auswahl der in der Legende gezeigten Kartenelemente wurde zwar pro Zoomstufe getroffen, die Darstellung dabei allerdings nicht an zoomstufen-abhängige Farbänderungen, wie etwa bei der Straßenklasse Tertiary, angepasst.

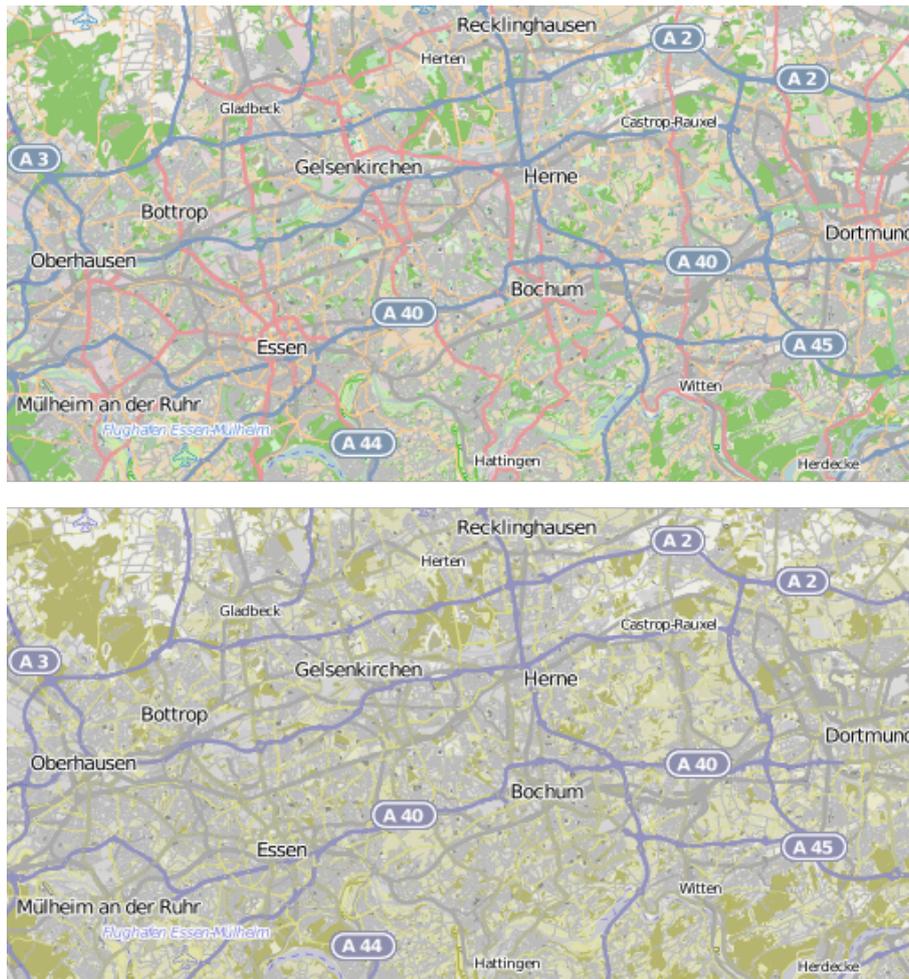


Abbildung 5.6: Schlechte Sichtbarkeit von Straßen im Stadtgebiet. (Quelle: © OpenStreet-Map contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)

6 Erarbeitung verbesserter Farben

In diesem Kapitel werden die bestehenden Farben der Straßenklassen verändert, um ihre Eignung für Menschen mit Farbsinnstörungen zu verbessern. Dazu werden zunächst Ziele der Farbänderung gesetzt. Möglichkeiten, wie die Farbparameter verändert werden können werden dargestellt. Die Arbeitsumgebung wird vorgestellt. Der Findungsprozess der Farbmischung wird erläutert und das Konzept eines Farbgitters zur Detektion von Verwechslungsproblemen vorgestellt. Abschließend wird ein neues Farbschema vorgeschlagen.

6.1 Zielsetzung

Das Ziel der Farbänderungen sind Farben, welche auch für Menschen mit Farbsinnstörungen ...

- die eindeutige Identifikation der Straßenklassen ermöglichen,
- die Straßenklassen untereinander klar unterscheidbar machen,
- für Rot-/Grünblinde keine irreführende Hierarchie suggerieren und
- diese Bedingungen möglichst auf jedem Kartenhintergrund erfüllen.

Die Farben sollen dabei die ursprüngliche Farbgebung bestmöglich erhalten. Dies schränkt die in Abschnitt 3.4 vorgestellten Änderungsmöglichkeiten stark ein.¹ Es wurden ausschließlich Farbänderungen auf Basis der bestehenden Farben durchgeführt. Es wurden weder Strichstärken verändert noch Schraffuren oder Beschriftungen eingefügt.

6.2 Möglichkeiten der Farbänderung

Veränderung des Farbtons Um durch eine Änderung des Farbtons Probleme durch Farbschwächen zu beheben, ist eine verhältnismäßig starke Änderung desselben erforderlich. Dies führt dementsprechend schnell zu einem stark veränderten Kartenbild und ist damit im Rahmen dieser Arbeit nicht erstrebenswert. Darüberhinaus kann eine Veränderung für eine bestimmte Farbsinnstörung zwar zu einer Verbesserung führen, für eine andere aber zu einer Verschlechterung. Eine Veränderung des grünen Trunk zu einem blauerem Ton zum Beispiel macht die Unterscheidung zwischen Trunk und Primary zwar für Deuteranopen möglich, erfordert dabei aber eine starke Veränderung um dabei auch für Protanopen unterscheidbar zu bleiben. Dies führt zu einem im Vergleich zu Motorway und Primary blasser wirkenden Farbton.

Veränderung der Sättigung Die Sättigung der Straßenfarben nimmt vom Motorway (86) zur Tertiary (255) stetig zu. Eine Erhöhung der Sättigung beim graublauen Motorway führt schnell zu einem Himmelblau. Beim blassgrünen Trunk käme ein helles Grasgrün zustanden. Die rote Primary-Klasse hat bereits eine Sättigung von 176, eine Erhöhung

¹So wurde das Diagramm von Brewer (2005) (siehe Abschnitt 3.4) nicht verwendet und damit auch das diesem zugrunde liegende Konzept der *confusion lines* leider nicht weiter verfolgt, mehr dazu in Kapitel 9.

führt zu keiner großen Veränderung der Farbe, der blassgraue Rot-Ton wird bloß zu einem gesättigtem, weiterhin eher blassen Rot. Secondary und Tertiary sind bereits so gesättigt, dass eine Verstärkung keine sichtbaren Auswirkungen hätte. Bei allen Farben würde eine Verringerung der Sättigung schnell zu sehr grauen Tönen führen. Die Veränderung der Sättigung allein ist somit kein sinnvoller Ansatz.

Veränderung der Helligkeit Wie von Brewer (2005) beschrieben (siehe Abschnitt 3.4), ist die Veränderung der Helligkeit ein guter erster Ansatz. In Rahmen dieser Arbeit ist es aber nicht so einfach, da ja das gesamte Kartenbild sehr detailliert ist und nicht ausschließlich die Straßen zeigt.

Hierbei ist problematisch, dass eine Abstufung der Helligkeiten gegebenenfalls eine Reihenfolge vermittelt. Rot und Grün müssten eine starke Helligkeitsdifferenz haben, um nicht verwechselt zu werden. Da sie aber in der hierarchischen Reihenfolge der Straßenklasse direkt nebeneinander und "mittig" sind, bliebe nicht viel für die anderen Klassen über, wenn man den Helligkeitszuwachs kontinuierlich von Motorway zu Tertiary machen wollte. Würde die Helligkeit der anderen Klassen so angepasst, dass dennoch der gesamte Helligkeitsbereich visuell gleichmäßig aufgeteilt würde, so könnte eine völlig falsche Hierarchie suggeriert werden. Da die Farben ohnehin nicht intuitiv lesbar sind, wäre dies nur eine Verschlechterung, jedenfalls für Normalsichtige.

Eine Verringerung der Helligkeit von Motorway und Trunk auf ähnliche Werte erscheint auf den ersten Blick als eine einfache Lösung. Die Farbtöne sind nun unterschiedlich genug, um von allen Farbblindheiten unterschieden zu werden. Die "Trennung" von Motorway und Trunk von den anderen Klassen erscheint sinnvoll erklärbar. Sind die Straßen aber sehr klein, so sind diese beiden Klassen schon für Normalsichtige nicht mehr unterscheidbar.

Veränderung mehrerer Parameter in Kombination Zur Findung geeigneter Farben ist also eine Kombination von Änderungen der Farbtöne, Sättigungen und Helligkeiten der Straßenfarben nötig. Dabei ist besonders die gemeinsame Änderung von Farbton und Helligkeit wirkungsvoll (Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2). Es ist zu beachten, dass durch Änderungen an einem Parameter die anderen Parameter neue Möglichkeiten bieten. Dementsprechend ist ein iterativer Prozess angebracht.

6.3 Arbeitsumgebung

Für die Findung geeigneter Farben wurde Inkscape² verwendet, ein Vektorzeichenprogramm. Inkscape unterstützt das HSL-Modell zur Auswahl von Farben. Farbwerte werden bei Inkscape intern als 8-Bit RGBA-Werte verwaltet, HSL-Werte werden dazu vom Programm hin- und hertransformiert. Dies führte immer wieder zu kleinen Abweichungen im niedrigen einstelligen Bereich. Wird etwa bei der Farbe "110, 104, 150" in HSL die Sättigung um 1 auf 105 erhöht, so hat dies keine Auswirkung auf den resultierenden RGB-Wert. Inkscape springt bei der nächsten Gelegenheit zurück auf 104. Wird stattdessen die Helligkeit in einzelnen Schritten (± 1) verändert, so ändert Inkscape auch die Sättigung. Dies geschieht nicht, wenn die Helligkeit etwa um einen Wert von 10 verändert wird. Im Rahmen dieser Arbeit stellte dies nach anfänglicher Verwirrung kein Problem dar, da Farbänderungen stets in größeren Wertunterschieden gemacht wurden. Im genannten Wertebereich ist ein Farbunterschied einer Farbe zu einer ähnlichen im Alltag nicht sichtbar. Unreinheiten würden allenfalls bei Farbverläufen als Bandingeffekte auftreten, im Rahmen dieser Arbeit wurde nicht mit Farbverläufen gearbeitet.

²<http://inkscape.org/>

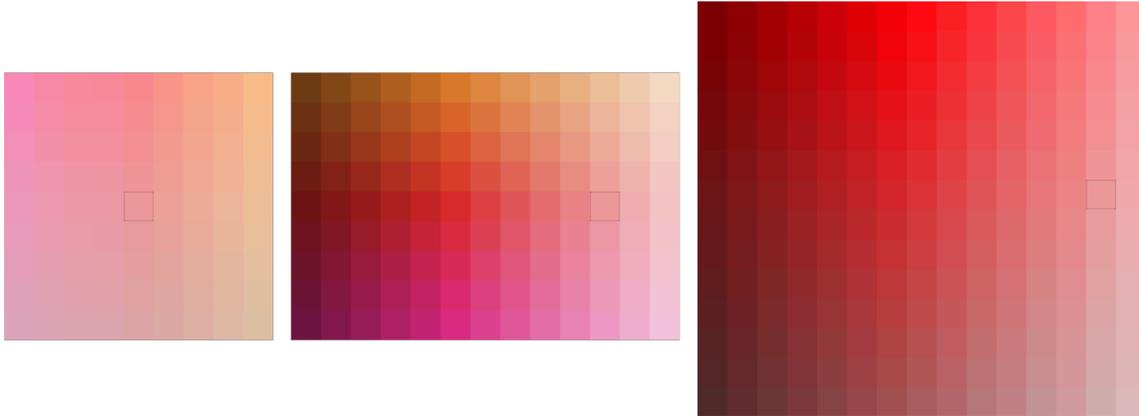


Abbildung 6.1: Gleichzeitige Änderung mehrerer HSL-Parameter für die Farbe von Primary. Grau eingerahmt ist jeweils die Ursprungsfarbe.

Dabei wurden die Werte nach rechts und oben vergrößert.

Links: Änderung des Farbtons horizontal, Änderung der Sättigung vertikal,

Mitte: Helligkeit horizontal, Farbton vertikal,

Rechts: Helligkeit horizontal, Sättigung vertikal.

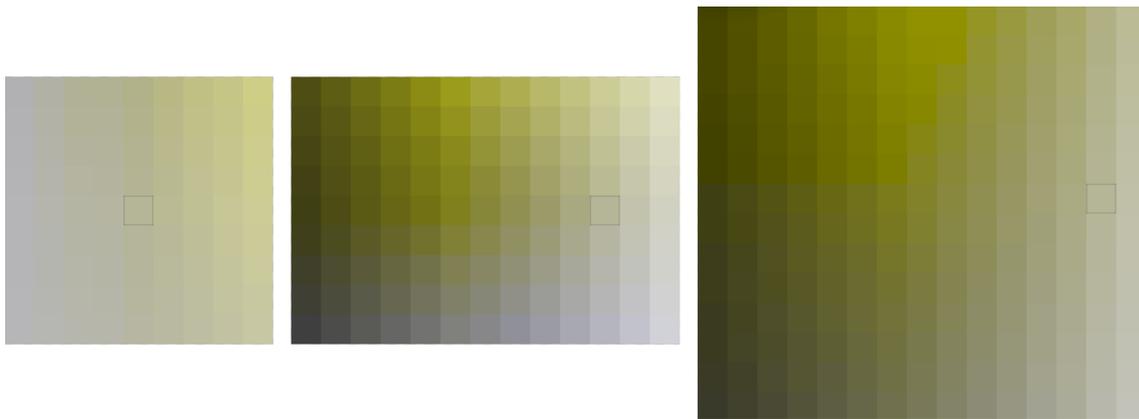


Abbildung 6.2: Simulierte deuteranopische Darstellung von Abbildung 6.1.

Ein nicht kalibrierter Monitor LG Flatron L227WTP wurde benutzt. Die Farben wurden auf mehreren anderen Anzeigegeräten überprüft: Netbook Asus Eee PC 1015PN, Smartphone HTC Desire, Apple iPad erster Generation. Damit wurde in einem realistischen Rahmen entwickelt (siehe Abschnitt 7.2), anstatt unter klinisch idealen Bedingungen zu arbeiten. Die Farben sollen schließlich später im Test und "im Feld" auch auf einer Vielzahl von unkalibrierten Geräten keine Probleme bereiten.

Geeignete Farben wurden in einem iterativen Prozess erarbeitet und jeweils mithilfe der Simulationsprogramme auf ihre Eignung geprüft. Dabei wurden die in Abschnitt 6.1 genannten Ziele berücksichtigt.

6.4 Farbfindungsprozess

Um geeignete Farben zu finden, wurde iterativ eine Farbe zur Zeit verändert und die Auswirkungen dieser Änderung mithilfe der Simulationsprogramme (siehe Abschnitt 2.3) überprüft.

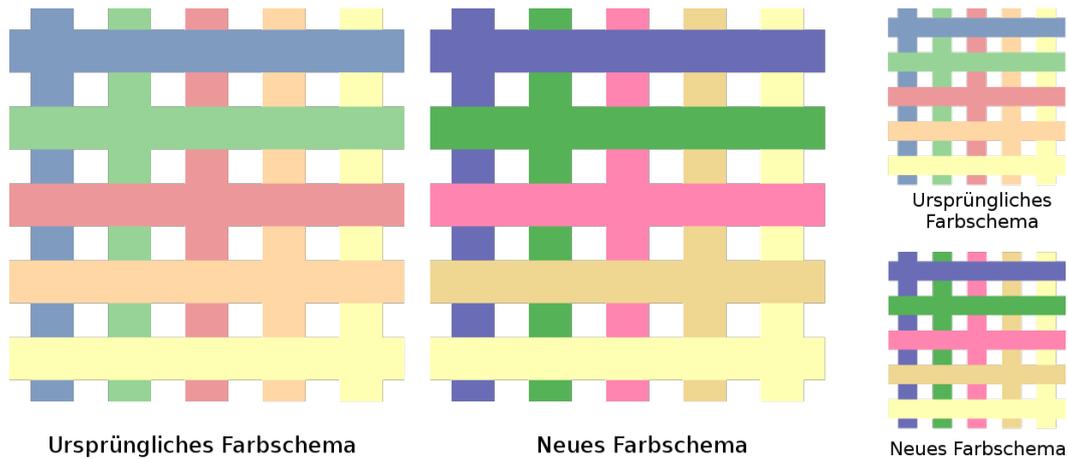


Abbildung 6.3: Farbgritter der ursprünglichen sowie der erarbeiteten Farben in unterschiedlicher Skalierung.

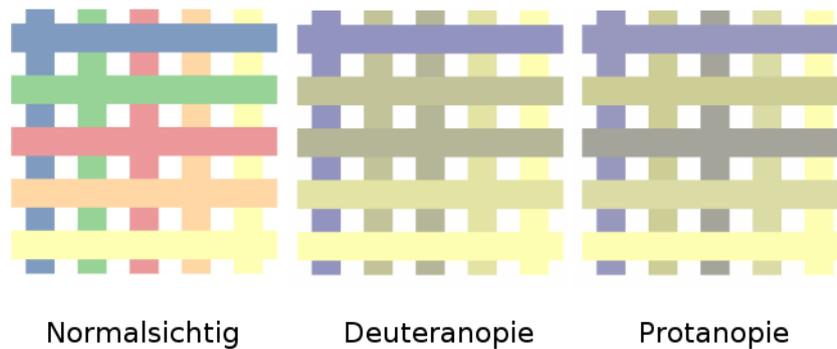


Abbildung 6.4: Farbgritter der ursprünglichen Farben in normaler Farbwahrnehmung, simulierter Deuteranopie und Protanopie.

Zur schnellen und einfachen Prüfung der Unterscheidbarkeit der Farben wurden diese in einem Gitter dargestellt, in welchem jede Farbe einmal auf jede andere trifft (siehe Abbildung 6.3). Abbildung 6.4 zeigt ein Farbgritter der ursprünglichen Farben in verschiedenen Farbsinnstörungssimulationen.

Es zeigte sich, dass die Betrachtung der Farben nur im echten Kontext, also mit den definierten Breiten und im echten Kartenbild, sinnvolle Aussagen über die Eignung erlaubt (vgl. Abschnitt 3.3).

Nachfolgend wird der Findungsprozess der später auch getesteten, erarbeiteten Farben in Kurzform beschrieben. In Abbildung 6.5 sind die einzelnen Iterationsschritte nummeriert.

Als Hauptproblem wurde zunächst die Kombination von Rot und Grün angepasst. Eine Helligkeitsverringern (-15 L) beim Rot verbessert die Unterscheidbarkeit zum Grün für Deuteranopie auf hohen Zoomstufen erheblich. Der Farbton ist allerdings in der scheinbaren Helligkeit dem Blau in niedrigen Zoomstufen so ähnlich, dass hier eine Unterscheidung für Deuteranopien schwer und für Protanopien nicht mehr möglich ist. (2)

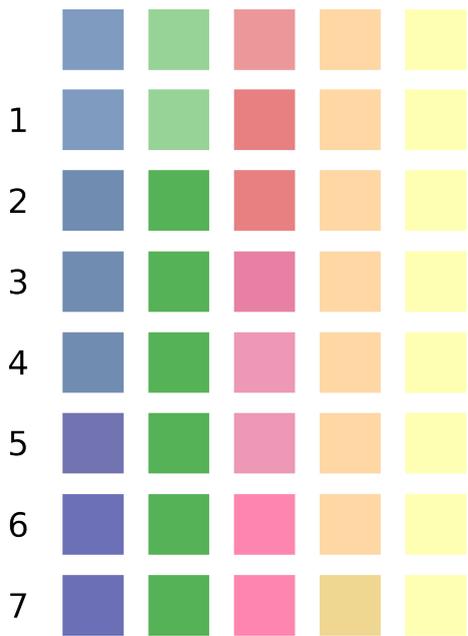


Abbildung 6.5: Iterativer Prozess zur Findung geeigneter Farben.

Demzufolge wurde die Helligkeit des Blau verringert (-15 L). Nun ist die grüne Farbe des Trunk im Vergleich zu Blau und Rot auffällig blass und hell. Eine Verringerung um denselben Betrag würde der Ausgangssituation ähneln. Stattdessen wurde die Helligkeit des Grün um 50 L verringert. Gleichzeitig wurde die Sättigung um 20 S verringert (3). Damit ist für Protanopie ausreichender Kontrast zwischen Trunk und Secondary vorhanden.

Das so entstandene Farbschema ist zwar bei Protanopie und Tritanopie anwendbar, bei Deutanopie jedoch sind Rot und Grün erneut sehr ähnlich.

Als einfachste Änderung bietet sich eine Verschiebung des Farbtons der roten Farbe zu einem bläulichen, also pinken Ton. Dazu wurde der Farbton um -15 H verschoben. Primary hat nun eine dunkle altrosa Farbe. Für Deutanopen deutlich unterscheidbar, für Protanopen jedoch dem Motorway-Blau zu ähnlich. (4)

Das Zurücksetzen der Helligkeit um +15 L auf den Ursprungswert behebt dies. (5)

Bei Protanopie sind nun Motorway und Primary sehr ähnlich. Eine Verschiebung des Blau-Tons um +15 H (in Richtung Rot) behebt dieses Problem. (6)

Um ein einheitliches Farbschema zu erhalten, wurde letztendlich bei Motorway und Primary die Sättigung um +10 S beziehungsweise 80 S erhöht. Um bei Deutanopie und Protanopie die Secondary deutlicher zu machen, wurden bei dieser Sättigung um -50 S verringert und die Helligkeit um -15 L. Dies passt auch für Normalsichtige den Farbton an die kräftigeren Motorway, Trunk und Primary an. (7)

6.5 Das neue Farbschema

Tabelle 6.1 zeigt die vorgeschlagenen Farben und ihre Farbwerte. Abbildung 6.3 zeigt die vorgeschlagenen Farben in Gitterdarstellung. Abbildung 6.6 zeigt einen Kartenausschnitt mit Straßen im neuen Farbschema sowie entsprechende Simulationen in Deutanopie, Protanopie und Tritanopie.

HSL-Werte	Grafik	Klasse	Grafik	HSL-Werte
152,86,160		Motorway		168,86,144
85,103,181		Trunk		85,95,132
254,176,194		Primary		240,255,194
24,249,210		Secondary		31,190,192
42,255,217		Tertiary		42,255,217

Tabelle 6.1: HSL-Werte und Farben des ursprünglichen (links) und des vorgeschlagenen Farbschemas (rechts).

Die Farben der Ränder werden dabei den neuen Farbtönen angepasst, ihre Sättigung und Helligkeit wird erhalten. Für Primary zum Beispiel ist die ursprüngliche Randfarbe in HSL $253,91,104$, die neue damit $240,91,104$.

Die neuen Farben haben stärkere, weniger blasse Farbtöne. Das vorher leicht graue Blau ist sehr dunkel und wirkt gesättigter. Das Grün hat seinen Farbton behalten, ist aber ebenfalls dunkler und weniger blass. Der Rot von Primary ist zu einem Pink verändert worden. Secondary ist kaum verändert, es wirkt etwas dunkler und gesättigter. Tertiary ist unverändert.

Die Farben werden zur Verwendung auf allen Zoomstufen empfohlen.

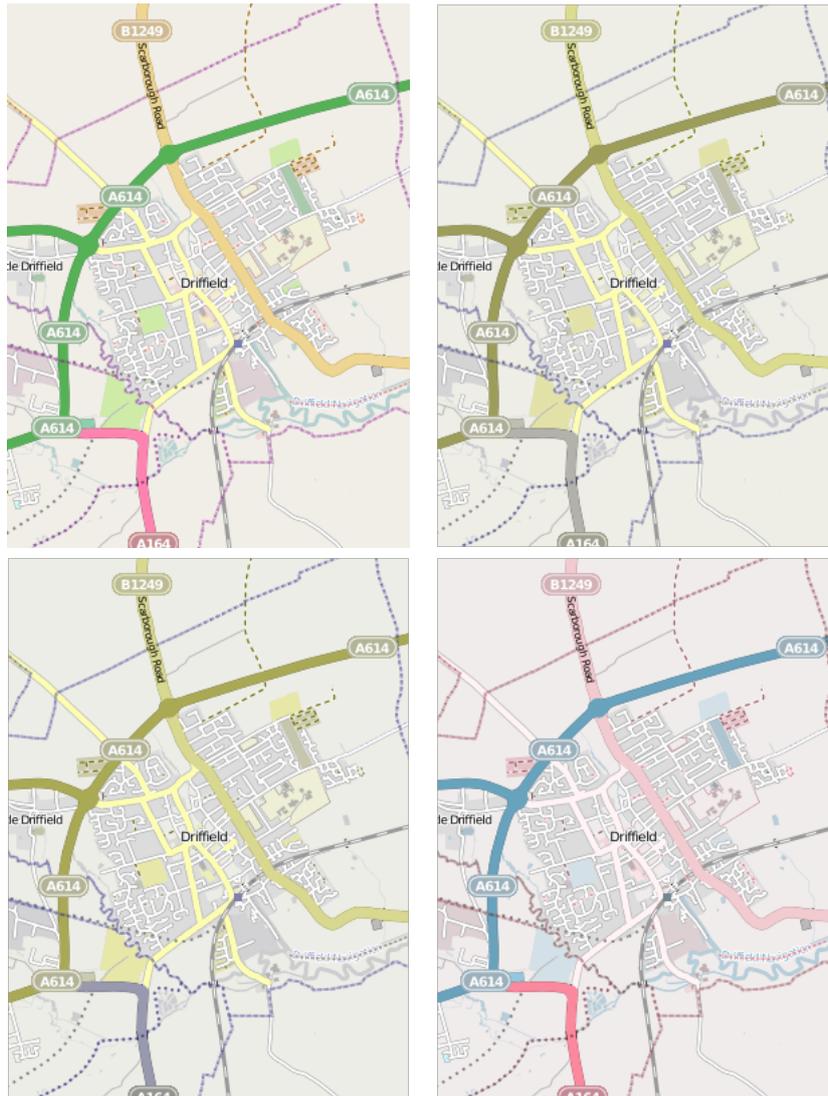


Abbildung 6.6: Ein Kartenausschnitt mit Verwendung des neuen Farbschemas auf Zoomstufe 13. Von links nach rechts: Normalsichtig, Deuteranopie, Protanopie, Tritanopie. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)

7 Test der Farbschemata

In diesem Kapitel werden zunächst theoretische Hintergründe zum Testdesign erarbeitet. Testaufgaben werden entworfen und anschließend detailliert vorgestellt. Die für eine Onlineumfrage verwendete Software wird vorgestellt. Die Durchführung der Umfrage wird beschrieben.

7.1 Allgemeine Hypothesen

In einem Test sollen das ursprüngliche und die neu erarbeiteten Farben erprobt werden. Dabei sind die Hypothesen, dass erstens das bestehende Farbschema der Straßenklassifikation bei Farbsinnstörungen Probleme bereitet und zweitens, dass das veränderte Farbschema diese Probleme eliminiert oder zumindest verringert. Im Folgenden werden Experimente erarbeitet, um diese Hypothesen mit Betroffenen zu testen. Als Testaufgaben wurden Kartenbilder erdacht, in denen über die Farbe von Straßen ihre Klassen identifiziert werden sollen. Kartenbilder werden im ursprünglichen und im veränderten Farbschema gezeigt. Für die Zuordnung der Farben zu Straßenklassen dient eine grafische Legende.

7.2 Testdesign

Mit einer repräsentativen Umfrage wird versucht, die Ergebnisse auf Nicht-Teilnehmer zu extrapolieren (Martin, 2007). Zu diesem Zweck soll eine Onlineumfrage durchgeführt werden.

Unkontrollierbare Einflüsse können die Ergebnisse eines Experiments verfälschen beziehungsweise zu falschen Annahmen führen, dies sind hier:

- Menschen sind generell verschieden.
- Farbsinnstörungen sind sehr unterschiedlich stark ausgeprägt, tatsächliche Blindheiten für eine oder mehrere Farben sind selten. Schwache Anomalien sind häufiger.
Viele Betroffene wissen nicht sicher, was für eine Farbsinnstörung sie haben.
- Teilnehmer aus Großbritannien sind mit dem Farbschema vermutlich vertraut und könnten damit möglicherweise durch Vorkenntnisse und Erfahrung die Straßen besser identifizieren. Teilnehmer, welche OpenStreetMap.org, dessen Kartenkacheln oder ein auf demselben Kartenstil basierendes Produkt regelmäßig benutzen, kennen das Farbschema und sind möglicherweise auch mit der Klassen-Reihenfolge vertraut. Sie wäre damit den Briten gleichzustellen.
- Die von den Teilnehmern verwendeten Anzeigeräte (Röhrenmonitor, TFT, LCD, OLED, etc.) haben verschiedene Farb-Charakteristika, -temperaturen und generelle Einstellungen. Damit werden die Farben überall anders dargestellt. Es ist nicht davon auszugehen, dass eine relevante Anzahl von Teilnehmern kalibrierte Anzeigeräte verwendet. Dies wäre hinsichtlich der späteren Verwendung in der Praxis auch nicht erwünscht. Auch die Wirkung des Umgebungslichts ändert den Eindruck der Farben.

- Menschen haben unterschiedliche Kompetenzen beim Kartenlesen. Ein versierter Nutzer wird besser mit einer Legende umgehen können. Dies ist beim Design der Aufgaben und der Auswertung zu berücksichtigen. Die Kartenbilder sollten einfach sein.

Um diese Einflüsse zu berücksichtigen, könnte eine strenge Auswahl der Teilnehmer getroffen werden, zum Beispiel ausschließlich Menschen aus nicht-Großbritannien mit farbkalibrierten Monitoren. Damit würde aber zum einen das mögliche Feld an Teilnehmern verkleinert, zum anderen eine unrealistische Umgebung hergestellt. Das Ergebnis der Arbeit, ein verbessertes Farbschema, soll schließlich möglichst für jedermann in allen Bedingungen geeignet sein. Da wäre es kontraproduktiv den Test auf ein kleineres, wenn auch genaueres Feld zu beschränken. Stattdessen werden einige dieser Eigenschaften vom Teilnehmer abgefragt (siehe Abschnitt 7.4).

Da ein qualitativer Test über individuelle Befragungen im Rahmen dieser Arbeit wegen des hohen Aufwands nicht möglich ist, wurde ein quantitativer Test durchgeführt. Bei einem quantitativen Test können die Teilnehmer nicht frei antworten, sondern wählen klar definierte Antworten. Die unabhängige Variable des Tests ist "altes Farbschema ODER neues Farbschema", die abhängige Variable die Antworten des Teilnehmers. Über korrelierende Beobachtungen können Abhängigkeiten zwischen ihnen abgeleitet werden (Martin, 2007). Geben etwa 90% der von Deuteranopie betroffenen Teilnehmer an, ein bestimmtes Kartenbild nicht lesen zu können, eine ähnliche Anzahl der Teilnehmer mit Tritanopie dagegen schon, so ist davon auszugehen, dass die Deuteranopie der Grund für dieses Ergebnis ist, nicht andere Eigenschaften des individuellen Teilnehmers.

Für ein sicheres und reproduzierbares Testergebnis ist eine hohe Anzahl von Teilnehmern nötig (Martin, 2007). Die Vielfalt von Farbsinnstörungen ist dabei problematisch. Um störungsspezifische Aussagen treffen zu können, müssten von jedem Typ Farbsinnstörung eine ausreichende Anzahl von Teilnehmern gefunden werden. Zwar sind für das Endergebnis sämtliche Antworten gemeinsam auszuwerten, jedoch legt die große Spannbreite verschiedener Farbsinnstörungen nahe, diese möglichst differenziert zu betrachten.

Da die Auswahl der Teilnehmern nicht im Voraus getroffen wird und damit keine vollständige Kontrolle über die Art oder Anzahl der Teilnehmer möglich ist, kann kein *between subjects*-Test gemacht werden. Bei einem solchen Test würde eine Gruppe von Teilnehmern ausschließlich das ursprüngliche, eine zweite Gruppe ausschließlich das veränderte Farbschema in ihren Fragen präsentiert bekommen. Martin (2007) nennt ausgerechnet die Farbenblindheit als Beispiel für eine Zielgruppe, bei welcher die Findung von genügend Teilnehmern problematisch sei. In diesem Fall rät er zu einem *within-subjects*-Test, also der Präsentation aller Fragen bei allen Teilnehmern. Dieser Ansatz hat den zusätzlichen Vorteil, dass sich die Unterschiede zwischen den Teilnehmern ausgleichen. Mehr oder weniger zufällige Menschengruppen könnten zueinander noch Unterschiede haben, welche die Ergebnisse verfälschen. Bildet man eine Gesamtgruppe, so werden diese bestmöglich verteilt. Statistisch ein Vorteil, so Martin (2007).

Bei einem längeren Test ähnlicher Fragen kann es beim Teilnehmer zu Lerneffekten kommen, welche im Rahmen des Tests unerwünscht wären. Um die Einflüsse dieser auf die Ergebnisse zu minimieren, schlägt (Martin, 2007) das Verfahren der *Latin Squares* vor. Die Fragen werden dabei jeweils einmal in jeder möglichen Reihenfolge gefragt. Bei einem offenen Teilnehmerfeld wie im Rahmen dieser Arbeit, kann dieses Verfahren nicht

angewandt werden, denn es müssten für eine statistisch richtige Aussage mindestens genauso viele Teilnehmer teilnehmen, wie Fragen gestellt werden. Dies konnte nicht erwartet werden.

Eine Alternative ist eine für jeden Teilnehmer zufällige Reihenfolge der Fragen in der Hoffnung, mögliche Lerneffekte dadurch im Teilnehmerfeld so zu verteilen, dass sie durch die Menge der Antworten keine Auswirkungen auf die Ergebnisse haben.

Da Unterschiede zwischen zwei Farbschemata getestet werden, handelt es sich nach Martin (2007) um einen *2-Level-Test*. Im Fokus steht die Frage, ob die neuen Farben besser geeignet sind oder nicht. Dabei können durch das Design des Tests und der Fragen einige differenziertere Aussagen über die Begebenheiten gemacht werden, unter welchen ein Farbschema besser oder schlechter funktioniert, etwa die Eignung für bestimmte Farbsinnstörungen oder Probleme auf bestimmten Zoomstufen.

Mit einem 2-Level-Test kann keine Aussage darüber gemacht werden, wie Farben zwischen altem und neuem Schema (*Interpolation*) oder im Bezug auf Farbton, Sättigung und Helligkeit noch stärker veränderter Farben (*Extrapolation*) zu bewerten wären. Dazu müsste ein *Multilevel-Test* durchgeführt werden, also ein Test vieler einzelner und kombinierter Änderungen der Farbparameter. Es gibt 3 Farbparameter (H, S, L), die theoretisch jeweils 256 mögliche Werte haben (wobei natürlich nur eine Untermenge zur Farbfindung sinnvoll wären). Es wurden 5 Straßenklassen untersucht. Alle Farbkombinationen müssten in allen Straßenkombinationen getestet werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen. Dies wäre praktisch unmöglich. Ein solcher Test wäre im Rahmen dieser Arbeit ohnehin nicht angebracht, auch wenn es gegebenenfalls interessant wäre, darüber auf die Suche nach einem "perfekten" Farbschema zu gehen.

Die Vorgehensweise bei der Anwerbung und Auswahl von Teilnehmern kann das Ergebnis auf zwei Arten verzerren (engl. *bias*, dt. *Neigung*, *Voreingenommenheit*, *Verzerrung*).

Das *nonresponse bias* (engl. für *Schweigeverzerrung*) beschreibt das Fehlen der Antworten von Nicht-Teilnehmern und die dadurch entstehende Verfälschung der Ergebnisse (Martin, 2007). Nähmen etwa keine von Protanopie betroffene Menschen an der Umfrage teil und geschähe die Auswertung unter der Annahme, dass alle Farbsinnstörungstypen gleichmäßig vertreten seien, so würden die fehlenden Antworten dieser Gruppe zu einer falschen Interpretation der Ergebnisse führen.

Eine Nicht-Teilnahme kann vielfältige Ursachen haben. Zunächst müssten Betroffene natürlich überhaupt von der Umfrage erfahren. Dafür kann durch sorgfältige Werbung gesorgt werden (siehe Abschnitt 7.9). Gründe, die direkt mit einer spezifischen Farbsinnstörung zusammenhängen, sind eher nicht zu erwarten. Eine Ausnahme ist die geringere Sehschärfe bei Monochromasie und Achromatopsie, diese verhindert Betroffenen höchstwahrscheinlich die Teilnahme. Es ist zu vermuten, dass von starken Farbsinnstörungen Betroffene die Umfrage möglicherweise abbrechen, sofern die Beantwortung der Fragen häufig nicht möglich ist oder sehr viel Zeit in Anspruch nimmt. Ein weiteres Kriterium für den Teilnehmer kann das Thema der Kartografie sein. Ist dies für den Betroffenen nicht von Interesse, so wird er gegebenenfalls von der Teilnahme absehen.

Solange eine Nicht-Teilnahme eine zufällige individuelle Entscheidung ist und nicht eine komplette Untergruppe der Betroffenen betrifft, bleibt das Ergebnis repräsentativ. Je mehr Menschen teilnehmen, desto weniger Auswirkung hat ein *nonresponse bias*, so Martin (2007). Durch die Abfrage der jeweiligen Farbsinnstörungen der

Teilnehmer kann eine ursprünglich angenommene Verteilung gegebenenfalls revidiert werden und eine verfeinerte Aussage getroffen werden, welche Menschengruppen repräsentiert wurden.

Bei der Auswahl der Teilnehmer kann es zu einem *self-selection bias* (engl. für *Selbstselektion*) kommen. Entscheiden die Teilnehmer selbst, ob sie teilnehmen oder nicht, so spielt ihr eigenes Interesse am Thema eine große Rolle. Da Farbsinnstörungen als zumeist vererbte Defekte kaum vom Individuum abhängen, ist dies im Rahmen dieser Umfrage nicht allzu problematisch. Es ist zu vermuten, dass eher stärker betroffene Menschen teilnehmen, da diese vermutlich ein größeres Anliegen an der Verbesserung haben und sich gegebenenfalls auch schon mehr mit ihrer Farbsinnstörung auseinandergesetzt haben. Dies ist für die Aussagekraft der Ergebnisse in diesem Fall eine begrüßenswerte Selbstselektion. Eine Selbstselektion von Menschen, die an der Kartografie an sich interessiert sind, könnte zu verhältnismäßig mehr richtigen Antworten führen, da diese wohl mit der Interpretation von Kartenbildern vertrauter sind als Aussenstehende.

7.3 Entwurf der Testaufgaben

Die Auswahl von Testaufgaben und ihre Implementation ist entscheidend für die Aussagekraft der Umfrage. Im Folgenden sind die entworfenen Aufgaben beschrieben, der Findungsprozess, zugehörige Hypothesen und entsprechende Erwartungen erläutert.

Ursprünglich wurde geplant verschiedene Testgebiete im "Echtwelt"-Datenmaterial zu suchen, um möglichst reale Tests durchzuführen. Im Laufe der Suche und Definition von Hypothesen sowie entsprechenden Tests wurde deutlich, dass in einem detaillierten realen Kartenbild zuviele unkontrollierbare Einflüsse die Interpretation stören könnten. Die Umgebung einer abgefragten Straße kann (richtige oder falsche) Hinweise auf ihre Klasse geben, der Verlauf der Straße selbst kann auf die fahrbaren Geschwindigkeiten hindeuten.

Also wurden spezielle synthetische Straßenverläufe erarbeitet. Um diese in verschiedenen Zoomstufen gleich aussehend rendern zu können, wurden die entsprechenden Objekte jeweils hochskaliert. Ein Straßenbild hat damit im gerenderten Bild in einer hohen Zoomstufe etwa die gleiche Größe wie in einer niedrigen Zoomstufe. Dieses Vorgehen führt zwar nicht unbedingt zu realistischen Straßenverläufen, aber ein Neuzeichnen der Straßenverläufe auf jeder Zoomstufe würde die Vergleichbarkeit der Test-Ergebnisse beeinträchtigen. Eine Beeinflussung des Betrachters durch die Form des Straßenverlaufes ist in keinem Fall auszuschließen. Ideal wäre die Durchführung einer größeren Anzahl von Tests mit mehr verschiedenen Straßenbildern, die zufällig ausgewählt werden. Nur dann wäre es sinnvoll verschiedene Verläufe je Zoomstufe zu nehmen. Dies hätte einen sehr viel höheren Arbeitsaufwand zur Folge.

Eine Verfälschung des Tests durch unrealistische, möglicherweise irreführende Straßenbilder ist zu vermeiden, schließlich soll die Klassifikation per Farbschema und nicht über Straßenverläufe getestet werden. Daher wurde darauf geachtet die Straßenverläufe nicht schnurgerade und rechtwinklig zu ziehen, sondern mit Kurven ein realistisches Straßenbild zu erzeugen. Es sind keine engen Kurven im Bild, sondern lange sanfte Kurven. Enge Kurven könnten dem Betrachter eine "langsame" Straßenklasse suggerieren, während eine lange schnurgerade Strecke auf einen entsprechenden Schnellstraßen-Ausbau schließen

lassen könnten. Als Nebeneffekt sind damit realistische Aliasing- und Filterungseffekte zu erwarten, wie sie auch aus dem echten Datenmaterial entstehen würden.

Frühe Ideen die Fragen spielerisch zu stellen wurden verworfen, etwa: “Sie fahren auf Straße A Richtung Norden und treffen auf die dargestellte Kreuzung mit drei abgehenden Straßen C, B und D. Sie möchten auf eine höher-klassige (schnellere) Straße wechseln, wie biegen sie ab?” Bei einer solchen Frage würden neben der Farbwahrnehmung des Teilnehmers auch Aspekte wie Textverständnis, visuelle Interpretationsfähigkeit und Kartenlesekompetenz eine Rolle spielen. Da diese nicht getestet werden sollen, sondern als unkontrollierbare Einflüsse die Ergebnis des eigentlichen Tests verfälschen würden, wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Für die Sichtbarkeitsbeurteilung vor farbigen Hintergründen gab es die Idee eine Straße mit mehreren abgehenden Straßen gleicher Klasse darzustellen. Eine oder mehrere der abgehenden Straßen wären nicht verbunden, sondern hätten einen kleinen Abstand zur Haupt-Straße. Der Teilnehmer sollte sagen, welche Straßen verbunden oder nicht verbunden seien. Ein solcher Test ist stark von der Anzeigegröße und Auflösung abhängig. Darüberhinaus vom Betrachtungsabstand und der Sehschärfe des Teilnehmers. Dementsprechend wurde dieser Ansatz als nicht sinnvoll erachtet.

Auf einen Test, um die in Abschnitt 5.5 geäußerte Hypothese zur sequentiell “falsch” geordneten Reihenfolge der Straßen bei Deuteranopie zu überprüfen, wurde aus Komplexitätsgründen verzichtet.

Die Zoomstufe der gezeigten Bilder wird in der Umfrage nie erwähnt. Die Teilnehmer könnten sonst ausschließlich durch eventuelle Vorkenntnis der OpenStreetMap.org-Karte auf einen Maßstab schließen.

Damit der Teilnehmer nicht nach mehreren erkannten Straßenklassen im Bild per Ausschlußverfahren auf übrigen Klassen schließen kann, wurden (ausser in den Sichtbarkeitsbeurteilungen vor verschiedenen Hintergründen) stets entweder eine Teilmenge der Klassen oder aber doppelte Instanzen einzelner Klassen je Bild verwendet.

Es wurde schnell deutlich, dass eine hohe Zahl von Kartenbildvariationen für die Vielseitigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse zwar erstrebenswert, für die Teilnehmer aber nicht zumutbar ist.

Da im Test aus zeitlichen Gründen nicht alle Zoomstufen getestet werden können, wurde eine repräsentative Auswahl getroffen:

Zoomstufe 7 Ab dieser Zoomstufe werden Motorway, Trunk und auch Primary gerendert.

Zoomstufe 10 Ab dieser Zoomstufe werden alle bearbeiteten Straßenklassen gerendert.

Zoomstufe 13 Ab dieser Zoomstufe gibt es keine Farbänderungen mehr, ausserdem werden die Straßen stark verbreitert dargestellt.

Zoomstufe 17 Ab dieser Zoomstufe werden die Renderregeln nicht mehr verändert.

Details zu den Renderregeln wurden bereits in Abschnitt 5.4 behandelt.

Die entworfenen Straßenbilder wurden mit JOSM gezeichnet und als .osm-XML-Dateien gespeichert. Die resultierenden Kartenbilder wurden mit Mapnik gerendert.

Die Kartenbilder haben die Abmessung von 320x320 Pixel. Alle Bilder wurden zufällig um 90°, 180° oder 270° rotiert, damit der Teilnehmer nicht allzu einfach die Straßenverläufe lernt. Für Markierungen auf den Bildern wurden schwarze Buchstaben in der schlichten serifen-losen Schriftart DejaVu Sans Größe 18 verwendet. Der Teilnehmer weiss nicht, welche Zoomstufe beziehungsweise welchen Maßstab ein Bild hat.

Die verwendeten Kartenbilder werden in Abschnitt 7.6 ausführlich vorgestellt.

Die Umfrage wird ohne Zeitbegrenzung durchgeführt. Es ist nicht bekannt, ob Teilnehmer zum Beispiel sehr nah an den Monitor rücken, um besser sehen zu können, Zoomfunktionen ihres Browsers oder andere Hilfsmittel verwenden. Es wurde um die Durchführung unter normalen Bedingungen gebeten. Der Teilnehmer soll sich möglichst zügig durch die Fragen arbeiten. Für die einfacheren Fragen wurden 15-30 Sekunden geplant, für die umfangreicheren entsprechend etwas mehr. Als Gesamtdauer wurden 20 Minuten angestrebt, um Interessierte nicht abzuschrecken und Teilnehmer nicht im Verlauf zu langweilen oder gar zu verlieren. Bei einer durchschnittlichen Antwortdauer von etwa 22 Sekunden und einer angestrebten Gesamtdauer von 20 Minuten wären rund 55 Fragen möglich.

7.4 Demografische Fragen

Als erstes wird nach der Selbstkenntnis beziehungsweise -einschätzung des Betroffenen zu seiner Farbsinnstörung gefragt. Dazu wird eine Liste der Farbblindheiten und -anomalien präsentiert sowie die Möglichkeit einen freien Kommentar zu hinterlassen. Ein Onlinetest zur groben Bestimmung wird verlinkt¹ und als mögliche Einschätzungsmethode empfohlen, sofern der Betroffene Interesse hat (es ist anzunehmen, dass die wenigsten dazu bereit sind diesen Test zusätzlich zu machen). Der extra Zeitaufwand für diesen externen Test wird mit 5-10 Minuten angenommen.

Am Ende der Umfrage wurden weitere demografische Details abgefragt:

- Geschlecht des Teilnehmers (m/w/sonstiges).
- Herkunft (Land) des Teilnehmers.
- “Wie schätzen Sie Ihre Fähigkeiten ein, Karten zu lesen? 1= Sehr gut, 5 = sehr schlecht”.
- “Benutzen Sie regelmäßig die Karte auf www.openstreetmap.org oder andere Seiten/Programme, welche deren Kartenstil verwenden?” - “Tagtäglich | Regelmäßig | Manchmal | Selten | Nie”.
- “Haben sie Kommentare zur Umfrage, hat sie etwas gestört, ist etwas negativ aufgefallen, waren Fragen unklar?”

Dabei dienen die Fragen nach der Herkunft und der OpenStreetMap.org-Nutzung der Einschätzung über die Vorkenntnis des Farbschemas. Die Frage nach der Kartenlesekompetenz dient zur Einschätzung, wie erfolgreich die Teilnehmer die Legende zur Zuordnung markierten Straßen zu den Klassen verwenden können.

¹<http://www.colblindor.com/fm100hue/FM100Hue.swf>

7.5 Die verwendete Legende

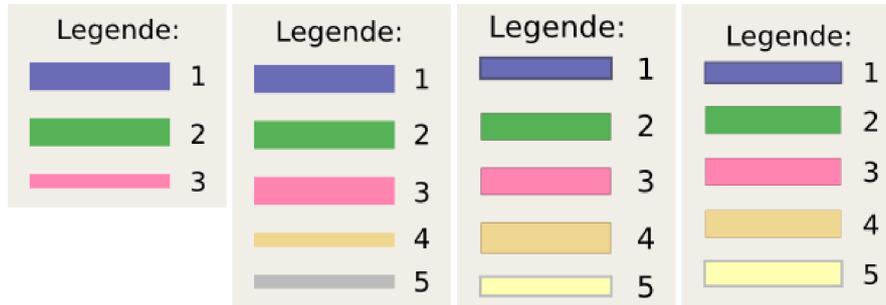


Abbildung 7.1: In der Umfrage verwendete Legenden der neuen Farben für die Zoomstufen 7, 10, 13 und 17 (von links nach rechts).

Die verwendete Legende (Abbildung 7.1) zeigt je nach Zoomstufe die entsprechenden Farben und ist an die relativen Größenverhältnisse zwischen Straßenrand und Straßenkörper angepasst. Damit ist sie detaillierter und richtiger als die aktuell angebotene Legende auf www.openstreetmap.org. Die Straßen werden nicht in derselben Größe angezeigt wie sie im Kartenbild auftauchen. Die Reihenfolge der Klassen in der Legende entspricht ihrer Hierarchie.

In der Legende und den Fragen werden die Klassen nicht bei ihren Namen genannt, sondern durchnummeriert. Motorway ist “Klasse 1”, Trunk ist “Klasse 2” etc.

Die Legende ist in allen Tests relativ weit vom Kartenbild entfernt, um den Abgleich nicht einfacher zu machen als er in der Realität ist (auf openstreetmap.org). Dazu werden die Kartenbilder stets im linken Teil des Browserfensters angezeigt, die Legende in rechten (siehe Abbildung 7.7 in Abschnitt 7.8).

7.6 Verwendete Kartenbilder

Nachfolgend werden die in der Umfrage verwendeten Kartenbilder vorgestellt.

7.6.1 Direkte Identifikation einzelner Straßensegmente



Abbildung 7.2: Ein einzelnes Straßensegment in den Zoomstufen 7, 10, 13 und 17.

Beschreibung Ein einzelnes Straßensegment wird dargestellt (Abbildung 7.2). Im Bild sind keine Straßen anderer Klassen zu sehen. Eine Legende zeigt alle möglichen Straßenklassen. Der Teilnehmer soll die Klasse des Straßensegments identifizieren.

Die Antwortmöglichkeiten werden als einfache Liste dargestellt, der Teilnehmer kann die erkannte Klasse auswählen, einen Kommentar abgeben sofern sie nicht eindeutig zu identifizieren ist oder angeben, dass die Identifikation nicht möglich ist.

Hypothesen Durch die Beschränkung auf nur eine einzige Klasse im Kartenbild gibt es für den Teilnehmer keine direkte Möglichkeit, diese über den Farbunterschied zu einer anderen, vielleicht eindeutigen Klasse zu identifizieren. Der Teilnehmer muss über die eine Farbe allein entscheiden, um welche Klasse es sich handelt.

- Normalsichtige können alle Klassen eindeutig identifizieren.
- Straßen der Klassen Motorway und Tertiary sind für alle Teilnehmer eindeutig zu identifizieren.
- Für Deuteranopen sind die Straßenklassen Trunk, Primary und Secondary problematisch.
- Für Protanopen sind die Straßenklassen Trunk und Secondary problematisch. In niedrigen Zoomstufen auch Primary.

- Tritanopen können alle Klassen eindeutig identifizieren.
- Je größer die Straße flächenmäßig dargestellt wird, desto einfacher fällt die Identifikation.

Variationen Auf Zoomstufe 7 wurden Motorway, Trunk und Primary, da diese als einzige auf dieser Zoomstufe dargestellt werden. Auf Zoomstufe 10 wurden sämtliche Klassen getestet. Auf Zoomstufe 13 wurde auf Tertiary verzichtet, da diese Klasse dort keine Probleme bereiten sollte. Aus dem gleichen Grund wurde Motorway auf Zoomstufe 17 nicht getestet.

7.6.2 Identifikation mehrerer Straßen ohne direkte Verbindung



Abbildung 7.3: Nicht direkt verbundene Straßen in den Zoomstufen 7, 10, 13 und 17.

Beschreibung Eine Straße trifft auf einen Kreis der Klasse *residential* (weiß, kein Farbton) (Abbildung 7.3). Von diesem Kreis gehen Straßen verschiedener Klassen ab. Der Teilnehmer soll die Klasse der markierten Straßen identifizieren.

Die Antwortmöglichkeiten werden als Matrix präsentiert. Die markierten Straßen sind in Reihen angeordnet, die möglichen Straßenklassen als Spalten. Ist die Identifikation nicht möglich, so kann der Teilnehmer dies angeben. Aus technischen Gründen ist kein Kommentarfeld zur Äußerung von Vermutungen oder Tendenzen möglich.

Variationen Auf Zoomstufe 7 wurde die Kombination von Motorway, Trunk sowie zweier Instanzen von Primary getestet. Auf Zoomstufe 10 wurden zwei verschiedene Kartenbilder getestet: Motorway, Trunk, Primary und Secondary sowie Trunk, zweimal Primary und Secondary. Auf Zoomstufe 13 wurden ebenfalls 2 Kartenbilder verwendet: Motorway, Trunk, Primary, Secondary sowie Trunk, Primary, Secondary, Tertiary. Auf Zoomstufe 17 wurde

auf Motorway verzichtet, stattdessen wurde die Kombination Trunk, Primary, Secondary, Tertiary getestet.

Hypothesen Im Vergleich zu obigem Test mit einzelnen Straßensegmenten ist hier ein relativer Vergleich zwischen verschiedenen Straßen möglich. Der Teilnehmer hat dennoch nicht die Möglichkeit Farbunterschiede direkt zu vergleichen, denn die zu identifizierenden Farbflächen im Bild sind räumlich voneinander getrennt.

- Die in Abschnitt 7.6.1 genannten Hypothesen treffen auch hier zu.
- Je nach Zoomstufe können die verschiedenen Breiten der Straßen bei der Unterscheidbarkeit, aber eher nicht zu einer Identifikation beitragen.
- Die Klassen können besser identifiziert werden als im in Abschnitt 7.6.1 vorgestellten Kartenbild.
- Die Klassen können schlechter identifiziert werden als im in Abschnitt 7.6.3 vorgestellten Kartenbild.

7.6.3 Identifikation mehrerer Straßen in einem Straßennetz aller Klassen

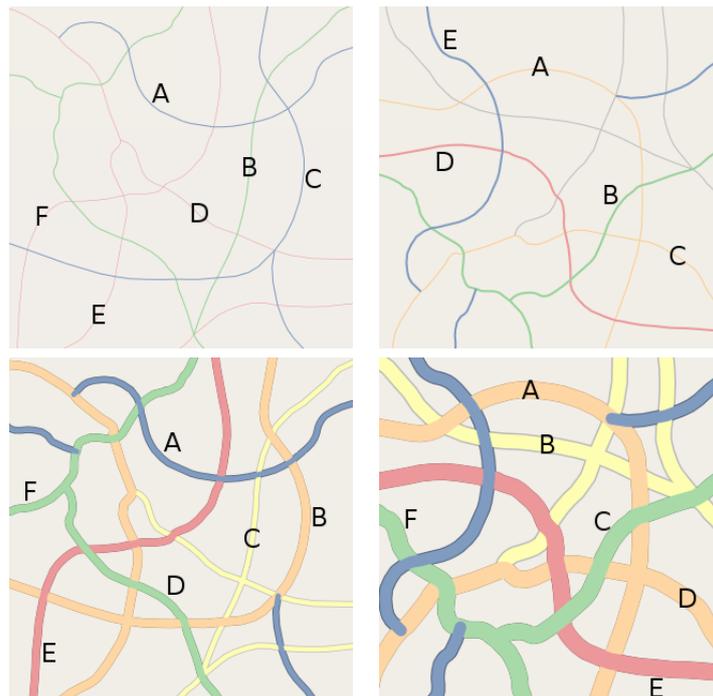


Abbildung 7.4: Ein Straßennetz mit allen im Rahmen dieser Arbeit behandelten Straßenklassen in den Zoomstufen 7, 10, 13 und 17

Beschreibung Ein Straßennetz, in welchem jede behandelte Klasse mindestens einmal vorkommt (Abbildung 7.4). Die Straßen verlaufen “realistisch” und sind je mit mehreren anderen Straßen verbunden. Dabei soll durch den Verlauf der Straßen keine Hierarchie zu vermuten sein. Der Teilnehmer soll sich möglichst nur anhand der Farben der Straßen mit

dem Bild beschäftigen, nicht über ihren Verlauf. Mehrere Straßen sind markiert, jede Klasse mindestens einmal. Der Teilnehmer soll die Klassen der markierten Straßen identifizieren.

Die Antwortmöglichkeiten werden analog zu der in Abschnitt 7.6.1 vorgestellten Aufgabe als Matrix dargestellt.

Variationen Auf Zoomstufe 7 wurden die dort dargestellten Klassen abgefragt: Motorway, Trunk und Primary. Auf Zoomstufe 10 wurden Motorway, Primary, Trunk sowie zweimal Secondary markiert. Auf Zoomstufe 13 wurden sämtliche Klassen abgefragt, dabei Trunk zweimal. Auf Zoomstufe 17 wurde Motorway nicht dargestellt, ansonsten wurden dieselben Klassen abgefragt wie auf Zoomstufe 13.

Hypothesen In diesem Kartenbild sieht der Teilnehmer mindestens eine Instanz jeder möglichen Klasse. Damit besteht zumindest theoretisch die Möglichkeit jede entsprechende Farbe auch in der Legende zu finden. Sofern die Straßenklasse nicht direkt über ihre Farbe allein identifiziert werden kann, bieten die direkt angeschlossenen anderen Straßen dem Teilnehmer die Möglichkeit über Vergleiche und den Abgleich mit der Legende iterativ die Zuordnung durchzuführen.

- Die in Abschnitt 7.6.1 genannten Hypothesen treffen auch hier zu.
- Je nach Zoomstufe können die verschiedenen Breiten der Straßen bei der Unterscheidbarkeit, aber eher nicht zu einer Identifikation beitragen.
- Die Klassen können besser identifiziert werden als im in Abschnitt 7.6.1 vorgestellten Kartenbild.
- Die Klassen können besser identifiziert werden als im in Abschnitt 7.6.2 vorgestellten Kartenbild.

7.6.4 Sichtbarkeitsbeurteilung der Straßen vor farbigem Hintergrund

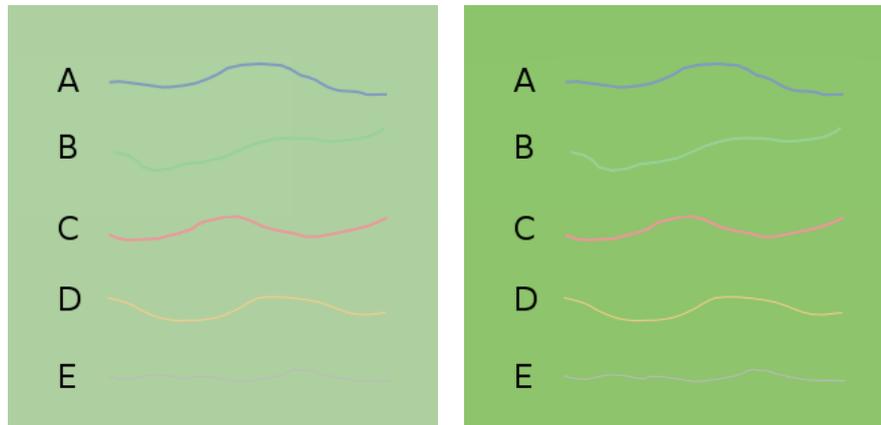


Abbildung 7.5: Alle im Rahmen der Arbeit behandelten Straßenklassen vor den Hintergrundflächen `natural=wood` (links) und `landuse=forest` (rechts) auf Zoomstufe 10.

Beschreibung Verschiedene Straßenverläufe der Klassen Motorway, Trunk, Primary, Secondary und Tertiary werden auf Zoomstufe 10 vor den Hintergrundflächen `natural=wood` und `landuse=forest` dargestellt (Abbildung 7.5). Jede Straße ist markiert. Der Teilnehmer soll subjektiv die Sichtbarkeit der Straßen beurteilen.

Die Antwortmöglichkeiten werden als Matrix präsentiert. Die markierten Straßen sind in Reihen angeordnet, die Antwortoptionen sind “Sehr gut” - “Gut” - “Mittelmäßig” - “Schlecht” - “Sehr schlecht” - “Ich kann keine Straße erkennen“ in Spalten.

Die Zoomstufe 10 wurde ausgewählt, da die Straßen hier ohne Ränder gerendert werden. Dementsprechend sind die Probleme hier extrem ausgeprägt. Auf Zoomstufe 7 würden weder die Hintergrundflächen noch Secondary und Tertiary gerendert werden. Auf Zoomstufe 10 wird Tertiary grau dargestellt, auf höheren Zoomstufen wird diese Klasse hellgelb darstellt und sollte vor diesen Hintergründen problemlos zu erkennen sein.

Die Waldflächen wurden als im Kartenbild oft gezeigte und besonders problematische Hintergrundflächen ausgewählt. Andere Hintergründe sind selten großflächig oder aber nicht in problematischen Farben. `natural=wood` wird in einem blassen grauen Grün dargestellt, `landuse=forest` in einem dunkleren, gesättigter wirkenden Grün.

Variationen Alle fünf im Rahmen der Arbeit behandelten Straßenklassen vor `natural=wood` sowie vor `landuse=forest`.

Hypothesen

- Wood: Trunk und Tertiary sind für alle Menschen schlecht zu sehen.
- Wood: Secondary ist relativ schlecht sichtbar.
- Wood: Trunk ist bei allen -anopien praktisch unsichtbar.
- Forest: Tertiary ist für alle Menschen schlecht zu sehen.
- Forest: Primary ist bei Deutanopie sehr schlecht zu sehen.

7.7 Ishihara-Tafeln

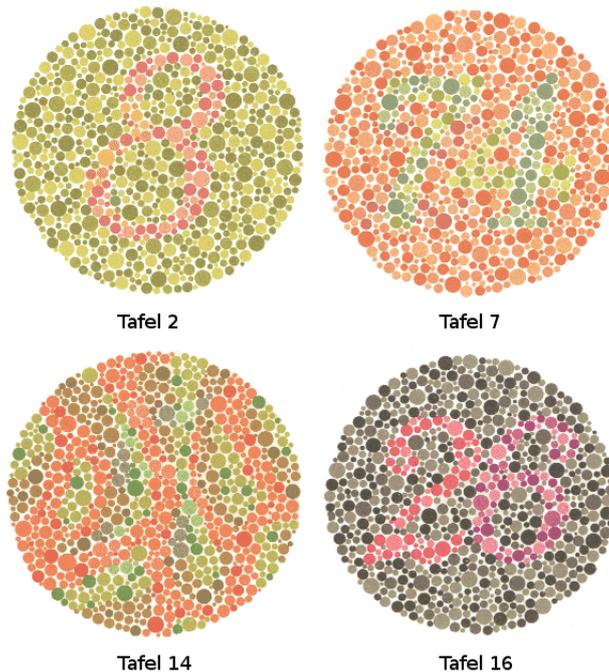


Abbildung 7.6: Die verwendeten Ishihara-Tafeln (Quelle: www.colblindor.com)

Um die Validität der Antworten eines Teilnehmers beurteilen zu können, wurden vier Ishihara-Tafeln als Aufgaben eingefügt (siehe Abbildung 7.6). Dazu wurden Tafeln ausgewählt, welche möglichst spezifisch Farbsinnstörungen erkennen lassen. Gibt der Teilnehmer die entsprechenden "falschen" Antworten (aus der Sicht eines Normalsichtigen), so kann davon ausgegangen werden, dass das Testumfeld dieses Teilnehmers auch für die Kartenbilder geeignet ist. Da die Tafeln im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehend erforscht wurden, sind die Ergebnisse jedoch unter Vorbehalt zu betrachten.

Die Tafeln wurden von www.colblindor.com zur Verfügung gestellt.

Da eine Auswahlliste vorgegebener möglicher Antworten zu einer Beeinflussung führen könnte, wird der Teilnehmer gebeten in einem Textfeld zu beschreiben, was er in dem Bild sieht. Als Beispiel wird "deutliche 9, schwache 5" oder "keine" angegeben.

Erwartungen

Tafel 2 Normalsichtige sehen eine 8. Menschen mit einer Rot/Grün-Schwäche sehen eine 3. Farbblinde sehen keine Zahl.

Tafel 7 Normalsichtige sehen eine 74. Menschen mit einer Rot/Grün-Schwäche sehen eine 21. Farbblinde sehen keine Zahl.

Tafel 14 Normalsichtige und Farbblinde sehen keine Zahl. Menschen mit einer Rot/Grün-Schwäche sehen eine 5.

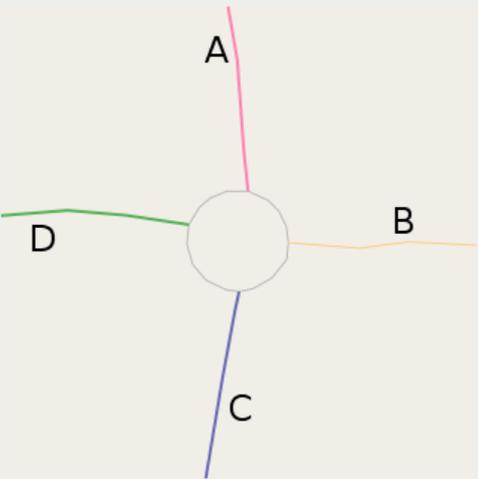
Tafel 16 Normalsichtige sehen eine 26. Menschen mit einer Protanopie sehen eine 6, Menschen mit einer Protanomalie zusätzlich eine blasse 2. Menschen mit einer Deuteranopie sehen eine 2, Menschen mit einer Deuteranomalie zusätzlich eine blasse 6.

7.8 Umfragesoftware

Für die Umfrage wurde LimeSurvey² in der Version 1.92+ Build 120822 verwendet. Dieses bot auf den ersten Blick alle benötigten Funktionen: Die Anzeige einer Frage zur Zeit, eine zufällige Reihenfolge von Fragen, die Möglichkeit Bilder einzubinden, Mehrsprachigkeit, Wahrung der Privatsphäre da selbst gehostet. Nach dem Entwurf der Fragen und dem Einpflegen derselben wurden Mängel festgestellt. So gibt es keine Möglichkeit bei Matrizen (Identifikation mehrerer Straßen mehrerer möglicher Klassen in einem Bild) ein freies Textfeld für jede Reihe anzubieten. Dies hätte gegebenenfalls aufschlußreiche Antworten bei Unsicherheit von Teilnehmern ermöglicht.

Der mitgelieferte "Basic"-Stil wurde für die Bedürfnisse der Umfrage optimiert. Für ein ansprechenderes Layout wurde die maximale Breite des Seiteninhalts auf 960 Pixel beschränkt. Um die Navigationsknöpfe ("Weiter" etc.) möglichst ohne Scrollen des Benutzers direkt im Browserfenster anzuzeigen, wurden einige vertikale Leerräume entfernt. Abbildung

Identifizieren Sie die Klasse der markierten Straße im untenstehenden Bild mithilfe der Legende auf der rechten Seite.



Legende:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	Ich kann die Klasse der Straße nicht sicher identifizieren.
Die Straße A ist ...	<input type="radio"/>					
Die Straße B ist ...	<input type="radio"/>					
Die Straße C ist ...	<input type="radio"/>					
Die Straße D ist ...	<input type="radio"/>					

Umfrage verlassen und löschen Später fortfahren Weiter >>

Abbildung 7.7: Beispielhafter Screenshot einer Aufgabe in der Umfrage.

²<http://limesurvey.org/>

7.9 Durchführung

Ein Pilottest wurde mit drei Personen durchgeführt. Basierend auf ihrem Feedback wurden teilweise unklare Formulierungen angepasst. Als Resultat der Messung ihres Zeitaufwands wurden diverse Kartenbilder in der Umfrage deaktiviert. Die in 7.6 vorgestellte Auswahl ist die in der öffentlichen Umfrage verwendete.

Die Umfrage wurde über das Internet verbreitet. Dabei wurden einerseits Communities von betroffenen Menschen direkt angeschrieben und andererseits Mailinglisten des OpenStreetMap-Projekts. Die Umfrage wurde auf Deutsch und Englisch angeboten.

Durch die Fokussierung auf Betroffenen-Communities bei der Anwerbung von Teilnehmern kann ein verhältnismäßig hoher Anteil von Menschen mit einer stärker oder stark ausgeprägten Farbsehschwäche erwartet werden, da diese Betroffenen vermutlich durch ihre Farbsinnstörung im Alltag behindert werden und sich daher organisieren.

Nach zwei Wochen wurden die bis dahin übermittelten Antworten zusammengefasst und ausgewertet.

8 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Onlineumfrage vorgestellt. Zunächst wird die Demografie der Teilnehmer erläutert. Kommentare der Teilnehmer werden vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Testaufgaben, gegebenenfalls nach Zoomstufe getrennt, präsentiert. Die Zeitmessungen der einzelnen Aufgaben werden vorgestellt. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst.

8.1 Zahlen und Demografie

Insgesamt wurden innerhalb von zwei Wochen 140 vollständige Datensätze übermittelt. 11 Personen gaben an, sich keiner Farbsinnstörung bewusst zu sein, gaben keine Ergebnisse des verlinkten Tests an und wurden somit als neugierige Nichtbetroffene aus dem Datensatz entfernt. 129 vollständige Datensätze wurden ausgewertet. Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich auf diese 129 Teilnehmer.

Die Teilnehmer kamen zum größten Teil aus den USA (36%) und Deutschland (21%). Aus Großbritannien kamen 9%, aus Kanada 8%, aus Australien 7%. Der Rest kam aus unterschiedlichsten Ländern. 79% führten die Umfrage auf Englisch durch, sämtliche deutsche Teilnehmer auf Deutsch. 123 Männer nahmen an der Umfrage teil, 6 Frauen.

Die Selbsteinschätzung der Kartenlesekompetenz zeigt ein großes Selbstvertrauen der Teilnehmer, 40% gaben "Sehr gut" an, 35% gut, 17% eine mittelmäßige Note. Von daher sind keine großen Probleme bei der Interpretation der Kartenbilder an sich zu erwarten. Keiner der Teilnehmer gab per Kommentar Probleme bei der Zuordnung der Buchstaben zu den damit markierten Straßen an.

33% der Teilnehmer gaben an OpenStreetMap.org nie zu benutzen. Die restlichen 67% verteilen sich gleichmäßig über "Selten" bis "Tagtäglich". Sollte ein Vorwissen des Kartenstils die Beantwortung der Umfrage beeinflusst haben, so sollten sich diese Einflüsse damit gleichmäßig in den Antworten verteilen.

21% der Teilnehmer gaben an von einer Deuteranomalie betroffen zu sein, 9% von einer Deuteranopie. Eine Protanomalie gaben 10% der Teilnehmer an, eine Protanopie 5%. Damit ist ein verhältnismäßig hoher Anteil an von Protanstörungen Betroffenen im Teilnehmerfeld vorhanden. Ein von Tritanomalie Betroffener nahm teil, keiner mit Tritanopie. 3% gaben an komplett farbenblind zu sein. 37% der Befragten gaben eine allgemeine Rot/Grün-Schwäche an.

Aufgrund der hohen Teilnehmeranzahl wurden bei der Auswertung die deutanen und protanen Störungsgruppen zusätzlich zum jeweiligen Gesamtergebnis getrennt betrachtet. Teilnehmer, die eine entsprechend starke Einschätzung (Deutan oder Protan) aus dem Onlinetest angaben, wurden als entsprechend betroffen in diese Auswahl miteinbezogen.

Der Median der Umfragedauer liegt bei 26 Minuten, das Ziel einer Dauer von 20 Minuten wurde damit überschritten.

8.2 Kommentare der Teilnehmer

Mehrere Teilnehmer bemängelten die Länge und Eintönigkeit der Aufgaben. Die Ishiharatafeln wurden als willkommene Abwechslung genannt.

Mehrere Teilnehmer gaben an, die Klassenzuordnung wenn möglich iterativ über den Vergleich mehrerer Straßen im Kartenbild durchzuführen. Mehrere Teilnehmer nannten dünne Linien als schwerer zu identifizieren als großflächigere Darstellungen. Ein Teilnehmer bemerkte, dass er, um bei feinen Linien die Farbe besser zu erkennen zu können, hereinzoomen müsse, bis diese etwa einen Zentimeter Breite hätten. Ein anderer Teilnehmer nannte seine Vorkenntnis der geringeren Linienstärke von Primary auf Zoomstufe 7 als hilfreich zur Identifikation derselben.

Einige Teilnehmer gaben an, teilweise versehentlich falsche Antworten gegeben zu haben, vor allem bei den Antwortmatrizen. Die Bedienung der Umfragesoftware wurden mehrfach als umständlich und anstrengend bezeichnet.

Mehrere Teilnehmer hätten mehr Klarheit gewünscht, wann sie die Option "Ich kann die Klasse der Straße nicht identifizieren" wählen sollten. So musste jeder Teilnehmer selbst entscheiden, ob er einer Tendenz nachgab oder die Nicht-Identifikation wählte.

Die Hälfte der Teilnehmer gab an, an den Ergebnissen oder gegebenenfalls Folgeumfragen interessiert zu sein. 97% der Teilnehmer stimmten einer Veröffentlichung der von privaten Daten bereinigten Rohdaten zu.

8.3 Ishiharatafeln

Die Antworten zu den Ishiharatafeln wurden durch einen Bug in der Umfragesoftware unbrauchbar. Das freie Textfeld für die Beschreibung der Bildinhalte schnitt die Antworten nach dem fünften Zeichen ab. In der Datenbank endeten somit hauptsächlich Einträge wie "faint" oder "deutl". Auswertbar wären alleine Einträge wie "none", "keine" oder Ziffern, wobei auch diese möglicherweise nicht vollständig erhalten wurden. Dieser Bug hätte im Pilottest auffallen sollen. Es ist unklar, ob er möglicherweise beim Kopieren und Importieren der Aufgaben vom Pilottest zum durchgeführten Test auftrat. Auf eine Teilauswertung dieser Aufgaben wurde verzichtet.

8.4 Kartenbildaufgaben

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Aufgaben zur Straßenidentifikation sowie zur Sichtbarkeitsbeurteilung detailliert vorgestellt. Die prozentualen Verteilungen der Antwortoptionen werden grafisch dargestellt. Dabei werden die Werte für die in der betreffenden Aufgabe fragten Straßenklassen jeweils im ursprünglichen Farbschema ("Alt") sowie im neu erarbeiteten Farbschema ("Neu") nebeneinander dargestellt. Die Reihenfolge der Straßenklasse in den Diagrammen ist stets gleich: Zu unterst wird der Anteil der Antwort "Motorway" dargestellt, zu oberst die Option "Nicht identifiziert" beziehungsweise bei den einzelnen Straßensegmenten "Unsicher". Als Identifikationsrate wird der Prozentsatz der *korrekten* Antworten bezeichnet. Haben etwa 57% der Teilnehmer für eine im Kartenbild gefragte Straße die Klasse Trunk als Antwort gewählt und ist dies die gesuchte Klasse, so beträgt die Identifikationsrate 57%.

Bei allen Aufgaben könnten Teilnehmer versehentlich falsche Antworten gewählt haben. Einige gaben dies im Kommentar an. Aufgrund der hohen Anzahl von Teilnehmern sollten diese Fehler allerdings als seltene zufällige Fehler keine großen Auswirkungen auf die Gesamtergebnisse haben.

Eine Identifikationsrate von $\geq 95\%$ wurde in Anbetracht möglicher versehentlicher falscher Antworten als *sichere* Identifikation gewertet.

Die Antworten der Teilnehmer aus Großbritannien unterschieden sich nicht besonders von denen der übrigen Teilnehmer. Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch Vorkenntnis des allgemeinen Farbschemas kann ausgeschlossen werden.

Die Teilnehmer, welche angaben OpenStreetMap.org oft bis tagtäglich zu benutzen, zeigten keine Tendenzen, welche nicht durch ihre Farbsinnstörungen zu erklären wären. Auch diese Möglichkeit der Vorkenntnis des ursprünglichen beziehungsweise allgemeinen Farbschemas kann damit als Einfluss auf die Ergebnisse ausgeschlossen werden.

8.4.1 Direkte Identifikation einzelner Straßensegmente

Zunächst werden die Ergebnisse der Identifikation einzelner Straßensegmente vorgestellt (siehe Abschnitt 7.6.1).

Bei Aufgaben dieser Gruppe gab es für die Teilnehmer die Option bei Unsicherheit eine Vermutung zu äußern. Diese Unsicherheiten wurden gesondert betrachtet und werden gegebenenfalls im Text erwähnt. Korrekte Vermutungen wurden nicht als korrekte Antworten gewertet. Die Option “Unsicher” wird gleichwertig behandelt wie etwa die Antwort “Motorway”. Haben etwa 5% der Teilnehmer bei einer Aufgabe eine Instanz der Klasse Trunk fälschlicherweise als Primary identifiziert und haben ebenfalls 5% angegeben, dass sie unsicher seien und dies in einem Kommentar genauer spezifiziert, so sind sowohl 5% Primary als auch 5% “Unsicher” Teil des Gesamtergebnisses.

Zoomstufe 7

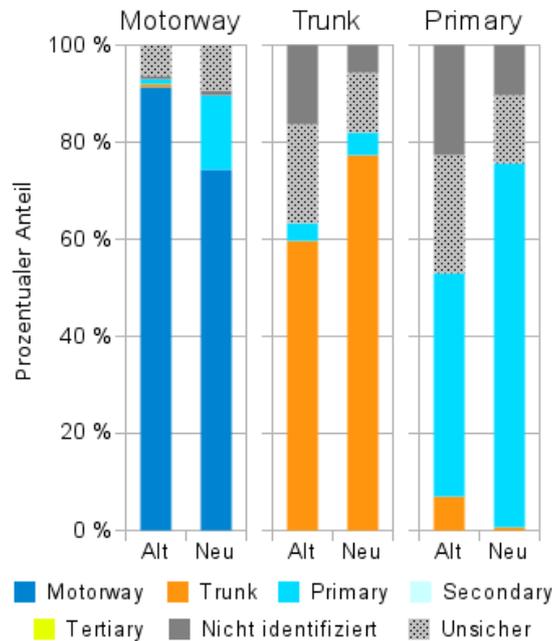


Abbildung 8.1: Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 7.

Veränderungen der Identifikationsraten**Motorway** Verschlechterung von 91% auf 74%**Trunk** Verbesserung von 60% auf 78%**Primary** Verbesserung von 46% auf 75%

Ergebnisse Motorway ist im alten Farbschema besser zu identifizieren, im neuen Farbschema gibt es Verwechslungsprobleme mit Primary. Erhebliche Verbesserungen wurden bei Trunk und Primary beobachtet, wobei beide Straßenklassen weiterhin von weniger als 80% der Teilnehmer identifiziert werden konnten. Zusätzliche 16% der Teilnehmer vermuteten bei Primary die Klasse richtig, 15% bei Trunk. Abbildung 8.1 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten 9% der Teilnehmer mit Protanstörungen erkannten Motorway im neuen Farbschema als Primary, im ursprünglichen Farbschema machte keiner von ihnen diesen Fehler. Sie konnten die Klasse Trunk mit 82% Identifikationsrate besser erkennen als Teilnehmer mit Deutanstörungen (61%).

Zoomstufe 10

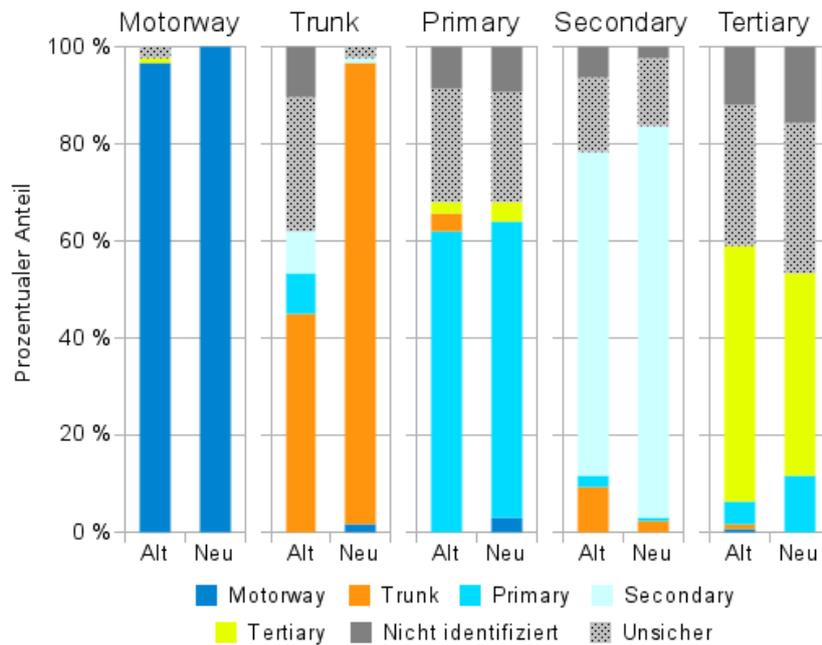


Abbildung 8.2: Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 10.

Veränderungen der Identifikationsraten

Motorway Verbesserung von 97% auf 100%

Trunk Verbesserung von 45% auf 95%

Primary Verschlechterung von 62% auf 61%

Secondary Verbesserung von 67% auf 81%

Tertiary Verschlechterung von 53% auf 42%

Ergebnisse Motorway ist sowohl im alten als auch im neuen Farbschema sicher identifizierbar.

Trunk wurde von einem mittelmäßigen Wert auf nahezu vollständige Identifikation verbessert. Diese Klasse wurde im alten Schema von je 9% der Teilnehmer fälschlicherweise als Primary oder Secondary erkannt.

Während sich die Identifikationsrate von Primary von rund 60% kaum änderte, nahm die Anzahl der korrekten Vermutungen ab. Im ursprünglichen Farbschema vermuteten 19% der Teilnehmer diese Klasse, im neuen Farbschema waren dies nur noch 9%. Je 3-4% tendierten dagegen zu Motorway oder Tertiary.

Die Identifikationsrate von Secondary wurde leicht verbessert, sie ist aber weiterhin nur von jedem Fünften korrekt identifiziert worden.

Die Farbe von Tertiary auf dieser Zoomstufe wurde nicht verändert, sie blieb grau. Dennoch sank für Identifikationsrate um 11 Prozentpunkte. Dabei verwechselten 12% der Teilnehmer die Klasse mit Primary, im alten Farbschema waren es niedrigere 5%. Ausser

mit Primary wurde Tertiary im neuen Farbschema nicht mit anderen Klassen verwechselt. Veränderungen der Identifikationsrate sind als Auswirkungen der Farbänderungen der anderen Klassen zu interpretieren.

Abbildung 8.2 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Von Protanstörungen Betroffene hatten größere Probleme Primary und Secondary korrekt zu identifizieren. Nur 50% beziehungsweise 73% konnten diese erkennen, bei deuteranen Störungen waren dies immerhin 57% und 86%. Tertiary konnten dagegen nur 32% der von Deutanstörungen Betroffenen identifizieren, gegenüber 45% der Teilnehmer mit Protanstörungen.

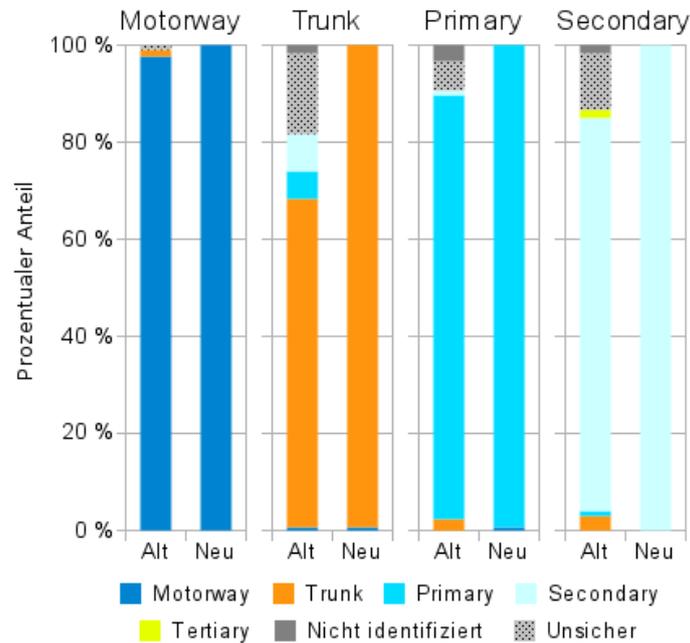
Zoomstufe 13

Abbildung 8.3: Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 13.

Veränderungen der Identifikationsraten**Motorway** Verbesserung von 98% auf 100%**Trunk** Verbesserung von 68% auf 99%**Primary** Verbesserung von 88% auf 99%**Secondary** Verbesserung von 81% auf 100%**Ergebnisse** Im neuen Farbschema wurden alle getesteten Klassen sicher identifiziert.

Motorway ist sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema sicher identifizierbar.

Die Identifikationsrate von Trunk wurde erheblich verbessert. Im alten Farbschema vermuteten zusätzlich zu den 68% der Teilnehmer, welche die Klasse korrekt identifizierten, schon weitere 11% die korrekte Klasse.

Primary und Secondary konnten bereits im ursprünglichen Farbschema von den meisten Teilnehmer identifiziert werden. Secondary vermuteten dort weitere 9% korrekt.

Abbildung 8.3 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Sämtliche von deuteranen oder protanen Störungen Betroffene erkannten die Klassen in neuem Farbschema korrekt.

Zoomstufe 17

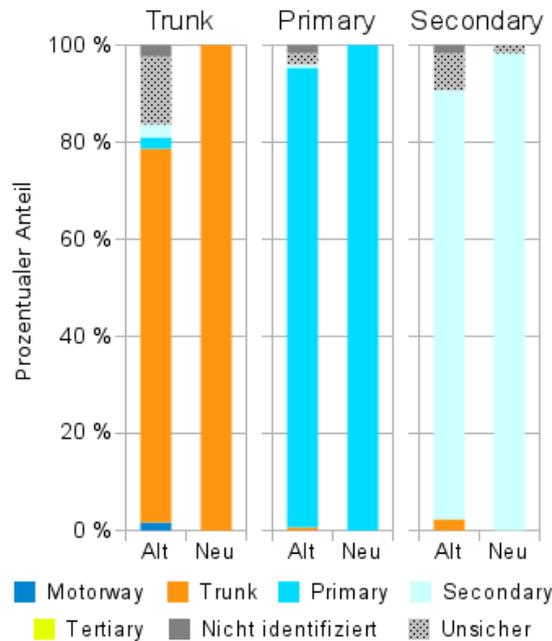


Abbildung 8.4: Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 17.

Veränderungen der Identifikationsraten**Trunk** Verbesserung von 77% auf 100%**Primary** Verbesserung von 95% auf 100%**Secondary** Verbesserung von 88% auf 98%**Ergebnisse** Im neuen Farbschema wurden alle getesteten Klassen sicher identifiziert.

Im ursprünglichen Farbschema konnten drei Viertel der Teilnehmer die Klasse Trunk identifizieren. Weitere 9% vermuteten die korrekte Klasse.

Weitere 7% der Teilnehmer hatten bei der Identifikation von Secondary die richtige Vermutung, waren sich aber nicht sicher genug diese als Antwort zu wählen.

Abbildung 8.4 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Jeweils rund ein Viertel der von Protanstörungen Betroffenen hatte Probleme Trunk und Secondary im ursprünglichen Farbschema zu identifizieren. Dabei wurde Trunk von all diesen Teilnehmern korrekt vermutetet, Secondary teilweise mit Trunk verwechselt.

8.4.2 Identifikation mehrerer Straßen ohne direkte Verbindung

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Aufgaben vorgestellt, in denen mehrere, nicht direkt verbundene Straße identifiziert werden sollten (siehe Abschnitt 7.6.2).

Dieses Kartenbild wurde in zwei Variationen mit teilweise mehreren Instanzen der gleichen Straßenklasse verwendet. Diese wurden jeweils einzeln ausgewertet.

Zoomstufe 7

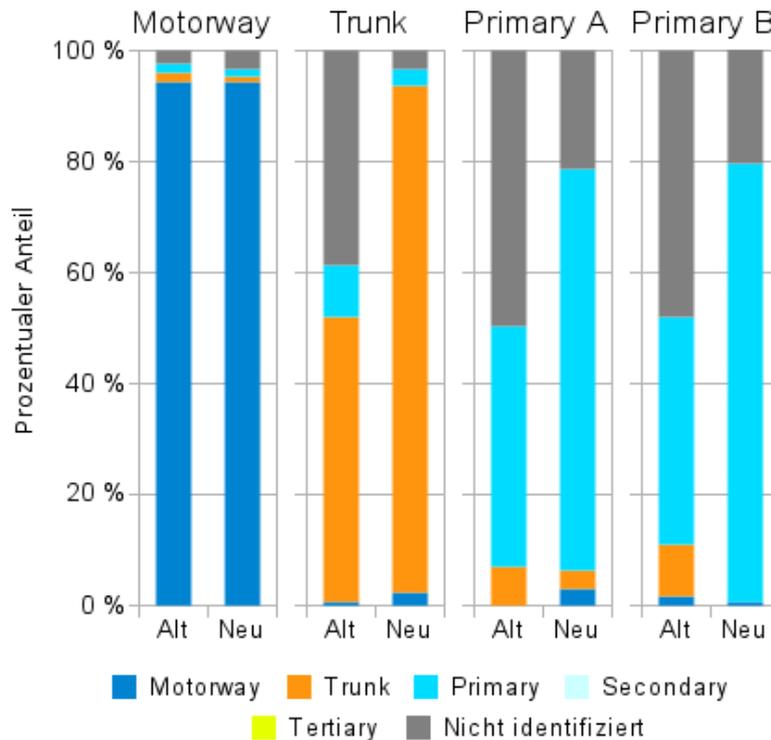


Abbildung 8.5: Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 7.

Veränderungen der Identifikationsraten

Motorway Verbesserung von 94% auf 95%

Trunk Verbesserung von 51% auf 91%

Primary A Verbesserung von 43% auf 73%

Primary B Verbesserung von 41% auf 79%

Ergebnisse Motorway konnte sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema sicher identifiziert werden.

Die Erkennung von Trunk wurde erheblich verbessert. Eine Verwechslungsrate von 9% mit Primary im ursprünglichen Farbschema wurde auf 3% reduziert.

Die beiden Instanzen von Primary wurden um 30-38% Identifikationsrate verbessert, dennoch konnte nur rund jeder vierte diese Klasse korrekt identifizieren. Dabei wurde Primary A von jeweils 3% der Teilnehmer mit Motorway oder Trunk verwechselt. Primary B verwechselte nur ein Teilnehmer. Die meisten übrigen Teilnehmer gaben an, die Klasse der Straße nicht identifizieren zu können.

Abbildung 8.5 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Die Identifikationsrate der von Protanstörungen Betroffenen für Primary war im ursprünglichen Farbschema mit 50% je Instanz besser als das der Teilnehmer mit Deutanstörungen (42% und 37%), verbesserte sich aber im Verhältnis weniger stark. Im neuen Farbschema konnten 74% beziehungsweise 86% der Teilnehmer mit Deutanstörungen Primary identifizieren, dies entspricht etwa einer Verdoppelung der Identifikationsrate dieser.

Zoomstufe 10

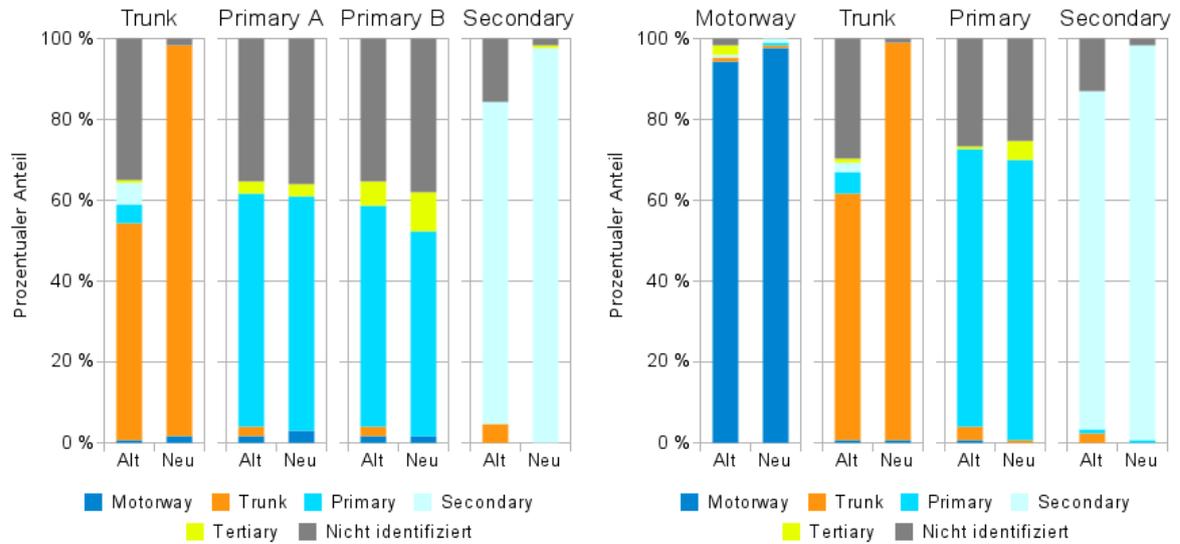


Abbildung 8.6: Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 10. Links Variation A, rechts Variation B.

Veränderungen der Identifikationsraten (Variation A)

Trunk Verbesserung von 53% auf 97%

Primary A Gleichbleibend auf 58%

Primary B Verschlechterung von 55% auf 51%

Secondary Verbesserung von 80% auf 98%

Veränderungen der Identifikationsraten (Variation B)

Motorway Verbesserung von 95% auf 98%

Trunk Verbesserung von 61% auf 98%

Primary Gleichbleibend auf 69%

Secondary Verbesserung von 84% auf 98%

Ergebnisse Auf Zoomstufe 10 wurden zwei verschiedene Auswahlvariationen von Straßenklassen getestet (siehe Abschnitt 7.6.2).

Motorway konnte sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema sicher identifiziert werden.

Die Identifikationsrate von Trunk wurde erheblich verbessert. Im ursprünglichen Farbschema wurden die Instanzen dieser Klasse dabei teilweise mit Primary (jeweils 5%) oder Secondary (5% und 2%) verwechselt. Die Nicht-Identifikation machte dabei mit 35% beziehungsweise 30% den größten Teil der nicht-richtigen Antworten aus.

Primary kam insgesamt dreimal je Farbschema in den Bildern dieser Aufgabengruppe vor. Die Identifikation dieser Klasse wurde bei zwei der Instanzen nicht verbessert (58% und 69% jeweils im alten und neuen Farbschema), bei der dritten Instanz kam es zu einer leichten Verschlechterung von 55% auf 51%. Dies geschah im Kartenbild mit zwei Instanzen von Primary. 10% der Teilnehmer identifizierten diese Straße dabei als Tertiary, eine Klasse, welche nicht im betreffenden Kartenbild dargestellt war. Auf dem Kartenbild mit nur einer Instanz von Primary identifizierten 5% diese als Tertiary. Die relativ hohe Identifikationsrate von 69% trat im Bild der Kombination Motorway - Trunk - Primary - Secondary auf. Da im Vergleich zum zweiten Kartenbild nur hier Motorway dargestellt wurde, ist davon auszugehen, dass der farbliche Vergleich mit dieser Straße bei der Identifikation half.

Secondary wurde im ursprünglichen Farbschema von rund jedem fünften Teilnehmer nicht korrekt identifiziert, im neuen Farbschema ergab sich eine Identifikationsrate von 98%.

Abbildung 8.6 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Teilnehmer mit Protanstörungen konnten im ursprünglichen Farbschema Secondary nur zu 50% beziehungsweise 59% korrekt identifizieren. Im neuen Farbschema stieg dieser Wert auf 95%. In der Kombination Motorway - Trunk - Primary - Secondary verschlechterte sich die Identifikationsrate dieser Teilnehmer für die Klasse Primary von 82% auf 59%.

Zoomstufe 13

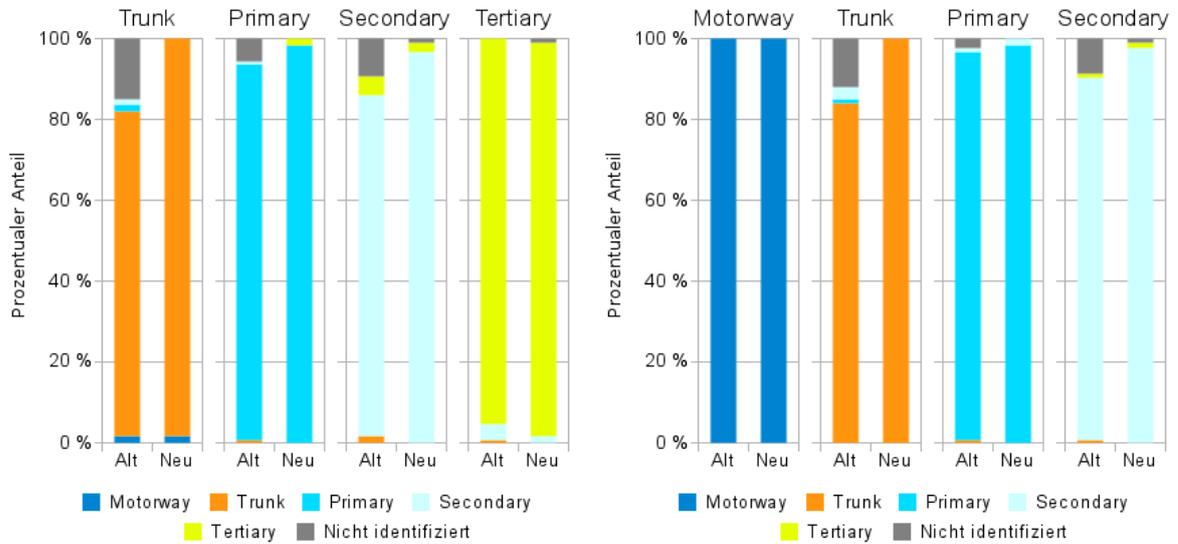


Abbildung 8.7: Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 13. Links Variation A, rechts Variation B.

Veränderungen der Identifikationsraten (Variation A)

Trunk Verbesserung von 80% auf 98%

Primary Verbesserung von 93% auf 98%

Secondary Verbesserung von 84% auf 97%

Tertiary Verbesserung von 95% auf 98%

Veränderungen der Identifikationsraten (Variation B)

Motorway Gleichbleibend auf 100%

Trunk Verbesserung von 84% auf 100%

Primary Verbesserung von 96% auf 98%

Secondary Verbesserung von 90% auf 98%

Ergebnisse Auch auf Zoomstufe 13 wurden zwei verschiedene Variationen von Straßenklassen getestet.

Sämtliche Klassen wurden bereits im ursprünglichen Farbschema von mindestens 80% der Teilnehmer korrekt identifiziert. Im neuen Farbschema identifizierten jeweils mindestens 97% der Teilnehmer die Straßenklasse korrekt.

Im ursprünglichen Farbschema zeigten sich leichte Verwechslungsprobleme zwischen Secondary und Tertiary. Teilweise meinten bis zu 5% der Teilnehmer statt Secondary Tertiary zu sehen, umgekehrt 4%.

Abbildung 8.7 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Besonders die von Protanstörungen betroffenen Teilnehmer hatten größere Probleme bei der Identifikation von Trunk und Secondary (jeweils nur 59%) im ursprünglichen Farbschema. Von Deutanstörungen Betroffene konnten diese Klasse zu 77-88% korrekt identifizieren.

Zoomstufe 17

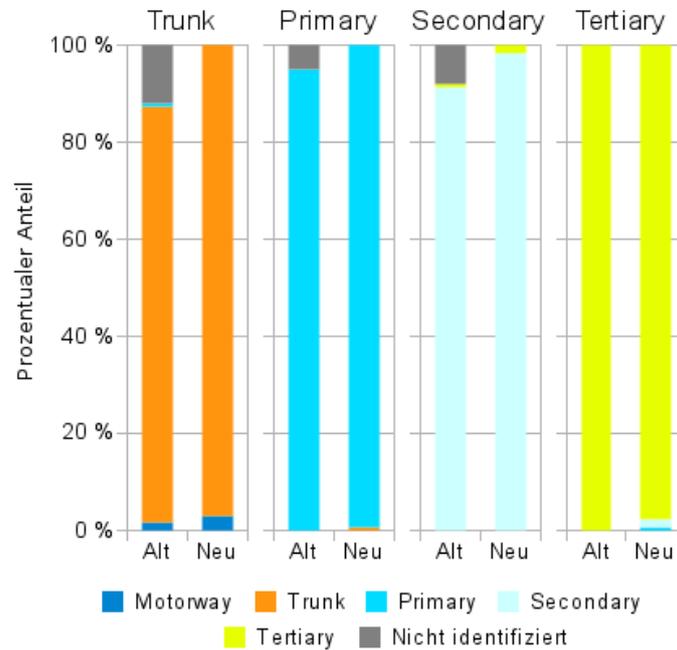


Abbildung 8.8: Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 17.

Veränderungen der Identifikationsraten

Trunk Verbesserung von 86% auf 97%

Primary Verbesserung von 95% auf 99%

Secondary Verbesserung von 91% auf 98%

Tertiary Verschlechterung von 100% auf 98%

Ergebnisse Im ursprünglichen Farbschema lagen die Identifikationsraten schon mindestens 86%, im neuen Farbschema wurden alle getesteten Klassen sicher identifiziert.

Abbildung 8.8 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Teilnehmer mit Protanstörungen konnten Secondary im ursprünglichen Farbschema zu 73% korrekt identifizieren, Teilnehmer mit Deutanstörungen dagegen zu 93%.

8.4.3 Identifikation mehrerer Straßen in einem Straßennetz aller Klassen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Identifikation mehrerer Straßen in einem verbundenen Straßennetz vorgestellt (siehe Abschnitt 7.6.3).

Zoomstufe 7

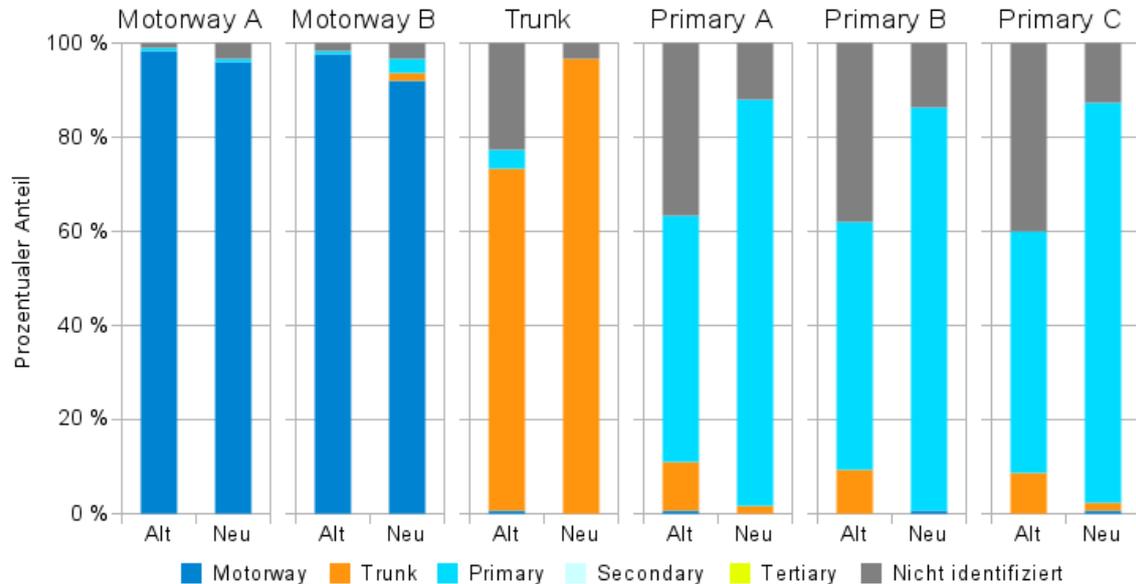


Abbildung 8.9: Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 7.

Veränderungen der Identifikationsraten

Motorway A Verschlechterung von 98% auf 96%

Motorway B Verschlechterung von 98% auf 92%

Trunk Verbesserung von 73% auf 97%

Primary A Verbesserung von 52% auf 87%

Primary B Verbesserung von 53% auf 86%

Primary C Verbesserung von 52% auf 85%

Ergebnisse Im Straßennetz auf Zoomstufe 7 befanden sich zwei Instanzen von Motorway. Während diese im ursprünglichen Farbschema von jeweils 98% der Teilnehmer korrekt identifiziert wurden, verschlechterten sich die Werte im neuen Schema leicht. Im neuen Schema wurde die zweite Instanz von Motorway mit Trunk (2%) und Primary (3%) verwechselt.

Trunk wurde verbessert und ist im neuem Farbschema sicher zu identifizieren.

Die Identifikationsraten der drei Primary-Instanzen wurden jeweils um rund 30 Prozentpunkte verbessert. Im alten Farbschema konnte nur rund die Hälfte der Teilnehmer diese Klasse korrekt identifizieren. Primary wurde dabei oft mit Trunk verwechselt (9-10% der Teilnehmer), dies wurde im neuen Farbschema auf 0-2% der Teilnehmer reduziert.

Abbildung 8.9 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Bei Teilnehmern mit Protanstörungen zeigten sich im ursprünglichen Farbschema weit niedrigere Identifikationsraten für Trunk (51%) und Primary (42-44%) als bei von Deutanstörungen Betroffenen, welche Trunk zu 95% korrekt identifizierten, Primary zu 64-66%. Im neuen Farbschema liegen die Identifikationsraten für Primary bei beiden Gruppen im Bereich von 81-86%, für Trunk bei 93% (protan) und 100% (deutan).

Zoomstufe 10

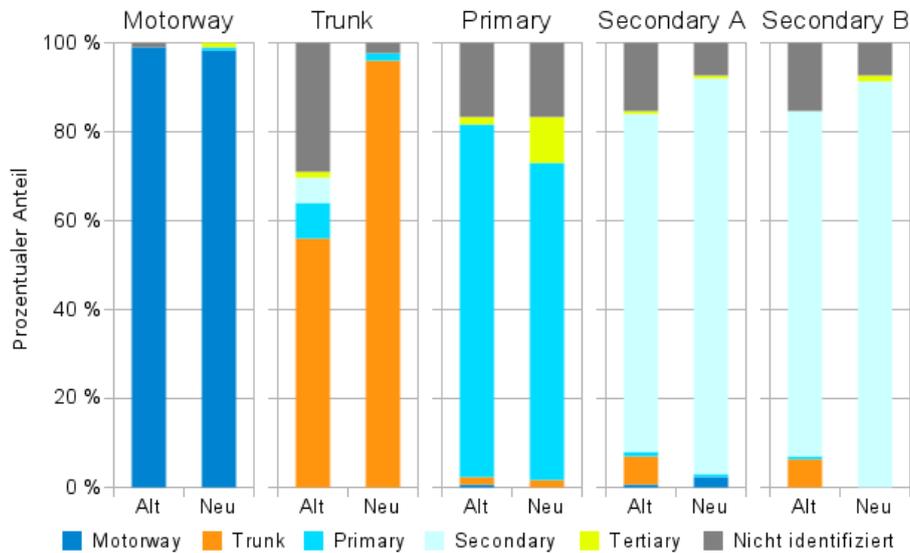


Abbildung 8.10: Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 10.

Veränderungen der Identifikationsraten

Motorway Verschlechterung von 99% auf 98%

Trunk Verbesserung von 56% auf 96%

Primary Verschlechterung von 79% auf 71%

Secondary A Verbesserung von 76% auf 89%

Secondary B Verbesserung von 78% auf 91%

Ergebnisse Die Klasse Motorway ist sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema sehr gut zu identifizieren. Die Identifikationsrate von Trunk verbesserte sich erheblich, die von Secondary leicht. Die Erkennung von Primary verschlechterte sich aufgrund von 8% Verwechslungen mit Tertiary, einer Klasse, welche nicht im Kartenbild gezeigt wurde. Verwechslungen von Secondary mit Tertiary wurden reduziert.

Abbildung 8.10 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Von Protanstörungen Betroffene hatten Schwierigkeiten bei der Identifikation von Secondary, nur 50% beziehungsweise 55% gelang diese fehlerfrei. Jeweils 9% von ihnen verwechselten diese Klasse mit Trunk.

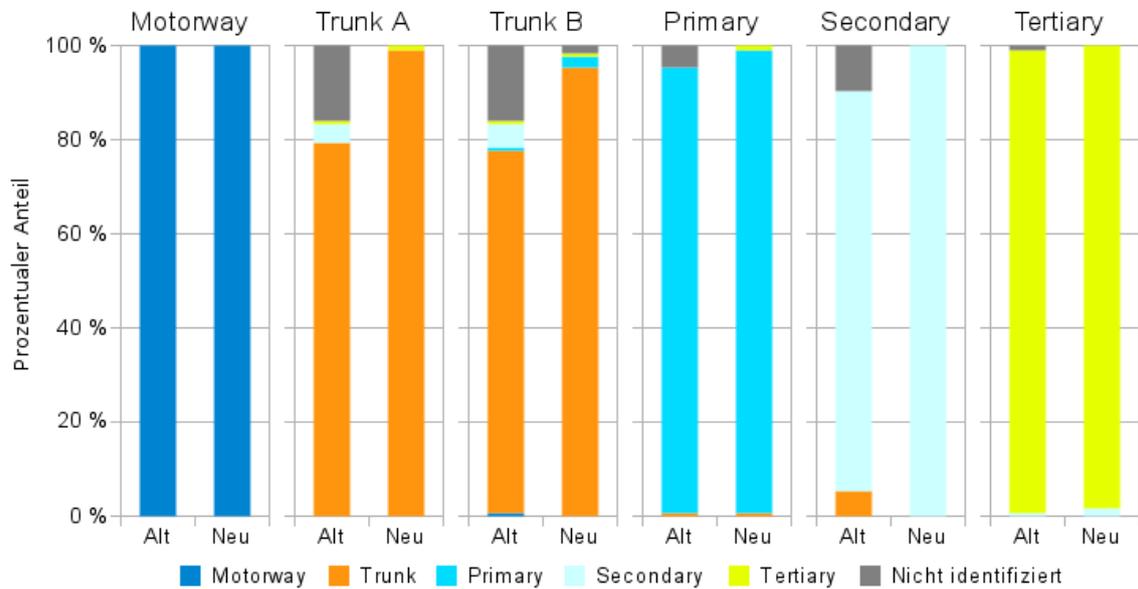
Zoomstufe 13

Abbildung 8.11: Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 13.

Veränderungen der Identifikationsraten**Motorway** Gleichbleibend auf 100%**Trunk A** Verbesserung von 80% auf 99%**Trunk B** Verbesserung von 77% auf 95%**Primary** Verbesserung von 94% auf 98%**Secondary** Verbesserung von 85% auf 100%**Tertiary** Gleichbleibend auf 98%

Ergebnisse Im neuen Farbschema wurden sämtliche Klassen sicher identifiziert. Im ursprünglichen Farbschema verwechselten 4-5% der Teilnehmer Trunk mit Secondary. Umgekehrt verwechselten 6% der Teilnehmer Secondary mit Trunk. Im neuen Farbschema wurden diese Verwechslungen erheblich reduziert oder eliminiert.

Abbildung 8.11 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Während sämtliche von Protanstörungen betroffene Teilnehmer die Instanz A von Trunk im neuen Farbschema korrekt identifizierten, gelang dies bei Instanz B nur 86%.

Zoomstufe 17

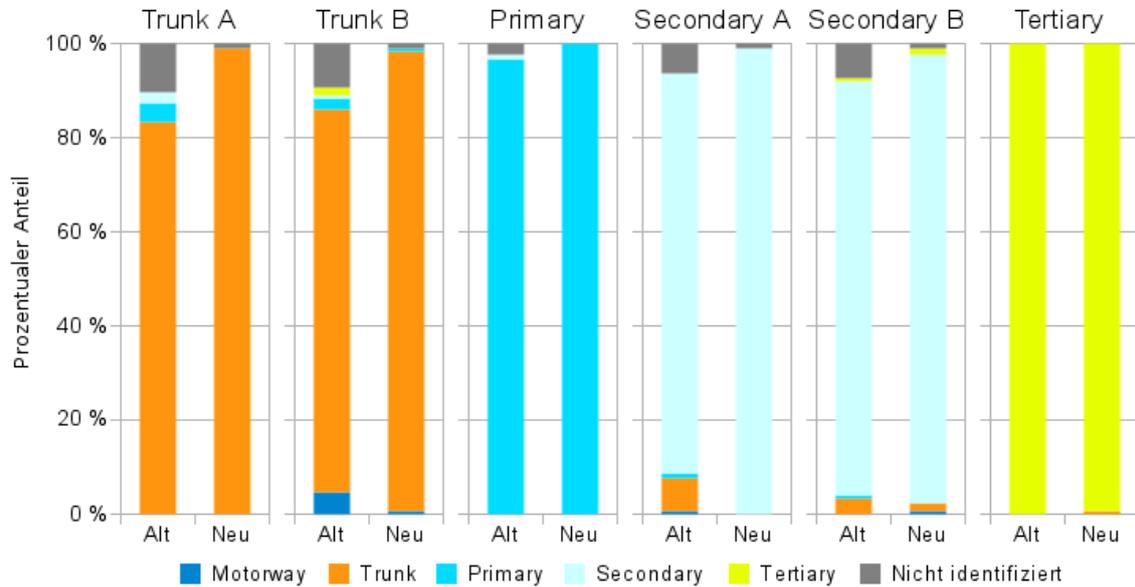


Abbildung 8.12: Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 17.

Veränderungen der Identifikationsraten**Trunk A** Verbesserung von 83% auf 99%**Trunk B** Verbesserung von 81% auf 98%**Primary** Verbesserung von 97% auf 100%**Secondary A** Verbesserung von 85% auf 99%**Secondary B** Verbesserung von 88% auf 95%**Tertiary** Verschlechterung von 100% auf 99%

Ergebnisse Die schon im ursprünglichen Farbschema relativ hohen Identifikationsraten wurden im neuen Farbschema noch verbessert. Verwechslungsprobleme zwischen Trunk und Secondary wurden erheblich reduziert.

Abbildung 8.12 stellt die prozentuale Verteilung der Antworten grafisch dar.

Störungsspezifische Besonderheiten Während die Identifikationsraten bei von Deutungsstörungen Betroffenen schon im ursprünglichen Farbschema zu mindestens 84% korrekt waren, hatten die von Protanstörungen Betroffenen hier größere Probleme: Nur 68% beziehungsweise 59% identifizierten Trunk korrekt, 62% beziehungsweise 64% Secondary. Dabei kam es bei der Instanz B von Trunk zu Verwechslungen mit Motorway (14%). Secondary wurde teilweise mit Trunk verwechselt (14% beziehungsweise 10%).

8.4.4 Sichtbarkeitsbeurteilung der Straßen vor farbigem Hintergrund

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Sichtbarkeitsbeurteilung von Straßen vor grünen Hintergründen präsentiert (siehe Abschnitt 7.6.4).

Hintergrund: natural=wood

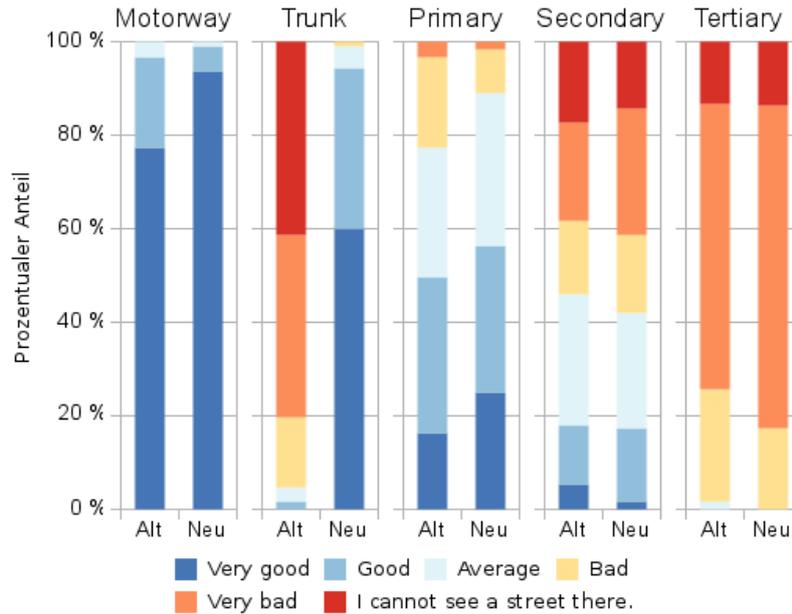


Abbildung 8.13: Prozentuale Verteilung der Sichtbarkeitsbeurteilungen: Straßen auf natural=wood.

Die Sichtbarkeit von Motorway vor dem Hintergrund **natural=wood** wurde im ursprünglichen Farbschema überwiegend mit “Sehr gut” (78%) bis “Gut” (19%) bewertet. Im neuen Farbschema gaben ihr 94% der Teilnehmer die Note “Sehr gut”.

Bei Trunk vergaben die Teilnehmer im ursprünglichen Schema schlechte Noten, 15% “Schlecht”, 39% “Sehr schlecht”. 41% konnten die Straße vor dem Hintergrund nicht sehen. Mit dem neuen Farbschema gelang dies dagegen allen Teilnehmern. 60% beurteilten die Sichtbarkeit von Trunk als “Sehr gut”, 34% als “Gut”.

Primary wurde sehr unterschiedlich bewertet. Im ursprünglichen Farbschema vergaben 33% der Teilnehmer die Note “Gut”, 28% “Mittelmäßig”, 19% “Schlecht“ und 16% “Sehr gut”. Im neuen Schema verbesserte sich dies auf 33% “Mittelmäßig”, 31% “Gut” sowie 25% “Sehr gut”.

Secondary wurde weder im ursprünglichen noch im neuen Farbschema gut bewertet. Im ursprünglichen Schema überwiegen Benotungen von “Mittelmäßig” (28%) und “Sehr schlecht” (21%), 17% der Teilnehmer konnten keine Straße erkennen. Mit dem neuen Farbschema verbesserte sich dies nicht. Immer noch 14% konnten die Straße nicht erkennen, 27% bewerteten die Sichtbarkeit als “Sehr schlecht”, 25% immerhin als “Mittelmäßig”.

61% der Teilnehmer bewerteten die Sichtbarkeit von Tertiary als “Schlecht”, 13% als “Sehr schlecht”. Im neuen Farbschema verschlechterte sich dies, 13% gaben weiterhin die Note “Sehr schlecht”, nun aber 69% “Schlecht”.

68% der von Protanstörungen Betroffenen konnten Trunk im ursprünglichen Farbschema nicht sehen, die übrigen 32% gaben die Note "Sehr schlecht". Auch Secondary wurde schlecht bewertet, 41% konnten diese Straßen weder im alten noch im neuen Schema sehen. Tertiary verschlechterte sich ohne Farbänderung von 45% "Sehr schlecht" und 18% "Ich kann keine Straße erkennen" auf 55% beziehungsweise 23%. Motorway und Primary wurden "Sehr gut" bis "Gut" bewertet.

Die von Deutanstörungen Betroffenen konnten Trunk im ursprünglichen Farbschema zwar eher erkennen (32% nicht), die Bewertung fiel dennoch negativ aus: 45% gaben ein "Sehr schlecht", 23% ein "schlecht". Die Sichtbarkeit von Secondary und Primary wurde jeweils sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema meist als "Gut" bis "Schlecht" bewertet, hauptsächlich als "mittelmäßig". Dabei verbesserte sich Primary leicht, während Secondary im neuen Farbschema schlechter abschnitt. Tertiary wurde auch von den Teilnehmern mit Deutanstörungen in Kombination mit den übrigen, farblich geänderten Straßenklassen des neuen Farbschemas noch schlechter bewertet als im ursprünglichen.

Fazit Secondary ist auf `natural=wood` bei Protanstörungen kaum zu sehen, von Deutanstörungen Betroffene hatten hier weniger Probleme. Das unverändert schlecht sichtbare Grau von Tertiary wurde in Kombination mit den besser sichtbaren Farben des neuen Farbschemas schlechter bewertet als in Kombination mit den ursprünglichen Farben. Die Sichtbarkeit von Trunk wurde insgesamt verbessert, Secondary und Tertiary wurden etwas schlechter beurteilt.

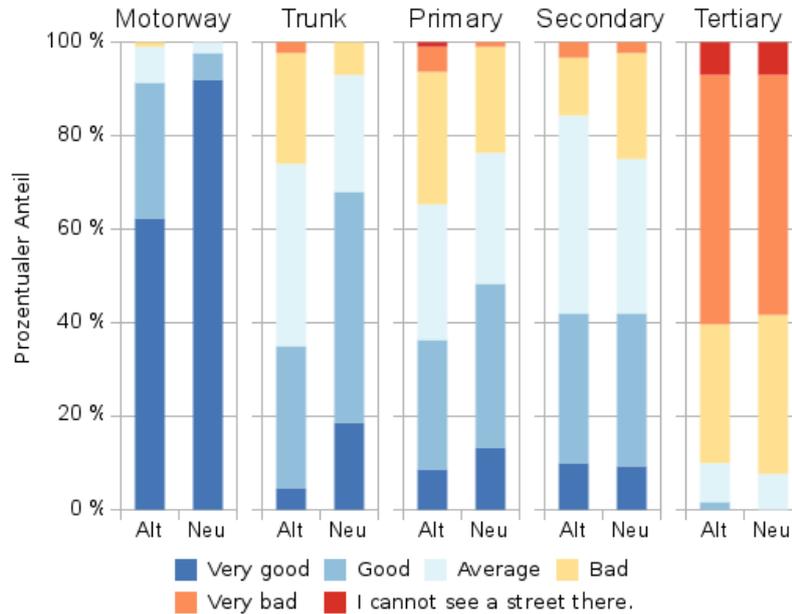
Hintergrund: landuse=forest

Abbildung 8.14: Prozentuale Verteilung der Sichtbarkeitsbeurteilungen: Straßen auf *landuse=forest*.

Die Sichtbarkeit von Motorway vor dem Hintergrund *landuse=forest* wurde sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema überwiegend als “Sehr Gut” bis “Gut” bewertet. Trunk wurde im ursprünglichen Schema größtenteils mit “Mittelmäßig” (39%) bewertet, im neuen Schema verbesserte sich dies zu 50% “Gut”. Primary bewerteten die Teilnehmer im ursprünglichen Farbschema mit jeweils rund 28% “Gut” bis “Schlecht”, mit den neuen Farben gaben 35% die Note “Gut”. Die Sichtbarkeit von Secondary verschlechterte sich leicht. Gaben im ursprünglichen Farbschema noch 42% der Teilnehmer die Note “Mittelmäßig” und 32% “Gut”, so waren es im neuen jeweils 33% “Gut” und “Mittelmäßig” sowie 23% “Schlecht”. Tertiary wurde sowohl im ursprünglichen als auch im neuen Farbschema überwiegend mit “Sehr schlecht” bewertet, 53% beziehungsweise 51% gaben diese Note.

Größere Unterschiede zwischen den deutan und protan betroffenen Teilnehmern wurden bei Trunk festgestellt. Die Sichtbarkeit des neuen Schemas wurde von Teilnehmern mit Deutanstörungen überwiegend als “Gut” (52%) bewertet, nur 27% der von Protanstörungen Betroffenen gaben diese Note. Hier überwiegte “Mittelmäßig” mit 36%. Ähnliche Unterschiede wurden auch für Secondary festgestellt. Während im ursprünglichen Farbschema 50% und im neuen 49% der von Deutanstörungen Betroffenen die Note “Gut” vergaben, waren es bei den von Protanstörungen Betroffenen im ursprünglichen Schema je 36% “Mittelmäßig” und “Schlecht”, im neuen Schema 41% “Schlecht”.

Fazit Vor dem Hintergrund *landuse=forest* ist die Straßenklasse Tertiary sehr schlecht zu sehen. Die übrigen Klassen wurden mittelmäßig bis sehr gut bewertet. Trunk ist für Menschen mit deutanen Störungen etwas besser zu sehen als für solche mit protanen Störungen. Secondary ist für von Protanstörungen Betroffene sehr schlecht zu sehen.

8.5 Zeitmessungen

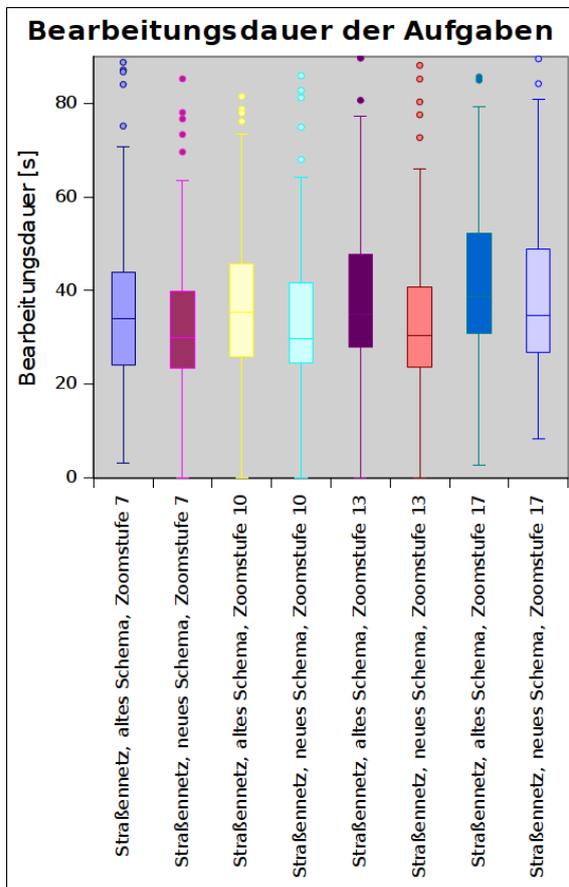


Abbildung 8.15: Grafik der Bearbeitungszeiten der Straßennetz-Aufgaben.

deutlich einfacher (15-18 Sekunden).

Das Straßennetz stellte die größte Herausforderung dar (siehe Abbildung 8.15). Hier beträgt der durchschnittliche Median 34 Sekunden. Die Identifikation der Straßen im neuen Farbschema gelang dabei durchschnittlich 5 Sekunden schneller. Für die Zoomstufe 17 brauchten die Teilnehmer dabei am längsten, der Median beträgt 39 Sekunden im ursprünglichen Farbschema, 35 Sekunden im neuen.

Die Sichtbarkeitsbeurteilung vor den grünen Hintergründen hat einen durchschnittlichen Median von 24 Sekunden. Dabei wurde besonders für `natural=wood` mit den Straßen im ursprünglichen Farbschema mehr Zeit benötigt, 27 Sekunden im Median im Vergleich zu 21 Sekunden mit dem neuen Farbschema.

Für die Beschreibung der Ishiharatafeln benötigten die Teilnehmer im Median 19 Sekunden.

Zusätzlich zur Aufnahme der Antworten der Teilnehmer wurde von der Umfragesoftware gemessen wieviel Zeit je Frage benötigt wurde.

Da mehrere Teilnehmer die Umfrage unterbrachen und später fortsetzten, dies bei der Zeitmessung aber nicht berücksichtigt wurde, ist nur der Median dieser Zeiten für eine Beurteilung von Bedeutung. Der Durchschnittswert wäre durch die Pausen verfälscht. Der Median wurde je Aufgabe berechnet und dann gegebenenfalls je Aufgabengruppe gemittelt.

Der Median für die Identifikation einzelner Straßensegmente liegt im Durchschnitt bei 8 Sekunden. Die Maximalwerte von 10 Sekunden traten bei der Identifikation von Primary im ursprünglichen Farbschema auf Zoomstufe 7 sowie bei Tertiary auf Zoomstufe 10 (in beiden Farbschemata grau) auf. Zwischen ursprünglichem und neuem Farbschema zeigt sich ein Unterschied von weniger als einer Sekunde.

Für die Identifikation der Klassen im Bild nicht-direkt verbundener Straßen brauchten die Teilnehmer im Median durchschnittlich 19 Sekunden. Das Bild im ursprünglichen Farbschema auf Zoomstufe 7 war dabei am zeitintensivsten (22 Sekunden), die höheren Zoomstufen 13 und 17

9 Diskussion

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ergebnisse der einzelnen Straßenklassen Bei der Klasse Motorway wurde die Identifikationsrate auf Zoomstufe 7 verschlechtert. Besonders bei der Identifikation der einzelnen Straße hatten die Teilnehmer Probleme, die Ergebnisse legen nahe, dass die Farbe Primary zu ähnlich ist. Auf Zoomstufe 7 sahen 21% der Teilnehmer im dem neuen Farbschema die Klasse Primary, während mit den ursprünglichen Farben nur 3% die Klasse nicht korrekt identifizierten. In anderen Zoomstufen und Kombinationen war die Identifikationsrate der Klasse Motorway sehr hoch. Die Sichtbarkeit vor den grünen Hintergründen wurde als sehr gut bestätigt.

Die Identifikationsrate von Trunk wurde erheblich verbessert. In allen Aufgaben ausser dem einzelnen Straßensegment auf Zoomstufe 7 konnte die Klasse sicher identifiziert werden. Die Sichtbarkeit vor `natural=wood` wurde erheblich verbessert und ist nun ausreichend. Die Sichtbarkeit vor `landuse=forest` wurde noch leicht verbessert.

Das Ergebnis für Primary ist eher schlecht. Zwar sind die Identifikationsraten aller Aufgaben der Zoomstufen 13 und 17 sehr hoch, doch die Identifikation auf Zoomstufe 10 wurde nicht verbessert. Hier sind teilweise sogar Verschlechterungen zu beobachten, die Identifikationsraten von 50-70% sind nicht zufriedenstellend. Auf Zoomstufe 7 wurde die Identifikation zwar vereinfacht, dennoch liegen die Werte im Bereich 75-85%. Die Sichtbarkeit vor grünem Hintergrund wurde nur leicht verbessert und ist noch immer verbesserungswürdig.

Die Klasse Secondary ist im neuen Farbschema in fast allen Zoomstufen und Kombinationen sicher zu identifizieren. Einzige Ausnahme war das Straßennetz auf Zoomstufe 10, hier wurde die Erkennung zwar verbessert, dennoch konnte jeder zehnte Teilnehmer die Klasse nicht korrekt identifizieren. Die Sichtbarkeit vor `natural=wood` und `landuse=forest` wurde nicht verbessert und ist weiterhin stark verbesserungswürdig.

Wurde die Klasse Tertiary farbig dargestellt, so wurde sie sicher identifiziert. Auf Zoomstufe 10 wurde sie nur einzeln in grau getestet. Hier verschlechterte sich die ohnehin sehr niedrige (53%) Identifikationsrate um nochmals 10 Prozentpunkte. Da die Sichtbarkeit vor grünem Hintergrund ebenfalls auf dieser Zoomstufe und dementsprechend in grau getestet wurde, wurde keine Veränderung erwartet. Durch das Zusammenspiel mit den übrigen (besser sichtbaren) Straßenfarben ergab sich für die Sichtbarkeitsbeurteilung vor `natural=wood` dennoch eine schlechtere Bewertung, die Sichtbarkeit ist stark verbesserungswürdig.

Einzelne Straßen auf Zoomstufe 7 konnten von je einem Viertel der Teilnehmer nicht korrekt identifiziert werden.

Störungsspezifische Ergebnisse Bei Teilnehmern mit deutanen Störungen bestätigte sich die Vermutung, dass Trunk und Primary im ursprünglichen Farbschema die Hauptprobleme seien. Besonders Primary wurde oft nicht korrekt identifiziert.

Teilnehmer mit protanen Störungen hatten im ursprünglichen Farbschema häufig Probleme die Klasse Secondary zu identifizieren. Bei der Kombination derselben mit Straßen der Klasse Trunk traten Verwechslungen auf. Auch Primary und die Kombination Primary mit Secondary bereiteten Probleme.

Im neuen Farbschema wurden Verwechslungsprobleme in den meisten Fällen verbessert oder eliminiert.

Gesamtergebnis Insgesamt konnten mit dem neuen Farbschema nahezu alle Teilnehmer die Straßenklassen auf den Zoomstufen 13 und 17 korrekt identifizieren (siehe Abbildung 9.1). Hier wurden die Identifikationsraten um 10-20 Prozentpunkte erhöht. Ähnliche Verbesserungen wurden auch für die niedrigeren Zoomstufen erreicht. Da hier allerdings die Identifikationsraten im ursprünglichen Farbschema niedriger lagen, sind diese auch im neuen Farbschema nicht höher als 80%.

Für die hohen Zoomstufen ist das erarbeitete Farbschema damit uneingeschränkt zu empfehlen. In niedrigen Zoomstufen ist stellt es zumindest eine Verbesserung dar. Besonders Zoomstufe 10 ist weiterhin problematisch.

Insgesamt ergab die Umfrage eine Verbesserung der Identifikationsrate von einem Wert von **76%** für das ursprünglichen Farbschema auf **90%** mit den neu erarbeiteten Farben. Konnte zuvor durchschnittlich jeder Vierte eine Straße nicht korrekt identifizieren, so ist dies mit dem neuen Farbschema nur noch jeder Zehnte. Ein gutes, aber weiterhin verbesserungswürdiges Ergebnis.

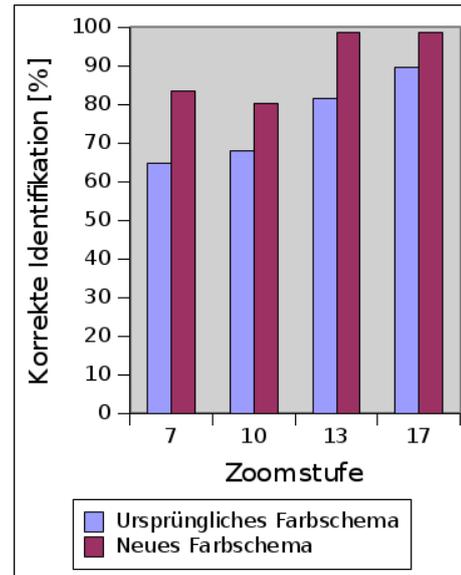


Abbildung 9.1: Prozentsätze korrekt identifizierter Straßen im ursprünglichen und im neuen Farbschema.

9.2 Fazit und Ausblick

Im Folgenden wird die Arbeit kritisch bewertet und ein Blick auf mögliche weiterführende Ansätze geworfen.

Strukturelle Probleme Mit der Beschränkung der Arbeit auf leichte Farbänderungen und dem damit einhergehenden Ausschluß anderer Merkmale wie der Linienart, -stärke oder andersfarbiger Ränder wurden die eigentlich zielführendsten Änderungsmöglichkeiten von Beginn an ausgeschlossen. Besonders die Variation von Straßenbreiten hätte vermutlich zu noch besseren Ergebnissen bei der Unterscheidbarkeit der Straßenklasse geführt. Kontrastreichere Ränder könnten zu einer besseren Sichtbarkeit der Straßen vor farbigen Hintergründen führen (Neuenhausen, 2005).

Leider wurden die CIE-Farbräume im Rahmen dieser Arbeit komplett ignoriert. Im CIE 1931-Farbraum wurden die sogenannten *confusion lines* erforscht. Sie beschreiben Zonen des Farbraums, in denen Rot-, Grün- oder Blaublinde nur Helligkeitsunterschiede, keine Farbunterschiede, wahrnehmen können. Auf Basis der *confusion lines* erstellte Brewer (2005) ihr Diagramm (siehe Abschnitt 3.4). In den CIE XYZ- oder L*A*B-Farbräumen ließen sich zumindest für Normalsichtige *Farbabstände* berechnen, Zahlenwerte, welche der menschlichen Wahrnehmung von Farbunterschieden entsprechen. Sofern dies auch für Farbsinnstörungen anwendbar wäre, so wäre damit eine viel fundiertere Vorgehensweise bei der Farbmischung möglich.

Um die Identifikation von Straßenklassen in den niedrigen Zoomstufen zukünftig zu verbessern, sollten diese gesondert bearbeitet werden. Da hier weniger Straßenklassen verwendet werden, wäre vielleicht eine Klassifikation ausschließlich über Farbtöne (jedweder Helligkeit) möglich. Nach Brewer's Diagramm (Brewer, 2005) würde die Kombination Gelb - Rot - Blau Betroffenen keine Probleme bei der Unterscheidung bereiten. Ein gelber Farbton wäre allerdings auf vielen Hintergründen schwer zu sehen, besonders in geringen Ausdehnungen. Im Rahmen dieser Arbeit war es ein Ziel die Farbtöne bestmöglich zu erhalten, dementsprechend wäre dieser Ansatz nicht zielführend gewesen.

Die Arbeit mit Color Oracle und Color Doctor war mühsam. Ideal wäre eine Transformation der gezeigten Farben in Echtzeit, in Vollbild und ohne nötige Interaktion des Bearbeiters. Der Monitorhersteller Eizo bietet Monitore an, die die Bildschirmhalte in farbsinngestörte Darstellungen transformieren¹.

Fehler im Testdesign Es wurde nicht explizit deutlich gemacht, dass die Legende proportional korrekt dargestellt wurde und die Teilnehmer damit auch die Linienstärke hätten berücksichtigen können. Besonders beim Straßennetz auf Zoomstufe 10 hätte dieses Wissen bei manchen Teilnehmern möglicherweise zu einer höheren Identifikationsrate geführt, da Tertiary hier mit einer geringeren Linienstärke dargestellt wurde.

Softwarebedingt gab es nur bei den einzeln dargestellten Straßen die Möglichkeit bei Unsicherheit eine Vermutung zu äußern, bei den übrigen Aufgaben musste der Teilnehmer eine Antwortoption wählen. Mit Blick auf die Ergebnisse wäre dies für alle Tests sinnvoll gewesen, besonders um die Hypothese zu bestätigen, dass die Möglichkeit Straßenfarben

¹http://www.eizo.com.au/products/coloredge/unicolor_pro/index.html

im Kartenbild miteinander zu vergleichen zu einer besseren Identifikation führt. So muss davon ausgegangen werden, dass möglicherweise oftmals die tendentiell richtigere Klasse ausgewählt wurde, auch wenn sich der Teilnehmer nicht hundertprozentig sicher war. Leider bot die verwendete Umfragesoftware diese Option nicht.

Teilweise gab es zwischen zwei Instanzen einer Straßenklasse im gleichen Kartenbild Unterschiede der Identifikationsrate von bis zu 10% (siehe Abschnitt 8.4.3, Zoomstufe 13). Dies weist darauf hin, dass trotz der sorgfältigen Planung der Straßenverläufe, diese in Einzelfällen einen erheblichen Einfluss auf die Identifikation hatten.

Fazit Die Anpassung selbst dieses kleinen Teils eines komplexen Kartenstils an die Bedürfnisse von Menschen mit Farbsinnstörungen erwies sich als eine schwierige Aufgabe. Das Ziel die ursprünglichen Farben bestmöglich zu erhalten erwies sich als äußerst einschränkend.

Die Neuentwicklung einer Karte speziell für Menschen mit Farbsinnstörungen von Grund auf dürfte insofern einfacher sein, dass die Auswahl des Stils an sich sowie die Auswahl der dargestellten Elemente neu getroffen werden könnten. Straßenklassen könnten in einem abstrakten Stil mit Strichelungen oder Schraffuren dargestellt werden. Je nach Zoomstufe könnte gezielt generalisiert werden. Straßen könnten auch in niedrigen Zoomstufen “unrealistisch” breit gezeichnet werden, sofern sie denn der primäre Karteninhalt sein sollen.

Die Testmethodik erwies sich – von einzelnen Ausnahmen abgesehen – als solide und aussagekräftig. Aufgetretene Probleme und Verbesserungsvorschläge wurden angesprochen und sollten abgeleiteten Tests berücksichtigt werden.

Insgesamt wurde mit dem neu erarbeiteten Farbschema das Ziel einer besseren Identifikationsrate für von Farbsinnstörungen betroffenen Menschen erreicht, doch Verbesserungspotential besteht weiterhin. Die Straßen waren nur ein kleiner Teil einer umfangreichen und sehr detaillierten Karte, die in ihrer Vielfalt für Betroffene auch weiterhin viele Wechselungsmöglichkeiten bietet.

Literaturverzeichnis

- Jürgen Bollmann und Wolf Günther Koch. *Lexikon der Kartographie und Geomatik*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2002.
- Cynthia A. Brewer. *Designing better maps : a guide for GIS users*. ESRI Press, Redlands, Calif. :, 2005. ISBN 9781589480896 1589480899.
- B. Jenny und N. V. Kelso. Color design for the color vision impaired. *Cartographic Perspectives*, pages 61–67, 2007.
- Mapnik-Wiki. XMLConfigReference, 2012. URL <https://github.com/mapnik/mapnik/wiki/XMLConfigReference>. Abgerufen am 29.09.2012.
- D.W. Martin. *Doing Psychology Experiments*. Thomson/Wadsworth, 2007. ISBN 9780495115779.
- Thomas Neuenhausen. Farbliche Hervorhebung von Netzdaten für die GIS-basierte Routenplanung. *Diplomarbeit*, 2005.
- OpenStreetMap SVN. osm.xml. URL <http://svn.openstreetmap.org/applications/rendering/mapnik/osm.xml>. Revision 10:53, 21 August 2012, SVN Revision 28832, Abgerufen am 30.08.2012.
- OpenStreetMap Wiki. Elements, a. URL <http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Elements&oldid=798652>. Revision 11:41, 21 August 2012, Abgerufen am 04.10.2012.
- OpenStreetMap Wiki. DE:Map Features, b. URL http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=DE:Map_Features&oldid=812737#Wege. Revision 22:13, 23 September 2012, Abgerufen am 04.10.2012.
- OpenStreetMap Wiki. Map Features, c. URL http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Map_Features&oldid=813916#Highway. Revision 21:21, 26 September 2012, Abgerufen am 04.10.2012.
- OpenStreetMap Wiki. Slippy map tilenames, d. URL http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Slippy_map_tilenames&oldid=798631. Revision 10:53, 21 August 2012, Abgerufen am 06.10.2012.
- Artem Pavlenko. Mapnik FAQ, 2012. URL <http://mapnik.org/faq/>. Abgerufen am 29.09.2012.
- L.T. Sharpe, A. Stockman, H. Jägle, und J. Nathans. Opsin genes, cone pigments, color vision and color blindness. *Gegenfurtner, K.G. and Sharpe, L.T. (Hrsg.) Color Vision – From genes to perception*, pages 3–51, 1999.
- Helen A. Swarbrick, Phuong Nguyen, Tuyen Nguyen, und Phuong Pham. The ChromaGen contact lens system: colour vision test results and subjective responses. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 21(3):182–196, 2001.
- B. Wissinger und S. Kohl. Genetische Ursachen der Farbenblindheit. *BIOspektrum*, 11: 29–33, 2005.

Abbildungsverzeichnis

2.1	<i>“Simulation des Farb- und Seheindrucks bei Menschen mit verschiedenen Farbschstörungen und Darstellung der Absorptionskurven der involvierten Zapfenpigmente. Die gestrichelte Kurve bei der Achromatopsie stellt das Absorptionsspektrum des Stäbchenpigments dar.”</i> Aus Wissinger und Kohl (2005).	3
3.1	Zylindrische Darstellung des HSL-Farbmodells (Quelle: Wikimedia, Autor: SharkD, Lizenz: CC-BY-SA)	8
3.2	Simultankontrast in Abhängigkeit der umgebenden Farbe. Im linken Teil des Bildes wirkt das Quadrat in der Mitte heller als das gleichfarbige Pendant im rechten Teil (nach Brewer (2005)).	9
3.3	Über verschiedene Merkmale klassifizierte Linien und die simulierte Darstellung für Grün- beziehungsweise Rotblinde. (Aus Jenny und Kelso (2007))	11
5.1	Kartenbilder von openstreetmap.org. Von oben: Zoomstufen 7, 10, 13 und 17. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)	17
5.2	Tabellarische Darstellung der Renderregeln für Farben und Strichbreiten der behandelten Straßenklassen. Farben sind in hexadezimaler Schreibweise angegeben, Breiten in Pixel.	19
5.4	Links: Trunk, Primary und Tertiary auf Zoomstufe 13, Mitte: Simulierte Wahrnehmung eines Grünblinden, Rechts: Simulierte Wahrnehmung eines Rotblinden. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)	20
5.5	Links: Trunk und Primary auf Zoomstufe 7, rechts: Simulierte Wahrnehmung eines Grünblinden. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)	20
5.3	Die primären Farben der untersuchten Straßenklassen. Von oben: Normal (1), simulierte Deuteranopie (2), simulierte Protanopie (3), simulierte Tritanopie (4).	21
5.6	Schlechte Sichtbarkeit von Straßen im Stadtgebiet. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)	22
6.1	Gleichzeitige Änderung mehrerer HSL-Parameter für die Farbe von Primary. Grau eingerahmt ist jeweils die Ursprungsfarbe. Dabei wurden die Werte nach rechts und oben vergrößert. Links: Änderung des Farbtons horizontal, Änderung der Sättigung vertikal, Mitte: Helligkeit horizontal, Farbton vertikal, Rechts: Helligkeit horizontal, Sättigung vertikal.	25
6.2	Simulierte deuteranopische Darstellung von Abbildung 6.1.	25
6.3	Farbgitter der ursprünglichen sowie der erarbeiteten Farben in unterschiedlicher Skalierung.	26
6.4	Farbgitter der ursprünglichen Farben in normaler Farbwahrnehmung, simulierter Deuteranopie und Protanopie.	26
6.5	Iterativer Prozess zur Findung geeigneter Farben.	27

6.6	Ein Kartenausschnitt mit Verwendung des neuen Farbschemas auf Zoomstufe 13. Von links nach rechts: Normalichtig, Deuteranopie, Protanopie, Tritanopie. (Quelle: © OpenStreetMap contributors, Lizenz: CC-BY-SA 2.0)	28
7.1	In der Umfrage verwendete Legenden der neuen Farben für die Zoomstufen 7, 10, 13 und 17 (von links nach rechts).	35
7.2	Ein einzelnes Straßensegment in den Zoomstufen 7, 10, 13 und 17.	36
7.3	Nicht direkt verbundene Straßen in den Zoomstufen 7, 10, 13 und 17.	37
7.4	Ein Straßennetz mit allen im Rahmen dieser Arbeit behandelten Straßenklassen in den Zoomstufen 7, 10, 13 und 17	38
7.5	Alle im Rahmen der Arbeit behandelten Straßenklassen vor den Hintergrundflächen <code>natural=wood</code> (links) und <code>landuse=forest</code> (rechts) auf Zoomstufe 10.	40
7.6	Die verwendeten Ishihara-Tafeln (Quelle: www.colblindor.com)	41
7.7	Beispielhafter Screenshot einer Aufgabe in der Umfrage.	42
8.1	Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 7.	47
8.2	Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 10.	48
8.3	Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 13.	50
8.4	Prozentuale Verteilung der Antworten: Einzelne Straßen auf Zoomstufe 17.	51
8.5	Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 7.	52
8.6	Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 10. Links Variation A, rechts Variation B.	54
8.7	Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 13. Links Variation A, rechts Variation B.	56
8.8	Prozentuale Verteilung der Antworten: Nichtverbundene Straßen auf Zoomstufe 17.	57
8.9	Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 7.	58
8.10	Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 10.	60
8.11	Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 13.	61
8.12	Prozentuale Verteilung der Antworten: Straßennetz auf Zoomstufe 17.	62
8.13	Prozentuale Verteilung der Sichtbarkeitsbeurteilungen: Straßen auf <code>natural=wood</code> .	63
8.14	Prozentuale Verteilung der Sichtbarkeitsbeurteilungen: Straßen auf <code>landuse=forest</code> .	65
8.15	Grafik der Bearbeitungszeiten der Straßennetz-Aufgaben.	66
9.1	Prozentsätze korrekt identifizierter Straßen im ursprünglichen und im neuen Farbschema.	68

Tabellenverzeichnis

2.1	Simulation der Wahrnehmung des Farbspektrums durch Menschen mit Farbsinnstörungen (aus Jenny und Kelso (2007)).	5
6.1	HSL-Werte und Farben des ursprünglichen (links) und des vorgeschlagenen Farbschemas (rechts).	27