

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Diplomarbeit Nr. 3641

Evaluation des Designs von Metro-Karten mit einer Eyetracking-Studie

Bettina Ohlhausen

Studiengang: Informatik
Prüfer: Prof. Dr. Daniel Weiskopf
Betreuer: Dr. Michael Burch

Beginn am: 02. April 2014
Beendet am: 02. Oktober 2014

CR-Classifikation: H.5.2, E.1

Kurzfassung

Metro-Karten werden zumeist als schematische Karten abgebildet, auf denen die Verbindungen zwischen den einzelnen Stationen des Kartennetzes durch Verkehrslinien dargestellt sind. Sowohl die übersichtliche Darstellung als auch eine gute Lesbarkeit sind für Reisende wichtig.

Diese Ausarbeitung bezieht sich auf die Ergebnisse einer Eyetracking Studie, deren Ziel die Untersuchung von Schwierigkeiten beim Lesen von Metro-Karten ist. Zu diesem Zweck werden Versuchspersonen Metro-Karten in verschiedener Komplexität und Farbgestaltung vorgelegt, in denen sie Verbindungen zwischen vorgegebenen Start- und Zielstationen finden sollen. Für die Evaluation der Augenbewegungsdaten werden sowohl Visualisierungstechniken verwendet als auch Statistiken der Augenbewegungsmetriken erstellt. Des Weiteren enthält diese Ausarbeitung Ausführungen zu themenverwandten Arbeiten und zu Auffälligkeiten des verwendeten Metro-Karten-Designs.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt unterschiedliche Herangehensweisen der Versuchspersonen an die ihnen gestellte Aufgabe. Unterschiede in der Farbgestaltung der Metro-Karten wirken sich auf deren Lesbarkeit aus. Im Gegensatz zu den graustufigen Metro-Karten fallen bei farbigen Karten sowohl Bearbeitungsdauer als auch Fehlerrate geringer aus, auch sind die Fixationen hier kürzer und die Sakkaden länger.

Abstract

Metro maps are mostly displayed as schematic maps where the connections between several stations are shown as traffic lines. Good readability as well as a clear illustration of a map are important for travellers.

This work describes the results of an eyetracking study with the purpose of analyzing the difficulties of reading metro maps. To this effect the subjects are shown metro maps with different complexity and colouring, in which they have to find a connection between highlighted start and destination stations. For the evaluation of the eye movement data, visualization techniques are used and statistics of eye movement metrics are generated. Furthermore, the work gives explanations to related research and to peculiarities of the used metro map design.

The analysis of the results shows different approaches of the study participants to the given task. Differences in the colouring of maps affect their readability. In contrast to the grayscale metro maps, coloured maps cause shorter completion times and a smaller error rate, also shorter fixations and longer saccades are observed.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Verwandte Arbeiten	7
2.1. Metro-Karten	7
2.1.1. Definition einer Metro-Karte	7
2.1.2. Historische Entwicklung	8
2.1.3. Kriterien der Metro-Karten-Erstellung	14
2.1.4. Layout von Design-Elementen	19
2.1.5. Design-Regeln	27
2.1.6. Automatisierung einer Metro-Karte	29
2.2. Eyetracking	31
2.2.1. Geschichte des Eyetrackings	31
2.2.2. Augenbewegungen des Menschen	33
2.2.3. Datentypen für Eyetracking	34
2.2.4. Visualisierungstechniken	34
2.2.5. Eyetracking-Systeme und ihre Kalibrierung	36
3. Durchführung einer Eyetracking-Studie mit Metro-Karten	37
3.1. Forschungsfragen	37
3.2. Studiendesign	39
3.3. Stimuli	40
3.4. Aufgabenbeschreibung	43
3.5. Pilotstudie	44
3.6. Untersuchungsumgebung	44
3.7. Eyetracking-System	44
3.8. Versuchspersonen	45
3.9. Studienablauf	46
4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie	49
4.1. Bearbeitungszeiten	49
4.2. Anzahl der Umstiege	53
4.3. Sakkadenlänge und Fixationsdauer	55
4.4. Herangehensweise der Versuchspersonen	60
4.5. Qualitatives Feedback	63
4.5.1. Open Question	63
4.5.2. Auffälligkeiten der einzelnen Metro-Karten	66

5. Diskussion	73
6. Zusammenfassung und Ausblick	75
A. Heatmaps zur Open Question	77
Literaturverzeichnis	79

Abbildungsverzeichnis

2.1. Metro-Karte der S-Bahn-Region-Stuttgart	7
2.2. Ausschnitt aus der Tabula Peutingeriana	8
2.3. Londons Metropolitan Railway-Liniennetz von 1874	9
2.4. Londons Metropolitan Railway-Liniennetz von 1896	10
2.5. Londons Liniennetz von 1917	11
2.6. Becks U-Bahn-Liniennetz von 1933	12
2.7. Cerovićs Metro-Karte von London	13
2.8. Klassischer Stil	14
2.9. Französischer Stil	15
2.10. Skandinavischer Stil	15
2.11. Holländischer Stil	16
2.12. Spider Map	17
2.13. Thermometer-Diagramm	17
2.14. Liniensymbole für die Kartengestaltung	21
2.15. Generalisierung: Vereinfachung der Linien	22
2.16. Generalisierung: Verdrängung der Linien	22
2.17. Generalisierung: Glättung der Linien	22
2.18. Stationssymbole für die Kartengestaltung	23
2.19. Schriftarten	24
2.20. Laufweite von Schriftarten	24
2.21. Generalisierung der Beschriftung	25
2.22. Piktogramme in Metro-Karten	26
2.23. Hintergrundbeispiel Tarifzonen	27
2.24. Automatisierte Metro-Karten	30
2.25. Unterschiedliche Augenbewegungen bei der Betrachtung eines Gemäldes	32
2.26. Heatmap	35
2.27. Scanpath-Visualisierung	35
2.28. Cluster	36
3.1. Stimulusbeispiel der Studie	40
3.2. Stationssymbole der verwendeten Metro-Karten	40
3.3. Symbole für Umsteigebahnhöfe	41
3.4. Symbole für Endbahnhöfe	41
3.5. Farbtafel	42
3.6. Stimulus der Studie in Graustufen	42
3.7. Metro-Karte von Frankfurt inklusive Start- und Zielsymbol	43

3.8. Der Eyetracker Tobii T60 XL	45
4.1. Durchschnittliche Bearbeitungszeit	49
4.2. Boxplots der Bearbeitungszeiten für graustufige und farbige Metro-Karten . . .	50
4.3. Durchschnittliche Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von der Komplexität . . .	51
4.4. Durchschnittliche Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von Komplexität und Farbe	52
4.5. Anzahl der falschen Antworten	53
4.6. Durchschnittliche Anzahl der Umstiege	54
4.7. Minimale und maximale Umstiegsanzahl	55
4.8. Boxplot der Sakkadenlängen für farbige und graustufige Metro-Karten	56
4.9. Durchschnittliche Sakkadenlänge für farbige und graustufige Metro-Karten . .	56
4.10. Durchschnittliche Fixationsdauer für farbige und graustufige Metro-Karten . .	57
4.11. Durchschnittliche Fixationsdauer für farbige und graustufige Metro-Karten . .	58
4.12. Verhältnis zwischen Fixationen und Sakkaden	59
4.13. Heatmap der Metro-Karte von Göteborg	60
4.14. Heatmap der Metro-Karte von Zürich	60
4.15. Scanpath der Metro-Karte von Düsseldorf	61
4.16. Heatmap zur Open Question der Metro-Karte von Barcelona	63
4.17. Heatmap zur Open Question der Metro-Karte von Bordeaux	64
4.18. Heatmap zur Open Question der Metro-Karten von Laibach und Warschau . .	65
4.19. Flughafensymbole	66
4.20. Pariser Metro-Karte	67
A.1. Heatmaps zur Open Question	77
A.2. Heatmaps zur Open Question	78

1. Einleitung

Metro-Karten nutzen tagtäglich Millionen von Reisenden weltweit. Die Karten sollen einen möglichst schnellen Überblick über die Beziehungen zwischen einzelnen Stationen und den Verkehrslinien in einer Stadt geben. Aufgabe der zumeist schematischen Metro-Karten ist es, möglichst rasch die benötigten Informationen darüber zu liefern, wo sich der Reisende innerhalb der Stadt befindet, und wie er am schnellsten zu seinem Ziel gelangt. Dabei ist weniger die genaue Entfernung oder Lage der Orte von Interesse, sondern vor allem, wie viele Stationen er von seinem Ziel entfernt ist oder an welcher Station er in ein anderes Verkehrsmittel umsteigen muss. Damit Reisende sich schnell zurecht finden können, müssen die Metro-Karten übersichtlich und gut lesbar sein. Es ist nicht einfach eine gute Metro-Karte zu erstellen, da viele Faktoren, etwa Linienführung, Haltestellen, Beschriftung und Farbe, die Karten-Erstellung beeinflussen. Bis heute gibt es keine Standardisierung zur Metro-Karten-Erstellung.

Um die Metro-Karten besser an die Bedürfnisse der Reisenden anzupassen, sind Wissenschaftler daran interessiert, wie Reisende diese Karten lesen und visuell analysieren. So untersucht die Blickbewegungsforschung die menschliche Aufmerksamkeitsverteilung beim Betrachten eines Reizes. Die Augenbewegungen werden mit einem Eyetracker aufgezeichnet und anschließend mittels Blickbewegungsanalyse wissenschaftlich analysiert und ausgewertet.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Blickbewegungen von Versuchspersonen beim Finden einer Wegverbindung zwischen zwei vorgegebenen Stationen in 24 verschiedenen Metro-Karten von Großstädten aus Europa, Amerika und Asien. Die Metro-Karten wurden von der Firma Communicarta Ltd für die Eyetracking-Studie zur Verfügung gestellt. Somit ist gewährleistet, dass alle Metro-Karten dasselbe Design aufweisen. Vor der Durchführung der Eyetracking-Studie werden mehrere Forschungsfragen bezüglich der Lesbarkeit von Metro-Karten aufgestellt. Sie beschäftigen sich mit Komplexität und Farbgestaltung von Metro-Karten wie auch der Herangehensweise der Versuchspersonen beim Lesen von Metro-Karten. In der Studie selbst werden die Daten erhoben und danach bezüglich Antwortzeit, Fehlerrate und Augenbewegungsdaten analysiert und ausgewertet. Mit Hilfe der Ergebnisse lassen sich schließlich die Forschungsfragen beantworten.

Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in sechs Kapitel unterteilt. Nach der Einleitung zu Motivation und Aufbau der Arbeit folgen in Kapitel 2 die verwandten Arbeiten. Sie dienen als Einführung in das Thema und stellen weitere Forschungsgebiete aus dem Bereich der Metro-Karten-Erstellung und des Eyetrackings vor.

Kapitel 3 erläutert die Durchführung der Eyetracking-Studie mit Metro-Karten. Dafür werden Forschungsfragen entwickelt und das Studiendesign vorgestellt. Anschließend treten das verwendete Metro-Karten-Design, die Aufgabenbeschreibung, die Pilotstudie, die Untersuchungsumgebung und das Eyetracking-System in den Fokus. Bevor der genaue Studienablauf erläutert wird, wird auf die Versuchsteilnehmer eingegangen.

Kapitel 4 präsentiert die Ergebnisse dieser Studie. Die Ergebnisse sind gegliedert in die statistische Auswertung, zum Beispiel die benötigte Bearbeitungszeit, die Anzahl der Umstiege, die Sakkadenlänge und die Fixationsdauer, sowie in die Analyse der Augenbewegungen für die Herangehensweise der Versuchspersonen. Hiernach steht ein qualitatives Feedback zu den gezeigten Metro-Karten, das die Antworten der Versuchspersonen der Open Question auswertet und die Auffälligkeiten der einzelnen Metro-Karten auflistet.

Das fünfte Kapitel diskutiert Schwierigkeiten, welche beispielsweise bei der Durchführung der Eyetracking-Studie entstanden sind oder generell entstehen können, worauf Kapitel 6 die Arbeit zusammenfasst und ein Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten im Bereich der Metro-Karten gibt.

2. Verwandte Arbeiten

Eine Metro-Karte ist, wie in Abbildung 2.1 zu sehen, eine schematische Karte, die ein Transportnetzwerk abbildet. Für schematische Karten ist die geometrische Genauigkeit weniger wichtig als die relative Lage. Sie enthalten vor allem Informationen über die Verknüpfungen und Nachbarschaftsbeziehungen des Transportnetzes [Mon96].

Der Zweck der Metro-Karte ist es, die Navigation für die Fahrgäste zu erleichtern. Fahrgäste wollen möglichst schnell spezifische Informationen erhalten, so zum Beispiel ihren genauen Standort im Verkehrsnetz, wie man am schnellsten zu einem bestimmten Ziel gelangt, wie viele Stationen man noch von diesem Ziel entfernt ist oder wo man in einen anderen Zug umsteigen muss, um ans Ziel zu kommen. Genaue Geografie ist für die Beantwortung solcher Fragen nicht notwendig, sie kann unter Umständen sogar eine Behinderung für die Orientierung der Fahrgäste darstellen [Wolo7].

Bei den wichtigsten Elementen, die in jeder Metro-Karte enthalten sind, handelt es sich um [Stoo8]:

- Stationen: Orte, an denen die Passagiere zu-, aus- oder umsteigen können.
- Verkehrslinien: Sie zeigen den Verlauf der Züge an.
- Beschriftung: Sie geben die Namen der einzelnen Stationen und Verkehrslinien an.

Um menschliche Reaktionen auf schematische Karten zu testen, wurden psychologische Untersuchungen durchgeführt, die metrisch genaue Karten und schematische Karten miteinander verglichen. Es wurde festgestellt, dass die Probanden den Weg schneller und genauer mit schematischen Karten finden als mit metrisch genauen [Bar80].

2.1.2. Historische Entwicklung



Abbildung 2.2.: Ausschnitt aus der Tabula Peutingeriana [Jil].

Schematische Karten zur Visualisierung von Reisewegen können auf eine lange Tradition zurückblicken. Eine der bekanntesten, ältesten schematischen Karten ist die Tabula Peutingeriana (Abbildung 2.2). Ihre Vorlage war eine antike römische Weltkarte, deren Ursprung ins 4. Jahrhundert zurückgeht. Diese Karte stellt die wichtigsten Straßen und großen Verbindungslinien, die das Römische Reich durchzogen haben, grafisch dar [Ins].

Mit der Revolution der Eisenbahn im 19. Jahrhundert nahm die Komplexität des Schienennetzes zu. Jeder Betreiber informierte seine Fahrgäste auf seine eigene Art und Weise. Die ersten Linienpläne der Eisenbahn wurden auf bestehende topografische Karten gedruckt. Dieses Verfahren eignete sich gut für wenige Eisenbahnstrecken. Doch mit dem schnellen Ausbau des Schienennetzes in Ballungszentren wurde es in Gebieten wie London, Paris oder Berlin schnell unübersichtlich. Im Zentrum der Stadt existieren viele Linien, die sich kreuzen, und Haltestellen, die dicht beieinanderliegen. Kartographen erkannten schnell, dass U-Bahn Benutzer nicht notwendigerweise wissen müssen, wo genau sie sich unter der Erde befinden oder welche Straßen exakt über ihnen liegen. Für den Fahrgast wichtiger erachteten sie die übersichtliche Darstellung der Wegverbindungen und zugehörigen Stationen. So entstanden bereits im Jahre 1874 spezielle Karten (siehe Abbildung 2.3), die keine Oberflächentopografie mehr aufwiesen [Oveo5].

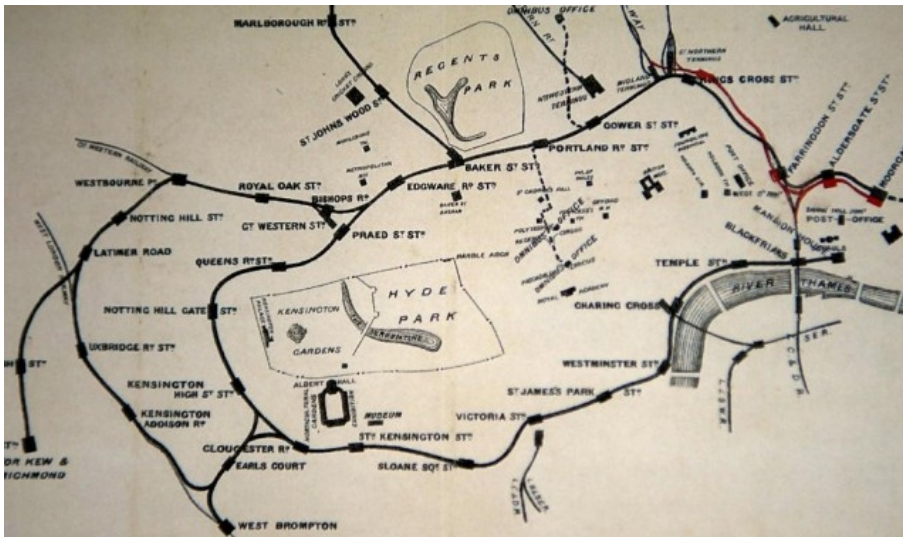


Abbildung 2.3.: *Londons Metropolitan Railway-Liniennetz aus dem Jahre 1874, eine der ersten Metro-Karten, die den größten Teil der Oberflächentopografie entfernte [Oveo5].*

Aber auch diese Karten wurden mit dem schnellen Ausbau des Liniennetzes unübersichtlich. Ein großes Problem von Liniennetzen besteht darin, dass im Zentrum die Stationen nur ein paar hundert Meter entfernt sind, aber außerhalb des Zentrums bis zu 10 Kilometer zwischen den Stationen liegen können. Um die Karte klein und übersichtlich zu halten, wurde 1896 ein neuer Kartenstil entworfen. Dieser arbeitet mit Verzerrungen im Maßstab (Abbildung 2.4). So können die Stationen im Innenbezirk der Stadt übersichtlich und leserlich dargestellt werden, während die Linien im Außenbezirk gestaucht abgebildet sind. Das bedeutet, dass

2. Verwandte Arbeiten

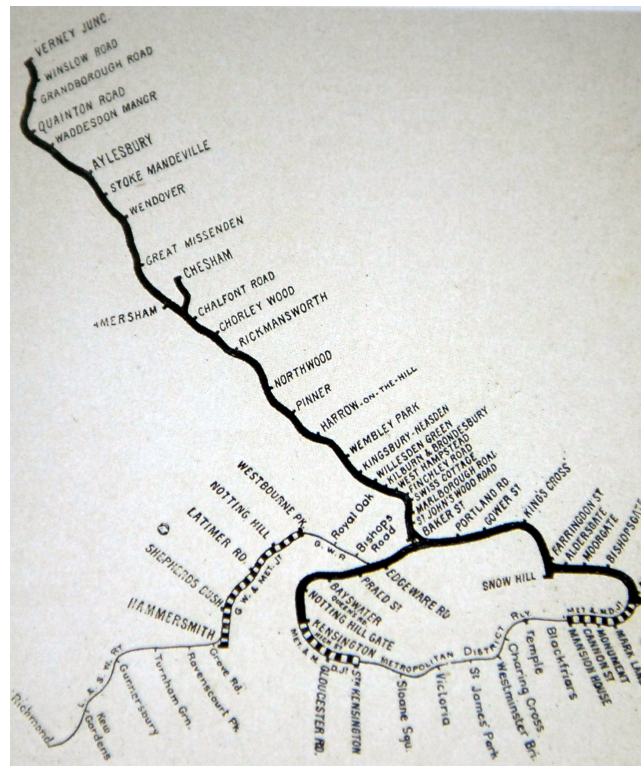


Abbildung 2.4.: Londons Metropolitan Railway-Liniennetz aus dem Jahre 1896. Die Karte enthält eine starke Verzerrung im Maßstab. Die Distanz zwischen den Haltestellen in der oberen linken Ecke beträgt in der Realität bis zu 10 Kilometer, wohingegen die Haltestellen in der unteren rechten Ecke nur einige hundert Meter entfernt liegen [Ove05].

in Abbildung 2.4 in der oberen linken Ecke der Karte die Stationen eigentlich viel weiter voneinander entfernt sind als die Stationen in der unteren rechten Ecke [Ove05].

Die U-Bahn-Karte von 1917 (Abbildung 2.5) zeigt eine weitere Errungenschaft auf, denn darin wurden die Kurven der Linien begradigt oder bogenförmig gekrümmt.

Der große Durchbruch bei schematischen Metro-Karten gelang 1932 Henry C. Beck, besser bekannt als Harry Beck. Er gilt als Pionier der Metro-Karten. Frei übersetzt mit Ziemer [Zie04] beschreibt Beck [Gar94, Seite 17] seine Idee auf folgende Weise: „Während ich die alte Karte der Underground Railways betrachtete, kam mir die Idee, dass es möglich sein könnte, die Karte aufzuräumen, indem Linien begradigt werden; dabei experimentierte ich mit Diagonalen und glich die Abstände zwischen den Stationen aus. Je mehr ich darüber nachdachte, desto überzeugter war ich, dass es einen Versuch wert sei, und machte einen ersten Entwurf, bei dem ich die Central London Railway als horizontale Basislinie auswählte. Ich versuchte mir vorzustellen, dass ich eine konvexe Linse oder einen Spiegel benutze, um so die zentrale Region in einem größeren Maßstab darzustellen. Dadurch, so dachte ich, würde den Umsteigeinformationen die nötige Klarheit gegeben.“

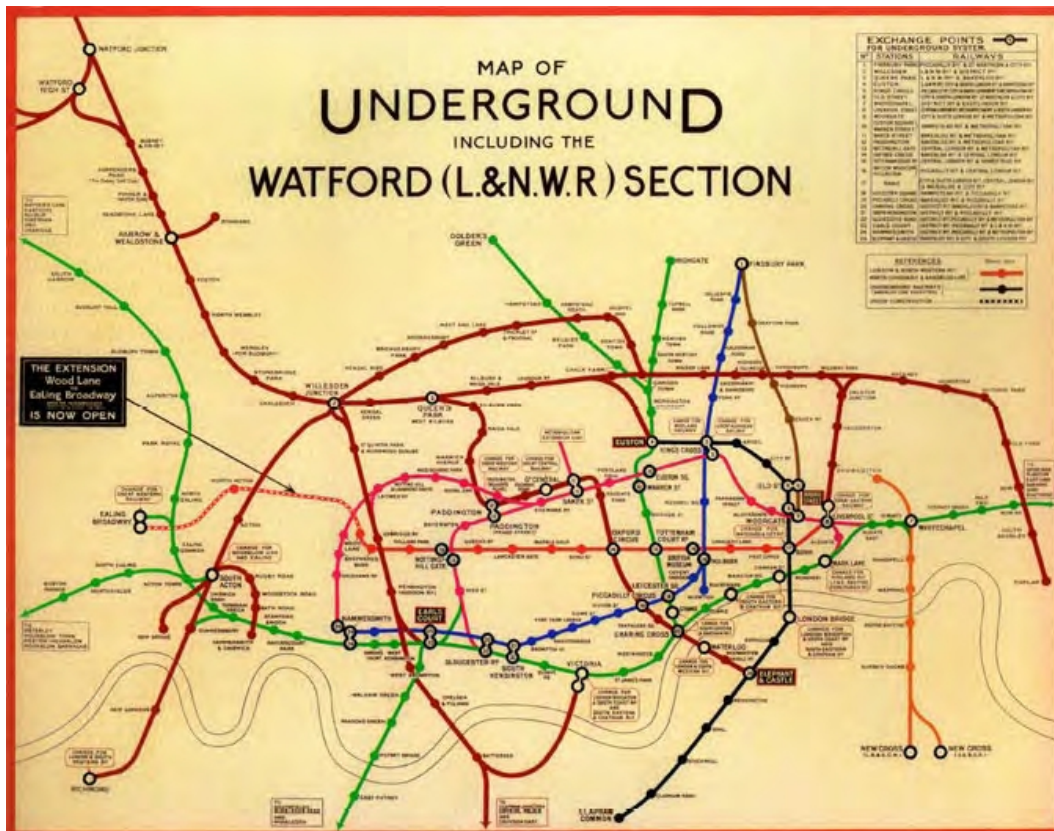


Abbildung 2.5.: Londons Liniennetz von 1917: Die Verkehrslinien wurden begradigt oder bogenförmig gekrümmt [Oveo5].

Becks Metro-Karte aus dem Jahre 1933 ist in Abbildung 2.6 dargestellt. Die Gestaltung der Karte erinnert stark an heutige Karten und beruht auf folgenden Prinzipien [Gar94]:

- Ausschließliche Nutzung von Horizontalen, Vertikalen und 45°-Diagonalen.
- Vergrößerte Darstellung der zentralen Region im Verhältnis zu weiter außen liegenden Gegenden.
- Verwendung von „Ticks“ (Strichen) zur Kennzeichnung von Stationen, die nur eine Linie anfährt.
- Unterscheidung der Linien durch Farbkodierung.
- Eliminierung aller Oberflächendetails bis auf den Fluss, dessen Verlauf nur stark vereinfacht wiedergegeben wird.
- Die Central Line als horizontale Basis des Designs.
- Geschwungene, keine kantige Linienführung.

2. Verwandte Arbeiten



Abbildung 2.6.: Becks U-Bahn Liniennetz aus dem Jahre 1933 [Trab].

Die Karte war ein sofortiger Erfolg bei den Londonern und strukturierte schnell ihr Bild von der Stadt. Nach Tuftte [Gar94] organisiert nun die Metro-Karte London. Becks Design-Prinzipien werden in vielen Karten auf der ganzen Welt verwendet. Die aktuelle Metro-Karte von London wurde seit 1959, dem Jahr der letzten Designänderung von Beck, nur wenig verändert. Die Langlebigkeit von Becks Entwurf ist der Beleg für seinen Nutzen und seine Ästhetik [Gar94].

Becks Erfolg ist nach Rajamanickam [Raj05] auf zwei Design-Strategien zurückzuführen:

- Die Karte legt den Schwerpunkt auf ihre Funktion, und nicht auf die genaue Geographie. Der Fahrgast muss wissen, wie er von einer Station zur anderen kommt, welche Linien er nehmen muss, wo er umsteigen muss, und welche die vorherigen Stationen sind.
- Die Karte nutzt die Tatsache, dass die U-Bahn unterirdisch fährt. Deswegen brauchen sich die Fahrgäste nicht mit der Topologie über der Erde zu belasten. Das einzige Merkmal über der Erde ist das Wahrzeichen der Themse. Die Karte vereinfacht komplexe Informationen durch die Eliminierung von unwichtigen Details.

2.1. Metro-Karten

In den letzten zwei Jahren hat der Pariser Architekt Jug Cerović [Spi14] die Metro-Karten von zwölf internationalen Metropolen überarbeitet. Cerović arbeitet mit einheitlichen Symbolen, und hebt die Stadtzentren besonders groß hervor. Nach seiner Aussage werden Umsteigebahnhöfe noch deutlicher hervorgehoben und die Linienführungen kommen mit möglichst wenigen Knicken aus. Dennoch folgt Cerović den Design-Regeln von Beck. In Abbildung 2.7 ist Cerovićs neue Metro-Karte von London zu sehen.



Abbildung 2.7.: Jug Cerovićs neuer Plan für die Londoner Metro-Karte [Cer].

2.1.3. Kriterien der Metro-Karten-Erstellung

Bei der Erstellung von Metro-Karten gilt es verschiedene Kriterien zu beachten. Morrison [Mor96], Avelar und Hurni [AHO6] und Avelar [Ave08] unterteilen sie in drei Gruppen: das Transport-System, die Metro-Karten-Benutzer und den Metro-Karten-Kontext.

Transport-System

Die Darstellung des Transport-Systems ist das Hauptkriterium bei der Erstellung einer Metro-Karte. Die Analyse des Netzwerks und seiner Eigenschaften spielen eine wichtige Rolle bei der Auswahl und Anordnung der Design-Elemente. Zu den Netzwerk-Eigenschaften gehören die Anzahl von Transportmitteln (Bus, Straßenbahn, U-Bahn, S-Bahn, Seilbahn, Fähren), die Anzahl der Verkehrslinien, eine Dominanz des einen Transportmittels über das andere, die Existenz von Überschneidungen zwischen den Linien, Abweichungen in den Verkehrslinien und der Abstand zwischen den Haltestellen.

Es existieren verschiedene Stile für Metro-Karten. Petchenik [Pet74] zufolge entstehen Karten-Stile, wenn viele Modelle erkennbare und allgemein akzeptierte visuelle Ähnlichkeiten aufweisen. Nach mehreren Studien zur kartografischen Darstellung von Metro-Karten in europäischen Städten kommt Morrison [Mor96] zu dem Schluss, dass es bestimmte nationale Unterschiede zwischen den Stilen der Metro-Karten gibt. Basierend auf diesen besonderen Charakteristika identifizierte er die folgenden Metro-Karten Stile:

- Klassischer Stil:

In einer Linie werden alle Verkehrslinien und Transportarten zusammengefasst, und die Liniennummern werden entlang der Strecke platziert. Dieser Stil ist vor allem in britischen, italienischen und portugiesischen Städten zu finden. In Abbildung 2.8 ist die Melbourne-Tram im Klassischen Stil zu sehen.



Abbildung 2.8.: Klassischer Stil: Ausschnitt aus der Metro-Karte der Melbourne-Tram [Mel].

- Französischer Stil:

Für jede Verkehrslinie und Transportart wird eine eigene Linie verwendet, wobei jede Linie eine eigene Farbe erhält. Die Liniennummern stehen in der Regel an den beiden Enden der Verkehrslinien. Diese Art wird in Frankreich, in den meisten Städten der Schweiz und in Belgien verwendet (siehe Abbildung 2.9).



Abbildung 2.9.: Französischer Stil: Ausschnitt aus der Pariser Metro-Karte [Par].

- Skandinavischer Stil:

Der Skandinavische Stil ähnelt dem Klassischem Stil, nimmt aber eine Gliederung des Verkehrsliniennetzes vor. Es werden nur zwei oder drei verschiedene Linien in unterschiedlichen Farben auf einer Strecke nebeneinander angezeigt. Diesen Kartentyp verwenden große Städte Skandinaviens und einige Städte in Deutschland, Österreich und Spanien. Abbildung 2.10 zeigt die Metro-Karte von Bukarest im Skandinavischen Stil.

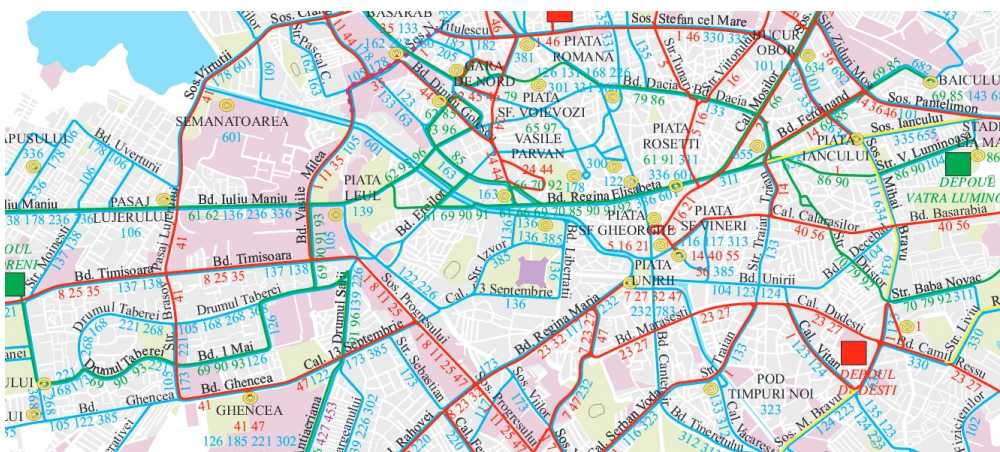


Abbildung 2.10.: Skandinavischer Stil: Ausschnitt aus der Metro-Karte von Bukarest [Reg].

2. Verwandte Arbeiten

- Holländischer Stil:

Der Holländische Stil ist wiederum dem Klassischen Stil ähnlich, weist aber den einzelnen Transportarten unterschiedliche Symbole zu; zum Beispiel eine einfache Linie für die Straßenbahnen und eine Linie mit abwechselnden schwarz/weißen Balken für den Zug. Dieser Stil wird vor allem in den Niederlanden eingesetzt. Abbildung 2.11 verdeutlicht den Holländischen Stil anhand eines Ausschnitts aus der Münchner Metro-Karte.



Abbildung 2.11.: Holländischer Stil: Ausschnitt aus der Münchner Metro-Karte [Mue].

Nach Morrison [Mor96] bilden der Klassische und der Französische Stil zwei Extreme, die in ihrer reinsten Form die Fahrgäste bei der Benutzung der Karten in Schwierigkeiten bringen können. Viele Karten wählen deshalb eine Kombination aus verschiedenen Stilen. Zum Beispiel kann es bei vielen verschiedenen Verkehrsarten und Routen passieren, dass sich die Farben beim Französischen Typ zu sehr ähneln. Hier kann eine Kombination mit dem Holländischen Stil über eine zusätzliche Unterscheidbarkeit der Linien durch Strichelungen oder unterschiedliche Strichstärken Abhilfe schaffen. Morrison ist der Meinung, dass die Wahl des bestmöglichen Metro-Karten-Stils von vielen verschiedenen Faktoren abhängt. Der Hauptfaktor ist die Anzahl der verschiedenen Verkehrsarten und Verkehrslinien [Mor96].

Avelar [Aveo8] bestimmt weitere Metro-Karten-Stile. Mit Hurni [AHo6] unterscheiden sie zusätzlich zu den unterschiedlichen Karten-Stilen noch verschiedene Karten-Arten, die sich im Layout der Verkehrslinien unterscheiden.

Spider Maps kombinieren zwei unterschiedliche Kartenarten. Sie enthalten im Außenbereich eine schematische und im Innenbereich eine geografisch genaue Umgebungskarte. Letztere umfasst Straßen, Sehenswürdigkeiten und andere Stationen, die in der Nähe dieser Position zu finden sind [RRL12]. Diese Kartenarten kommen oft an Bushaltestellen oder an zentralen Bereichen zum Einsatz (in Abbildung 2.12 Liverpool Street, London).

Buses from Liverpool Street

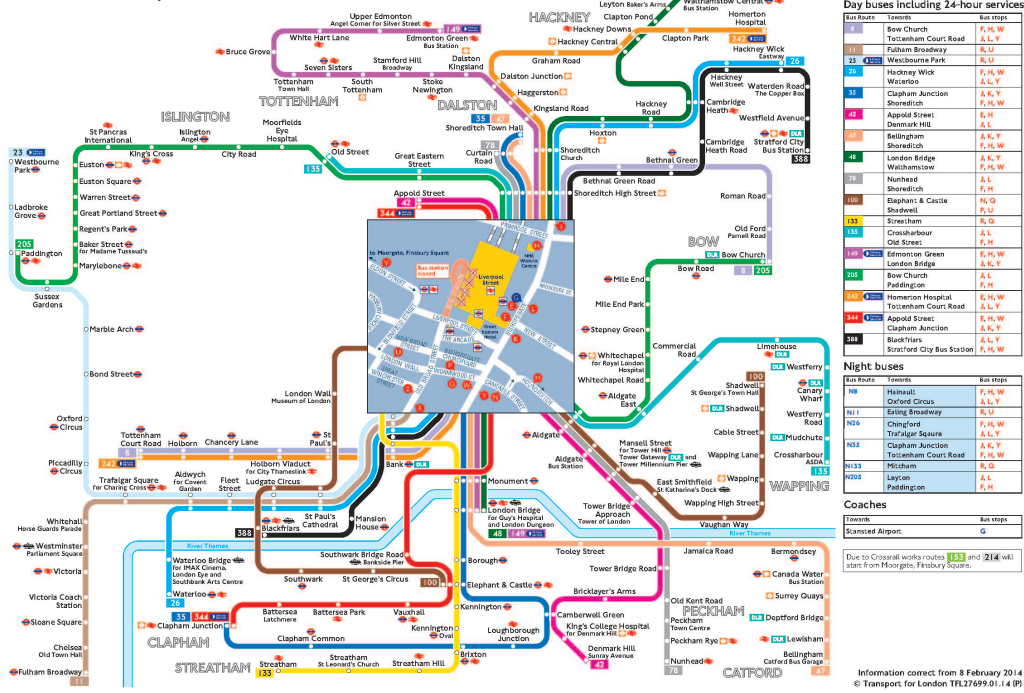


Abbildung 2.12.: Spider Map von Liverpool Street, London. Im Zentrum der Metro-Karte befindet sich eine topografisch genaue Karte der Umgebung [Tra14].

Eine weitere gängige Darstellung ist das **Thermometer-Diagramm**. Es zeigt meist einzelne Verkehrsstrecken und wird in Zügen verwendet, damit die Fahrgäste wissen, wo auf dieser Verkehrslinie sie sich befinden. Dabei werden lediglich die Stationen der einen Verkehrslinie in ihrer Reihenfolge angezeigt sowie die Umsteigemöglichkeiten der einzelnen Umsteigehaltestellen [AHo6]. Abbildung 2.13 zeigt das Thermometer-Diagramm der Berliner U-Bahnlinie 6. Diese Variante gibt es zudem als digitale Anzeige, bei der die aktuelle Station aufleuchtet und die Fahrtrichtung durch einen Richtungspfeil angezeigt wird.

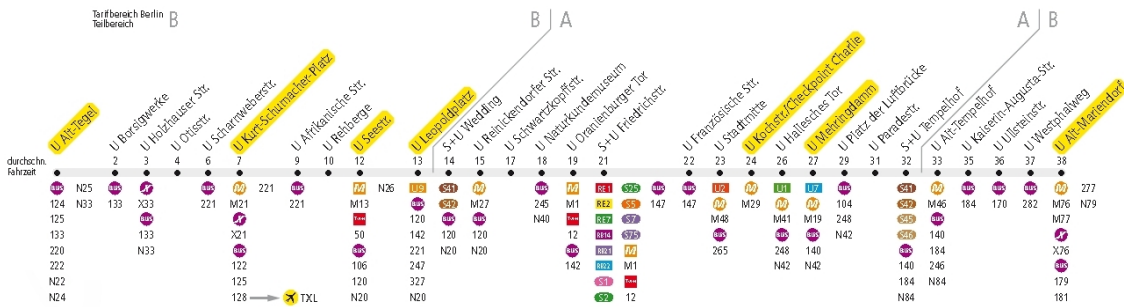


Abbildung 2.13.: Thermometer-Diagramm: Berliner U-Bahnlinie 6 mit ihren Haltestellen [Ber].

Metro-Karten-Benutzer

Oft werden die Benutzer von öffentlichen Verkehrsmitteln als eine breite Masse an Personen angesehen, für die alle dieselben Parameter gelten. Die Nutzer sind aber keineswegs homogen, und ihre individuellen Bedürfnisse werden im Metro-Karten-Design oft nicht ausreichend berücksichtigt. Einzelne Nutzergruppen weisen spezifische Eigenschaften auf, welche ihnen das Auffassen der Informationen erschweren, etwa eingeschränktes Sehen, (Farb-)Blindheit, Gehörlosigkeit, Gehbehinderungen, Rollstuhlnutzung und geistige Einschränkungen [Denoo]. Aber auch kulturelle, sprachliche sowie Altersunterschiede und differierende Bildungsniveaus können das Zurechtfinden auf Metro-Karten beeinflussen.

Die Vielfalt an Nutzergruppen erschwert es dem Kartenersteller, eine passende Grafik-Strategie für Metro-Karten zu entwickeln. Mehrere Entscheidungen, wie zum Beispiel die Auswahl der Symbole, die Schriftart, die Schriftgröße und die Sprache, sind abhängig von den eben aufgezeigten Eigenschaften und daher nicht für alle Städte in gleicher Form geeignet.

Ein unpassendes Design der Metro-Karten kann die Nutzer verwirren oder frustrieren [Aveo8]. Daher besteht die Herausforderung bei der Bereitstellung von Nutzerinformationen für öffentliche Verkehrsmittel darin, die Informationen so relevant und zugänglich für so viele Nutzer wie möglich zu machen. Das Verständnis für die Bedürfnisse und Wünsche der Nutzer ist von entscheidender Bedeutung bei der Bewältigung dieses Unterfangens [Denoo].

Für die öffentlichen Verkehrsbetriebe stellt sich daher die Aufgabe [Denoo]:

- die Informationssysteme für alle Nutzer so verständlich wie möglich zu gestalten;
- auf die individuellen Bedürfnisse einzelner Nutzergruppen zugeschnittene bzw. entsprechend aufbereitete Informationen bereitzustellen; und
- die Informationen so zu koordinieren, dass eine einheitliche Gestaltung gewährleistet ist.

Metro-Karten-Kontextinformationen

Die Bestimmungsfaktoren eines Karten-Designs können vielfältige Ursprünge haben. Beispielsweise können den Benutzern eines öffentlichen Verkehrsmittels wichtige Elemente der lokalen und regionalen Umgebung, wie Referenzorte und Sehenswürdigkeiten, nützlich sein [Cot]. Des Weiteren haben die lokalen Interessen der Behörden, Verkehrsunternehmen und anderer Beteiligter ebenfalls Auswirkungen auf das Karten-Design. Aber auch politische, soziale, historische und kulturelle Hintergründe sollen bei der Visualisierung von Karten berücksichtigt werden [Aveo8].

Lynch [Lyn60] nennt fünf Elemente, die Menschen bei der Orientierung in einer Stadt vor allem nutzen. Dies sind:

- Sehenswürdigkeiten,
- Wege (Straßen, Gehwege, Bahnstrecken),
- Stadtteile,
- Raumknoten (flächige Elemente, etwa Flughäfen, Parks, Stadtplätze, Strände, belebte Kreuzungen) und
- Raumkanten (lineare Elemente, wie Stadtwände, Flüsse etc.).

Diese Elemente weisen mehrere wichtige Eigenschaften aus, die für Navigationszwecke in einer fremden Umgebung erforderlich sind und zu einem grundlegenden Verständnis für die neue Umgebung beitragen [GASPo8].

Die Anzahl der Kontextinformationen, welche eine Karte beinhaltet, können deren Nutzen stark beeinflussen, indem sie die Navigation unterstützen und es dem Benutzer erleichtern können, seinen Standort zu lokalisieren [ASoo].

2.1.4. Layout von Design-Elementen

Ein gutes Karten-Design muss nach Tyner [Tynoo] zwei wichtige Elemente beinhalten, zum einen ein gutes Layout der Design Elemente und zum anderen eine gute Planung der Karte. Das Layout berücksichtigt Kriterien der Gestaltung und Aufteilung, wie zum Beispiel Platzierung von Titel, Legende oder Skala. Die Planung berücksichtigt, noch vor der visuellen Darstellung der Karte, wichtige Kriterien für die Informationsauswahl, welche in die Karte mit einbezogen werden sollen. Sie stellen wiederum die Anforderungen an das Layout der Karte. Der Planungsvorgang wurde in Kapitel 2.1.3 „Verschiedene Aspekte der Metro-Karten Erstellung“ bereits vorgestellt.

Agrawala und Stolte [ASoo] identifizieren vier Design- bzw. Layout-Ziele für Metro-Karten.

- Lesbarkeit: Alle wesentlichen Komponenten der Strecke, vor allem der Weg, sollen gut sichtbar und leicht identifizierbar sein.
- Klarheit: Die Strecke soll klar gekennzeichnet und schnell erfassbar sein. Und die Karte soll nur so viele Informationen enthalten, wie benötigt werden.
- Vollständigkeit: Die Karte muss alle notwendigen Informationen enthalten, die für die Navigation notwendig sind.
- Komfort: Ein gutes Design berücksichtigt, wie und vor allem wann und wo die Informationen verwendet werden. Eine Metro-Karte findet meistens bei der Nutzung eines Transportmittels Anwendung, somit muss sie gut zu transportieren und leicht handhabbar sein.

Um ein gutes Design für Metro-Karten zu erhalten, sind diese vier Ziele bei ihrer Erstellung zu beachten. Aber was ist ein gutes Design? Nach Dent [Den85] gibt es nicht das beste Design, sondern nur ein gutes Design unter vielen, nämlich eine klar strukturierte einfache Lösung, welche am einfachsten zu interpretieren ist. Und was heute noch ein gutes Design ist, kann in Zukunft schon veraltet sein.

Um diese Ziele zu erreichen, verwenden Kartendesigner verschiedene Techniken der Generalisierung. Die bekanntesten Generalisierungstechniken sind Vereinfachung, Verdrängung und Glättung [Mon96]. Diese Techniken werden bei der Visualisierung der Metro-Karte angewendet (s.u.). Neben den allgemeinen Variablen des Maßstabs und der Projektion verfügen Metro-Karten über weitere Variablen für die Verkehrslinien, die Stationen, die Beschriftung und den Hintergrund, die nun Thema sein sollen.

Maßstab und Projektion

Der Maßstab einer Karte gibt an, um wie viel die Karte kleiner ist als die Wirklichkeit. In topologischen Karten wird er mit Hilfe einer Skala ausgewiesen und gilt einheitlich für die gesamte Karte.

Bei Metro-Karten fällt der Maßstab für die gesamte Karte nicht konstant aus. In der Innenstadt ist der Maßstab relativ groß. Hier liegen viele Verkehrslinien nahe beieinander und überkreuzen sich. Zudem befinden sich Haltestellen nur wenige hundert Meter voneinander entfernt. Um die Namen der Haltestellen und Verkehrslinien im Zentrum darstellen zu können, ist ein größerer Maßstab notwendig als in den Randgebieten der Stadt. Hier liegen die Haltestellen einige Kilometer weit auseinander und lassen sich auch mit einem kleineren Maßstab übersichtlich darstellen [Mon96].

Die Projektionen der Haltestellen auf die Metro-Karte gestalten sich aufgrund der unterschiedlichen Maßstäbe und der Vereinfachung der Verkehrslinien nicht topologisch exakt. Allerdings ist es wichtig, die relativen Positionen und damit die ungefähre Ausrichtung der Haltestellen zueinander beizubehalten. Dies bedeutet, dass eine Haltestelle, die westlich von einer anderen Haltestelle liegt, auch auf der Metro-Karte westlich von ihr zu finden sein muss.

Die beiden Design-Ziele Lesbarkeit und Komfort können vor allem mit Hilfe des flexiblen Maßstabs und der Verzerrung der Projektion erreicht werden. Zum einen wird die Lesbarkeit in den Stadtzentren durch den großen Maßstab und die Vereinfachung verbessert, und zum anderen ist dank des kleinen Maßstabs in den Außenbereichen die Karte klein, gut handhabbar und somit komfortabel für den Benutzer.

Verkehrslinien

Verkehrslinien werden in Metro-Karten durch Linien dargestellt. Liniensymbole unterscheiden sich, wie in Abbildung 2.14 zu sehen, in sechs verschiedenen Variablen: Größe, Form, Tonwert, Füllung, Richtung und Farbe [Mon96]. Größe, Form und Füllung werden vor allem für die Unterscheidung der verschiedenen Verkehrsarten verwendet, beispielsweise Bus, Straßenbahn und S-Bahn. Mit der Farbe oder auch dem Tonwert werden die unterschiedlichen Verkehrslinien kenntlich gemacht. Dabei ist zu beachten, dass Verkehrslinien, die nah beieinanderliegen, einen maximalen Luminanzwert besitzen. Zudem sollten nicht mehr als neun Farben zum Einsatz kommen. Die empfohlenen Farben sind rot, gelb, grün, blau, orange, braun, lila, hellblau und schwarz [CMM⁺07]. Richtungsangaben werden benutzt, um aufzuzeigen, dass eine Verkehrsart ausschließlich in eine bestimmte Richtung fährt.

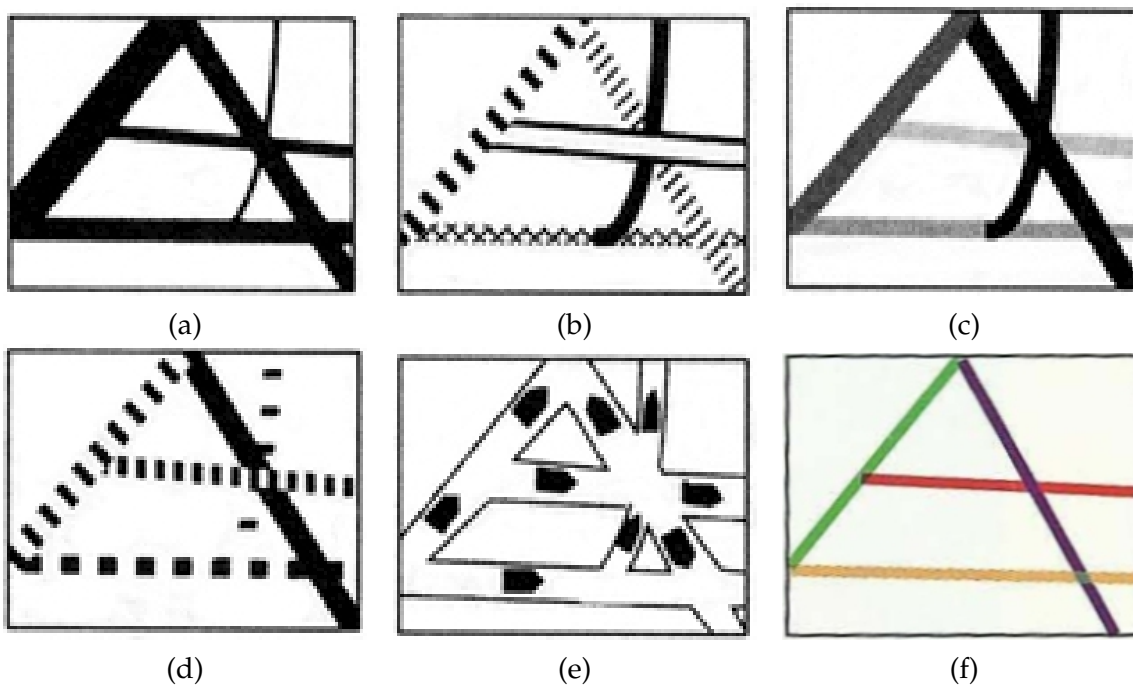


Abbildung 2.14.: Liniensymbole für die Kartengestaltung. Sechs graphische Variablen für die Verkehrslinien bei der Kartengestaltung: a) Größe, b) Form, c) Tonwert, d) Füllung, e) Richtung, f) Farbe [Mon96].

Holten et al. [HIWF] untersuchten in einer Studie verschiedene Kantendarstellungen, um die Lesbarkeit der Graphen zu verbessern, nämlich gerichtete Kanten, die sich in Form, Füllung, Farbe oder Größe unterscheiden.

Es gibt verschiedene Techniken, um Verkehrslinien zu generalisieren. Die wichtigsten sind, wie weiter oben bereits erwähnt, die Vereinfachung, Verdrängung und Glättung der Verkehrslinien.

2. Verwandte Arbeiten

Bei der **Vereinfachung** werden einzelne Punkte weggelassen, um den Linienverlauf zu begradigen, wie in Abbildung 2.15 zu erkennen ist [Mon96]. Das Ziel ist, die Grundgeometrie zu erhalten und dabei die unnötigen Merkmale zu eliminieren [SMKH09].

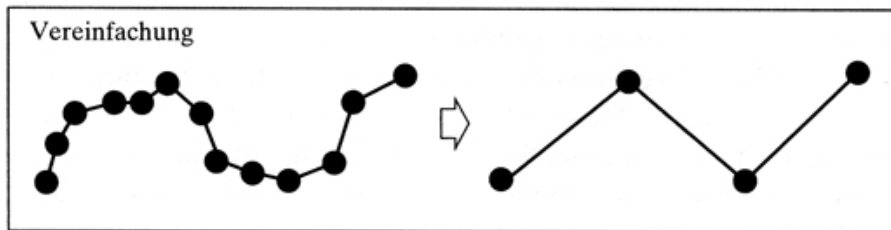


Abbildung 2.15.: Vereinfachungs-Generalisierung: Einzelne Punkte werden weggelassen, um den Linienverlauf zu begradigen [Mon96].

Die Technik der **Verdrängung** wird benutzt, um auftretende Überdeckungen der Linien zu verhindern. Dabei werden die Verkehrslinien so gezeichnet, dass sie nebeneinander anstelle von übereinander liegen (Abbildung 2.16) [Mon96]. Diese Generalisierungstechnik ist vor allem beim Französischen Stil wichtig, damit alle Verkehrslinien gut sichtbar sind. Verkehrswege, welche mehrere Verkehrslinien benutzen, werden in diesem Darstellungsstil verbreitert abgebildet.

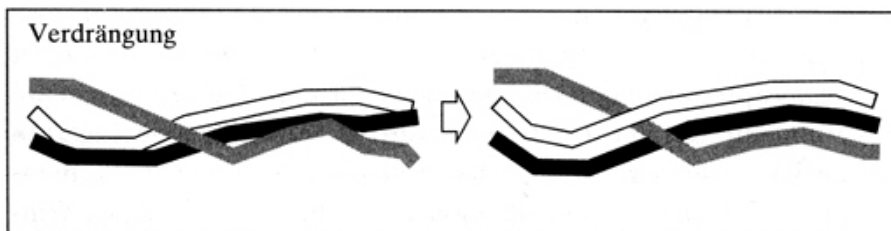


Abbildung 2.16.: Verdrängungs-Generalisierung: Um Überdeckungen zu vermeiden, werden die Linien nebeneinander gezeichnet [Mon96].

Zur **Glättung** (siehe Abbildung 2.17) werden Wegpunkte und Stationen verschoben, sodass eine Begradigung stattfindet und eine einheitliche Erscheinung der Verkehrslinie entsteht [Mon96].

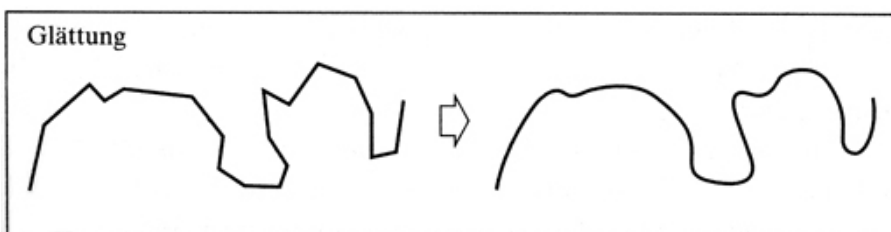


Abbildung 2.17.: Glättungs-Generalisierung: Einzelne Wegpunkte werden verschoben, sodass eine Begradigung entsteht [Mon96].

Stationen

Stationen sind wichtige Bestandteile einer Metro-Karte. Sie zeigen den Fahrgästen Ein-, Ausstiegs- sowie Umsteigemöglichkeiten an. Stationssymbole können stark variieren. In vielen Metro-Karten-Darstellungen werden Stationen mit zwei unterschiedlichen Symbolen kenntlich gemacht: einem Symbol für eine einfache Station und einem weiteren Symbol für einen Umsteigebahnhof. Die häufigsten Formen einer einfachen Station in Metro-Karten sind Punkte, Kreise, Lücken, Quadrate oder kleine Striche.

Umsteigebahnhöfe werden in Metro-Karten meistens durch Polygone oder ovale Flächen abgebildet. Somit lassen sie sich von einfachen Stationen besser unterscheiden. Zu dem verdeutlicht diese Darstellung die oft unterirdische Verbundenheit der Stationen. Abbildung 2.18 stellt mehrere Beispiele für Metro-Stationen aus verschiedenen Karten zusammen.

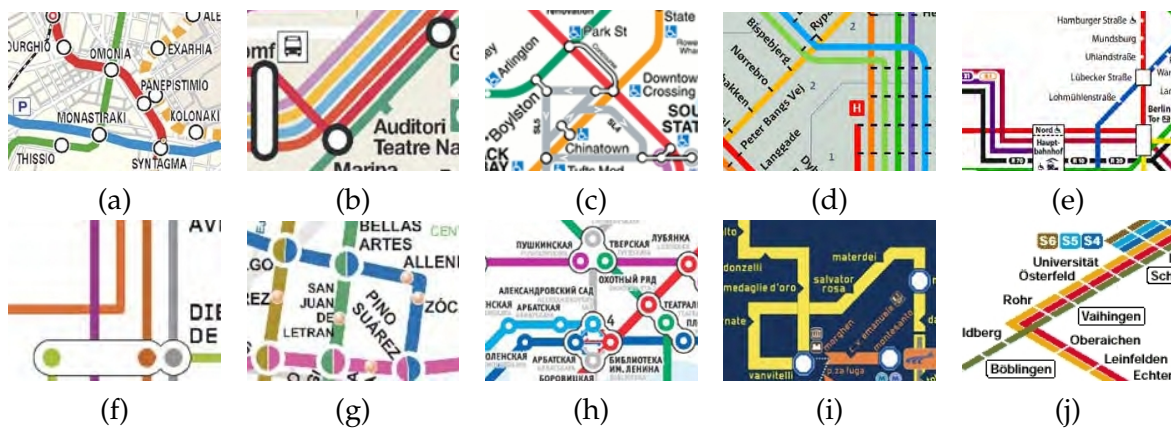


Abbildung 2.18.: *Unterschiedliche Stationssymbole: a) Athen [Atto7], b) Barcelona [Bar13], c) Boston [Mas14], d) Kopenhagen [Traa], e) Hamburg [Ham], f) Madrid [Mad], g) Mexiko [Mex], h) Moskau [Mos], i) Neapel [Nap], j) Stuttgart [VVS].*

Beschriftung

Die Beschriftung stellt für den Kartenersteller eine große Herausforderung dar. Beim Designen der Karte ist nicht nur das Platzierungsproblem der Namen zu beachten, sondern auch die Lesbarkeit und die Eindeutigkeitszuordnung der Namen zu den jeweiligen Linien und Stationen. Auch muss jede Station eindeutig identifizierbar sein. Dies bedeutet, dass ein Stationsname nur ein einziges Mal pro Karte verwendet werden darf.

Die Lesbarkeit der Namen beeinflussen vor allem Schriftart, Laufweite, Schriftstil, Schriftgröße, Schriftfarbe und Kontrast. Zudem sollte es vermieden werden, Namen mit einem Bindestrich getrennt oder vertikal zu schreiben [Den85].

Es existieren zahlreiche verschiedene **Schriftarten**, die sich in vielen Eigenschaften stark voneinander unterscheiden. Abbildung 2.19 enthält einige Beispiele, alle in der gleichen Schriftgröße 11 pt.

Arial
Times New Roman
CASTELLAR
GOUDY STOUT
Lucida Console
Old English Text
Handwritten Script

Abbildung 2.19.: *Schriftarten: Auswahl an Schriftarten aus Microsoft Word, alle mit einer Schriftgröße von 11 pt.*

Bei der Auswahl einer passenden Schriftart für die Karte spielt nicht nur ihre Größe eine Rolle. Sie muss so gewählt werden, dass die Ziffern eindeutig sind, weil es bei einigen Schriftarten schwierig ist zwischen „O“ und „o“(Null), „l“ und „1“ oder „l“ und „I“ zu unterscheiden.

Viele Stationsnamen sind sehr lang, und in den Karten gibt es meist sehr wenig Platz für die Beschriftungen. Deswegen ist zudem hauptsächlich die **Laufweite** der Schriftart zu berücksichtigen. Abbildung 2.20 beinhaltet dieselben Größen und Schriftarten wie in Abbildung 2.19. Deutlich zu sehen sind die unterschiedlichen Längen der Schriften. Die Schriftart einer Karte soll daher so gewählt werden, dass sie in kleinen Größen deutlich lesbar und die Laufweite nicht zu lang ist sowie die einzelnen Ziffern eindeutig zu unterscheiden sind.

Die Laufweite der Schriftart ist unterschiedlich lang.

Die Laufweite der Schriftart ist unterschiedlich lang.

DIE LAUFWEITE DER SCHRIFTART IST UNTERSCHIEDLICH LANG.

DIE LAUFWEITE DER SCHRIFTART IST UNTERSCHIEDLICH LANG.

Die Laufweite der Schriftart ist unterschiedlich lang.

Die Laufweite der Schriftart ist unterschiedlich lang.

Die Laufweite der Schriftart ist unterschiedlich lang.

Abbildung 2.20.: *Laufweite von Schriftarten*

Die meisten Schriftarten lassen sich in verschiedenen **Schriftstilen** wiedergeben. Die bekanntesten Schriftstile sind Fett, Kursiv und Fettkursiv. In Karten sollte der „Fette“ Schriftstil vermieden werden, da er nicht besser lesbar ist als der normale Schriftstil [PNA77]. Indes hat es sich als vorteilhaft erwiesen, den „Kursiven“ Schriftstil in Karten für Kontextinformationen zu benutzen [Den85].

Zur **Schriftgröße** existieren bereits viele Studien. Professionelle Kartenersteller benutzen selten eine Schriftgröße, die kleiner als 4 oder 5 pt ist. Es hat sich herausgestellt, dass die unterste Grenze bei 6 pt liegt [Den85]. Die Schriftgröße hat großen Einfluss auf das Leseverhalten der Kartenbenutzer, denn sie interpretieren bei der Benutzung zweier unterschiedlicher Schriftgrößen die größere Schrift als wichtiger und die kleinere Schrift als weniger relevant. Wenn Schriften gleich groß sind, wird auch ihre Bedeutung als gleichrangig angesehen [Rob80].

Wenn der Kontrast am höchsten ist, lässt sich die Schrift am besten lesen. Dabei sollte die Farbe den größtmöglichen Unterschied zum Hintergrund aufweisen. Am besten lesbar ist also eine schwarze Schrift auf weißem Hintergrund. Vor allem gelbe Schrift sollte auf weißem Hintergrund umgangen werden, weil die Lesbarkeit durch die Kontrastlosigkeit bei Sonnenlichteinstrahlung zu gering ist, wogegen eine helle Schrift auf einen schwarzen Hintergrund ebenfalls gut lesbar ist [Denoo].

In Hinblick auf das Platzierungsproblem bei der Beschriftung einzelner Stationen stellt Wolff [Wolo7] zwei Regeln auf: Erstens dürfen die Namen keinen anderen Namen oder Teile des Netzwerks überdecken, zweitens dürfen sie auf beiden Seiten einer Linie auftauchen, jedoch sollten die Namen zwischen zwei Umsteigebahnhöfen auf derselben Seite stehen. Weiter ist darauf zu achten, dass der Stationsname eindeutig einer Station zugeordnet werden kann.

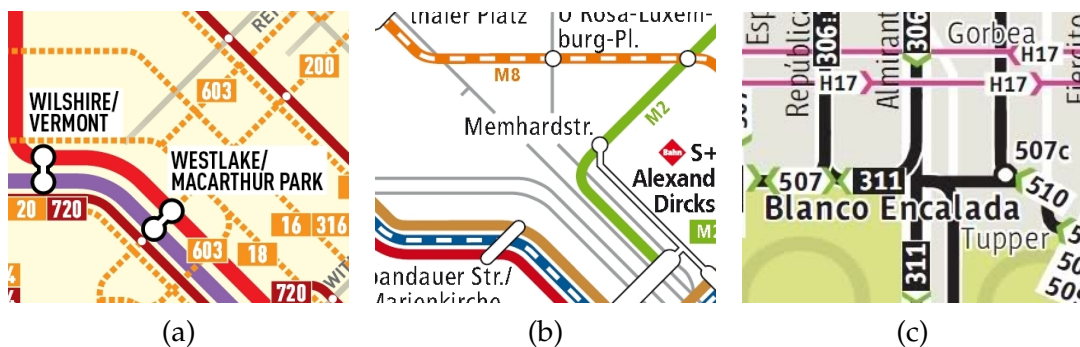


Abbildung 2.21.: *Generalisierung der Beschriftung: a) Ausschnitt aus der Metro-Karte von Los Angeles [Los], der Stationsname „WESTLAKE/MACARTHUR PARK“ ist mit einem weißen Kasten hinterlegt; b) Ausschnitt aus der Metro-Karte Berlins [S-B], hier wurden die Verkehrslinien, die durch den Stationsnamen „Memhardstr.“ führt, unterbrochen; c) Ausschnitt aus der Metro-Karte Santiagos [Umr]. Der Schriftzug „Blanco Encalada“ wurde mit einem weißen Schatten versehen.*

2. Verwandte Arbeiten

Was die Beschriftung von Kontextinformationen (zum Beispiel Flüssen und Wegen) anbelangt, so soll sich der Name entlang der Fließrichtung befinden und so oft wie nötig entlang des Elements wiederholen [Den85].

Im Falle von Überschneidungen der Beschriftungen mit Teilen des Netzwerks greifen Kartenersteller oft auf ein Hilfswerkzeug zurück: Sie hinterlegen die Namen mit einem weißen Hintergrund - in der Fachsprache ‚Masks‘ genannt (Abbildung 2.21, a) - oder sparen den Hintergrund aus (Abbildung 2.21, b). Wenn der Hintergrund verschiedene Kontraste aufweist, lässt sich der schwarze Schriftzug durch eine weiße Schattierung hervorheben, auch ‚Halos-Technik‘ genannt (Abbildung 2.21, c) [Tynoo].

Hintergrund

Im Hintergrund einer Metro-Karte werden oft Informationen eingebunden, die dem Fahrgast bei der Orientierung helfen sollen. Die beliebtesten Orientierungspunkte sind dabei Flüsse, Seen und Meere. In der Londoner Tube Map ist zum Beispiel die Themse eingezeichnet und in Barcelonas Metro-Karte das Meer. Aber auch Parkanlagen dienen dem Fahrgast zur Orientierung.

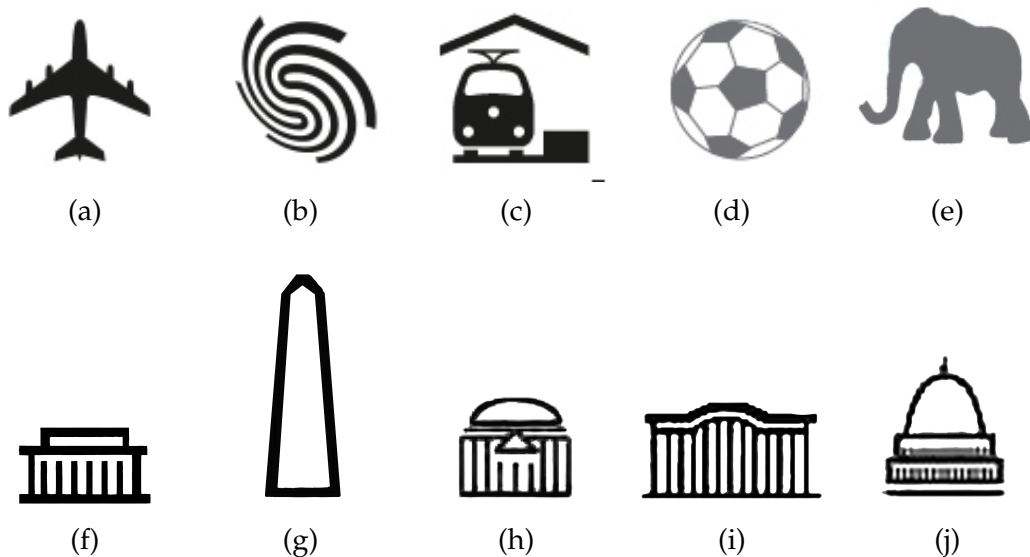


Abbildung 2.22.: Piktogramme in Metro-Karten: a) Flughafen [VVS], b) Messe [VVS], c) Hauptbahnhof [VVS], d) Fußballarena [MVV14], e) Tierpark [MVV14], f) - j) Monumente in der Washington Metro-Karte [Allo9].

Für Touristen sind zudem Flughäfen und Sehenswürdigkeiten wie etwa Museen, Stadien, Festplätze oder Kirchen gern gesehene Orientierungspunkte. Diese werden auf Metro-Karten mit Hilfe von Piktogrammen gezeichnet. Abbildung 2.22 zeigt typische Piktogramme aus den Metro-Karten von Stuttgart, München und Washington.

Zusätzlich werden oft die Tarifzonen des Verkehrsverbunds in den Hintergrund der Metro-Karten mit einbezogen. Auf diese Weise ist für den Fahrgast leicht zu erkennen, in welchen Zonen er sich bewegt und was die Fahrkarte dann kostet. In Abbildung 2.23 ist die Metro-Karte von München zu sehen, wo die einzelnen Zonen im Hintergrund mit unterschiedlich hellen Farbtönen hinterlegt sind.



Abbildung 2.23.: Hintergrundbeispiel Tarifzonen anhand der Münchner Metro-Karte [MVV14].

2.1.5. Design-Regeln

Wolff [Wolo7] schlägt acht Design-Regeln vor, aus denen eine gute Metro-Karte hervorgeht. Er orientiert sich dabei an den Design-Regeln, welche Hong et al. [HMNo6], Stott und Rodgers [SR04] wie auch Nöllenburg und Wolff [NW06] in ihren Artikeln aufstellen. Dabei müssen die Design-Regeln in mindestens zwei der drei Artikel vorkommen.

Allgemein anerkannt sind die folgenden acht Design-Regeln:

- **Regel 1**

Um die Orientierung der Passagiere zu unterstützen, sollte die Topologie des Netzwerks, das heißt die zirkuläre Ordnung der Nachbarn jedes Knotens, beibehalten werden, was allgemein auch als Eingabe-Einbettung bezeichnet wird.

- **Regel 2**

Die Metro-Karten sollen oktilinear sein. Das bedeutet, dass die Richtungen der Verkehrslinien auf die Horizontale, die Vertikale sowie auf die beiden Diagonalen im 45° -Winkel (daher insgesamt acht Richtungen) beschränkt werden.

- **Regel 3**

Benachbarte und nicht benachbarte Stationen müssen einen Mindestabstand aufweisen. Dies verbessert die Lesbarkeit der Metro-Karte.

- **Regel 4**

Um mit den Augen den Linien besser folgen zu können, ist es wichtig, die Anzahl an Knicken entlang einer Linie möglichst gering zu halten, besonders an Umsteigestationen. Wenn sich Knicke nicht vermeiden lassen, ist die Reihenfolge der bevorzugten Winkel 135° , 90° und 45° einzuhalten.

- **Regel 5**

Es müssen die relativen Positionen der Stationen und, damit einhergehend, die ungefähren Ausrichtungen dieser Stationen zueinander beibehalten werden. Zum Beispiel sollte eine Station, die nördlich von einer anderen Station liegt, nicht in der Metro-Karte südlich von der anderen Station zu finden sein. Dies beugt Verwirrung auf Seiten der Fahrgäste vor.

- **Regel 6**

Die Gesamtlänge aller Kanten soll so klein wie möglich ausfallen. Dies stellt sicher, dass dichtere Regionen des Verkehrsnetzes (meist der Innenstadtbereich) durch Streckung mehr Platz bekommen und somit übersichtlicher dargestellt werden. Zusammen mit Regel 3 werden die Abstände zwischen den einzelnen Stationen möglichst einheitlich gestaltet. Diese Regel soll die Klarheit des Layouts gewährleisten.

- **Regel 7**

Jeder Verkehrslinie ist eine eigene Farbe zuzuordnen. Wenn auf einem Streckenabschnitt mehrere Verkehrslinien fahren, müssen entsprechend viele Farblinien auf dieser Strecke vorhanden sein (benutzen k Verkehrslinien eine Strecke, so muss die Verbindung k -mal abgetragen sein). Ihre Anordnung sollte dabei für alle beteiligten Linien konsistent sein.

- **Regel 8**

Die Stationen werden mit ihren Namen beschriftet. Dabei dürfen die Bezeichnungen weder andere Namen noch Teile des Netzwerks überdecken. Bezeichnungen können auf beiden Seiten einer Linie platziert werden, zwischen zwei Umsteigestationen sollten jedoch alle Bezeichnungen auf derselben Seite liegen.

2.1.6. Automatisierung einer Metro-Karte

Von den verschiedenen Ansätzen zur Automatisierung von Metro-Karten stehen in dieser Arbeit drei gängige Ansätze im Mittelpunkt.

- Hong et al. [HMNo6] bauen auf einem „Spring Embedder“ auf. Ein Spring Embedder ist ein iterativer Algorithmus zum Zeichnen von Graphen. Die Knoten des Graphen können als elektrisch geladene Partikel betrachtet werden, die sich gegenseitig abstoßen, wohingegen die Kanten des Graphen als Federn gelten können, die die Knoten des Graphen zusammenhalten. Es existieren viele verschiedene Spring Embedder-Varianten, eine davon ist der PrEd-Algorithmus [Beroo]. Hong et al. erweitern diesen Algorithmus so, dass Kantengewichte berücksichtigt werden, und dass zusätzlich magnetische Kräfte die Kanten in eine oktilineare Richtung ziehen. Alle Kräfte, die an einem Knoten wirken, werden aufsummiert. Das Beschriften der Stationen folgt in einem zweiten Schritt. Der Graph in Abbildung 2.24(b) ist mit diesem Algorithmus gezeichnet worden.
- Ein anderer Ansatz stammt von Stott und Rodgers [SRo4] und basiert auf dem „Hill Climbing“. Dabei werden zuerst die geografischen Stationen auf ein ganzzahliges Netz abgebildet, was das Startlayout festlegt. Anschließend werden Metriken definiert, mit denen das Layout der Metro-Karte bewertet wird. Diese fünf Metriken sind:
 1. Anzahl der Kantenüberschneidungen,
 2. Oktilinearität,
 3. Kantenlängen,
 4. Winkelregelung an den Knoten und
 5. Geradlinigkeit der Verkehrslinien.

Die Qualität des Metro-Karten-Layouts besteht aus den gewichteten Summen dieser Metriken. Dieser Algorithmus testet iterativ für jeden Knoten alternative Positionen, welche sich um eine Einheit von der aktuellen Position unterscheiden. Wichtig ist, dabei die Topologie des Graphen nicht zu verletzen. Für jede grafische Aufarbeitungsmöglichkeit wird das Layout mit den fünf Metriken neu bewertet. Das Layout mit dem besten Ergebnis wird als neues Layout verwendet. Abbildung 2.24(c) folgt dem Algorithmus von Stott und Rodgers.

- Den dritten Algorithmus entwickelten Nöllenburg und Wolff [NWo6], er beruht auf einem „Mixed-integer“ Programm (MIP). Sie definieren sechs Regeln für das MIP, die sie in „hard constraints“ und „soft constraints“ unterteilen. Diese Regeln werden in lineare Gleichungen übertragen. Die hard constraints werden auf jeden Fall im MIP befolgt und bestehen aus Oktilinearität, Einbettung und Mindestabständen. Die soft constraints werden soweit wie möglich befolgt und beinhalten die relativen Positionen und die Gesamtlänge der Verkehrslinien. Zudem soll die Anzahl der „Knicke“ gering gehalten werden. Somit kommt den hard constraints eine höhere Bedeutung zu als den soft constraints, welche lediglich eine Zielfunktion darstellen, die es zu optimieren

2. Verwandte Arbeiten

gilt. Ist eine Lösung gefunden, welche alle hard constraints erfüllt, gibt das Programm das Layout aus, welche die bestmöglichen Ergebnisse für die soft constraints besitzt. Abbildung 2.24(d) demonstriert das Ergebnis von Nöllenburg und Wolff für das geografische Layout von Sydneys Train-Netzwerk.

Die Automatisierung von Metro-Karten wird häufig in bestimmten Phasen der Entwicklung verwendet. Aber die vollständige automatische Entwicklung von Metro-Karten ist zur Zeit noch nicht möglich [Aveo8].

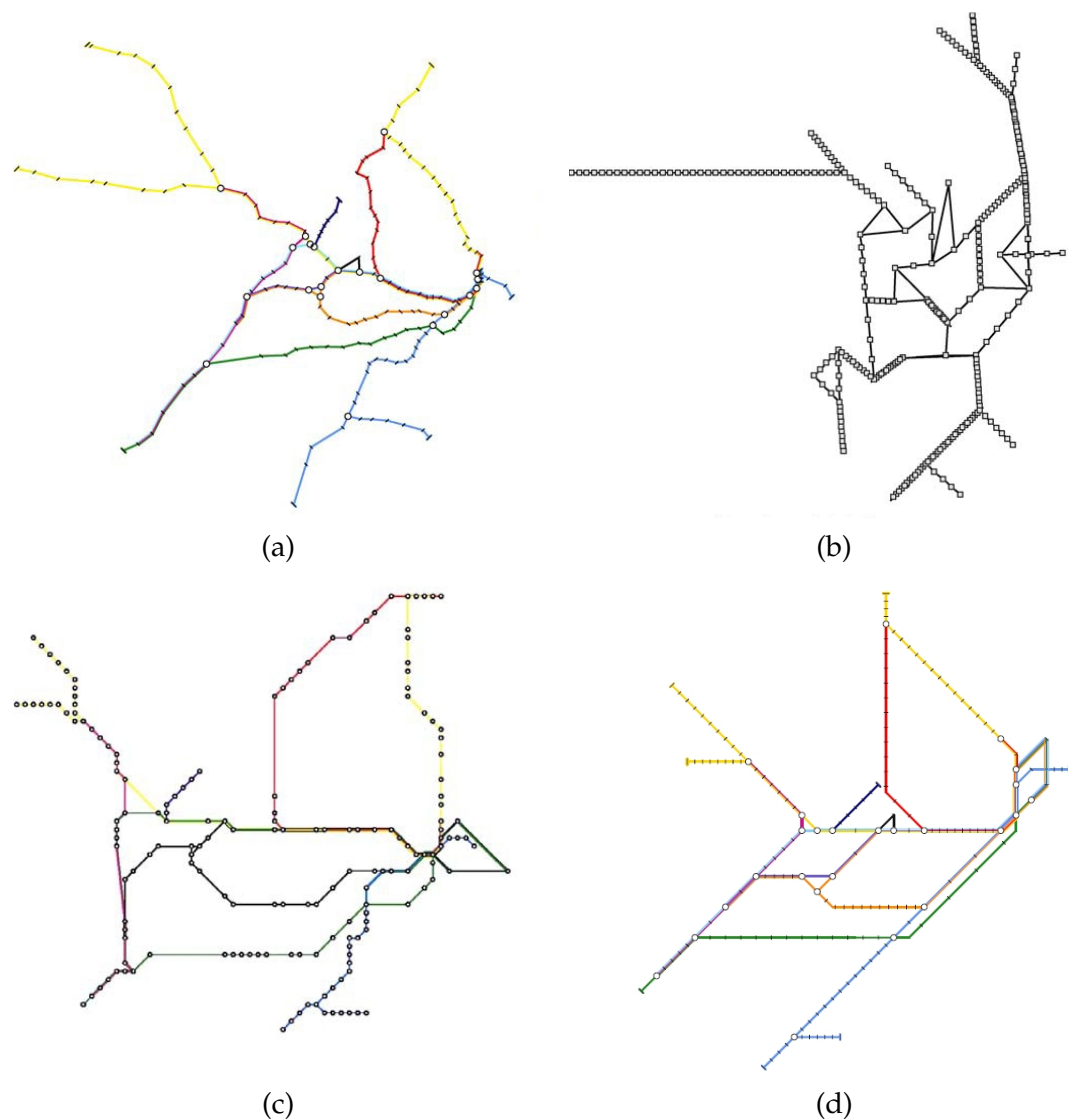


Abbildung 2.24.: *Automatisierte Metro-Karten von Sydneys Train-Netzwerk: a) geografisches Layout von Sydneys Train-Netzwerk [Wolo7], b) Sping Embedder-Algorithmus von Holten et al. [Wolo7], c) Hill Climbing-Algorithmus von Stott und Rodgers [Wolo7], d) Mixed-integer-Programm von Nöllenburg und Wolff [NW06].*

2.2. Eyetracking

Der Mensch nimmt etwa 80% seiner wahrgenommenen Informationen über die Augen auf, die restlichen 20% über Haut, Ohren, Nase und Geschmack. Mit den Augen fokussiert der Mensch von Natur aus die Elemente, die er interessant, wichtig oder reizvoll findet. Diese Eigenschaft nutzen Forscher seit Jahrhunderten, um herauszufinden, welche Objekte der Mensch interessant findet, und welche Strategie er beim Lösen bestimmter Aufgaben verwendet. Forscher können mit Hilfe eines Eyetrackers (auch Blickerfasser genannt) die Blickbewegungen einer Versuchsperson beim Betrachten eines Stimulus erfassen und aufzeichnen. Ein Stimulus ist ein Reiz, der eine Reaktion auslöst. Im Fall des Eyetrackers besteht der Stimulus aus Objekten, die von einer Person betrachtet werden (zum Beispiel ein Gegenstand, Bild oder Video).

Im Folgenden rücken die geschichtlichen Hintergründe des Eyetrackings sowie die wichtigsten Augenbewegungen des Menschen in den Fokus. Anschließend werden einige Datentypen des Eyetrackings vorgestellt, die bekanntesten Visualisierungstechniken für Eyetracking-Daten erläutert und schließlich Eyetracking-Systeme sowie deren Kalibrierung präsentiert.

2.2.1. Geschichte des Eyetrackings

Die Anfänge des Eyetrackings gehen bis ins 19. Jahrhundert zurück. Damals versuchten Forscher die Augenbewegungen von Menschen aufzuzeichnen. Als einer der ersten untersuchte 1878 Emil Javal die Augenbewegungen von Lesenden. Durch Beobachten ihrer Augen fand er heraus, dass sie beim Lesen eines Textes nicht kontinuierlich mit den Augen den Schriftzug verfolgen. Lesende bewegen ihre Augen stattdessen mit kleinen Sprüngen (Sakkaden), gefolgt von kurzen Verharrungspausen (Fixationen). Damit lieferte Javal die Grundlage für den heutigen Wissenstand von Sakkaden und Fixationen [LCF11]. Nach der visuellen Beobachtung der Augenbewegungen wurden erste Apparate zu ihrer Registrierung entwickelt. Diese Apparate funktionierten mit direktem mechanischen Kontakt auf der Hornhaut und waren dadurch sehr unangenehm für die Versuchspersonen [JKo3].

Dodge und Cline entwickelten 1901 die erste präzise, berührungsfreie Eyetracking-Technik, die mit Hilfe von Hornhautreflektion arbeitete. Diese Technik hielt nur die horizontalen Augenpositionen fest, indem das von der Hornhaut reflektierte Licht auf Fotopapier aufgenommen wurde, wobei der Kopf des Probanden fixiert werden musste. Kurz danach entwarfen 1905 Judd, McAllister und Steel einen Eyetracker, der die Augenbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung aufzeichnen konnte [JKo3].

Miles Tinker und seine Kollegen untersuchten im Jahre 1930 die Augenbewegungen von Menschen mittels des photographischen Verfahrens. Sie studierten die Auswirkungen des Leseverhaltens, wenn zum Beispiel Schriftart, Schriftgröße und Seitenlayout verändert werden, um die Beziehung zwischen den Mustern der Augenbewegungen und den Eigenschaften der Lesematerialien zu ermitteln [JKo3].

2. Verwandte Arbeiten

1947 untersuchten Paul Fitt und seine Kollegen die Augenbewegungen von Piloten beim Landeanflug, um herauszufinden, wie Piloten ihre Instrumente im Cockpit verwenden. Dieser Versuch ist die früheste Anwendung von Eyetracking, um die Mensch-Computer-Interaktion zu untersuchen und die Produktgestaltung zu verbessern. Ein Jahr später gelang es Hartridge und Thompson, den ersten Head-Mounted-Eyetracker zu entwickeln, der Kopfbewegungen ermöglichte [JK03].

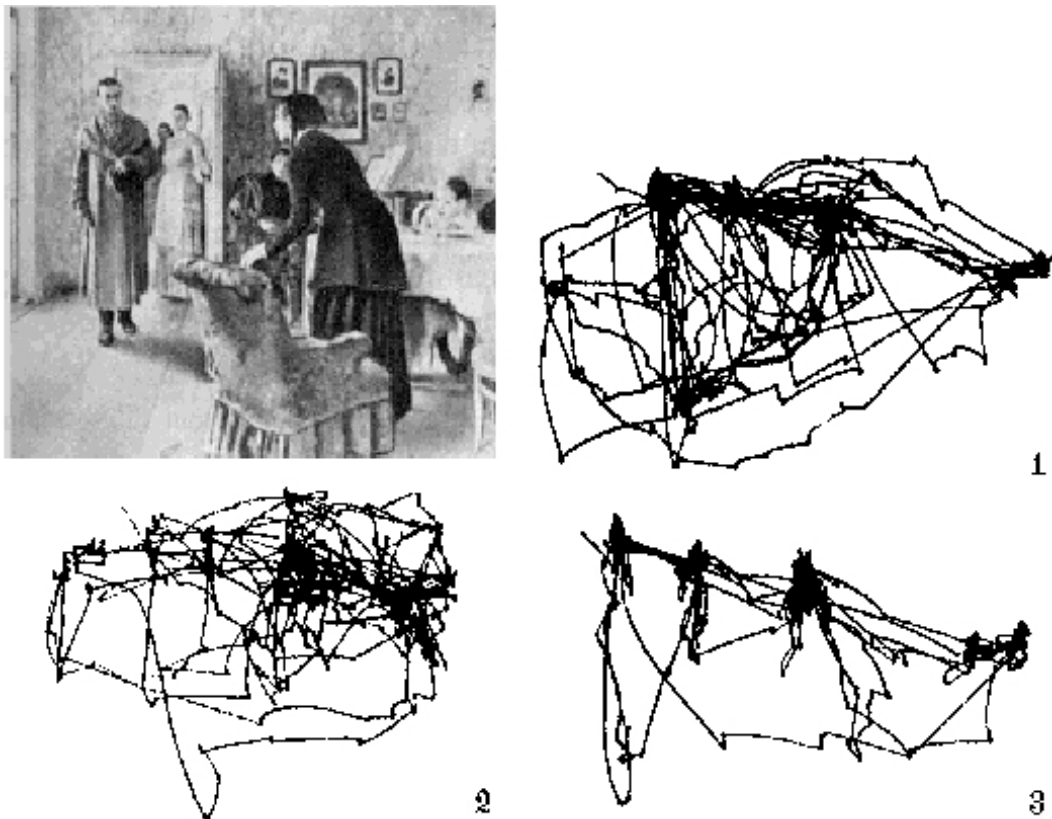


Abbildung 2.25.: *Unterschiedliche Augenbewegungen bei der Betrachtung eines Gemäldes in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung. 1. Freie Betrachtung; 2. Lebensverhältnisse der Familie; 3. Alter der Personen [Yar67].*

1967 befasste sich erstmals A.L. Yarbus mit dem Betrachten von Bildern und untersuchte den Einfluss verschiedener Aufgabenstellungen auf das Betrachten eines Bildes. Abbildung 2.25 zeigt die Augenbewegung für die Aufgaben:

1. Freie Betrachtung des Bildes.
2. Wie sind die Lebensverhältnisse der Familie?
3. Wie alt sind die Personen?

Er stellte fest, dass es keine generelle Strategie gibt, wie Bilder angesehen werden. Das Interesse der Versuchspersonen hängt vielmehr von der Aufgabenstellung ab [Yar67].

Mit dem Einzug der Computer in die privaten Haushalte fingen Forscher an, mit Hilfe des Eyetrackers Benutzerstudien im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion (HCI) durchzuführen. Viele Studien konzentrierten sich auf Fragen, wie Benutzer bei der Suche in einem Computermenü vorgehen. Des Weiteren wurde untersucht, wie sich die Blickbewegungsmessung als Eingabemedium für Menschen mit Behinderungen verwenden lässt [JK03].

2.2.2. Augenbewegungen des Menschen

Zu den Augenbewegungen eines Menschen zählen die Bewegungen des Augapfels, der Lidschluss sowie die Pupillenmotorik. Während an der Geschwindigkeit des Lidschlusses unter anderem erkannt werden kann, ob eine Person müde ist, ist für die Auswertung der Daten am Eyetracker die Augenbewegung des Augapfels am bedeutsamsten. In der Mitte der Netzhaut befindet sich die Fovea, die die Zone des schärfsten Sehens bildet. Scharfes Sehen ist nur in einem Winkel von ca. 1° um den fixierten Blickort möglich. Joos et al. [JRV03] gliedern die Augenbewegungen in drei Klassen:

Fixation: Der Betrachter „bindet“ mit den Augen ein Objekt. Dieser Zustand wird Fixation genannt. Joos et al. [JRV03] definieren eine Fixation als den „Zustand, bei dem das Auge sich bezüglich eines Sehobjektes in ‚relativem‘ Stillstand befindet“. Bei einer Verschiebung des fixierten Objekts oder einer Bewegung des Körpers kann das Auge das Verschieben der Information auf der Retina durch Bewegung verhindern. Die Dauer einer Fixation liegt zwischen 100 - 2000 ms, bei kürzerer Fixationsdauer können keine Informationen wahrgenommen werden. Je nach Aufgabenfeld kann dieser Wert stark variieren.

Sakkade: Eine Sakkade ist die schnellste Bewegung, die von einem Auge ausgeführt werden kann. Sie ist eine zielsuchende Bewegung des Auges, um die Fovea auf das gewünschte Sehobjekt auszurichten. Sakkaden werden spontan durch gezielte Verhaltenspläne ausgelöst oder unwillkürlich durch Veränderung des Gesichtsfelds. Geschwindigkeit und Dauer einer Sakkade hängen von ihrer Sprungweite ab. Während einer Sakkade ist das visuelle Wahrnehmungsvermögen stark eingeschränkt [JRV03].

Mikrobewegungen des Auges: Dies sind Miniaturbewegungen, die bei jeder Fixation auftreten. Sie sind notwendig, zumal die Stäbchen und Zapfen der Netzhaut hauptsächlich auf Veränderung reagieren. Wird zum Beispiel durch eine Lähmung des Augenmuskels dem Auge ein konstantes Bild präsentiert, verschwindet dieses allmählich durch die Rezeptorermüdung. Es existieren drei verschiedene Arten von Mikrobewegungen: Drift, Mikrosakkaden und Tremor. Der Drift ist eine langsame Augenbewegung, die sich um mehrere Sehzellen verschiebt, damit der Lichtreiz immer auf unterschiedliche Nervenzellen trifft. Die Mikrosakkaden korrigieren die Verschiebungen, die der Drift verursacht. Der Tremor bewirkt ebenfalls eine Verschiebung der Netzhaut um 5 bis 10 Sehzellen. Er ist die kleinste, zitterartige Bewegung des Auges [JRV03].

2.2.3. Datentypen für Eyetracking

Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Datentypen für das Eyetracking, die drei wichtigsten für eine entsprechende Studie sind Gaze, Area of Interest und Scanpath.

Gaze: Ein Gaze ist die Summe der zeitlich nacheinander durchgeführten Fixationen innerhalb eines vorgegebenen Bereichs. Es wird verwendet, um die Aufmerksamkeitsverteilung zwischen Zielen zu vergleichen [PB05].

Area of Interest: Eine Area of Interest (AOI) ist ein kleiner abgegrenzter Bereich eines Stimulus. Die Form einer Area of Interest ist meist ein Rechteck, sie lässt sich aber auch der Form des zu untersuchenden Objekts anpassen. Es sollte darauf geachtet werden, dass der Area of Interest-Bereich etwas größer ist als das Objekt, was auf die Ungenauigkeit des menschlichen Sehens zurückzuführen ist. Eine Area of Interest kann im Voraus oder im Nachhinein definiert werden [Tobo8].

Scanpath: Ein Scanpath zeigt einen Pfad der Augenbewegungen auf und besteht aus einer Sequenz von Fixationen und Sakkaden. Mit seiner Hilfe können die Augenbewegungen von verschiedenen Versuchspersonen verglichen werden, dadurch sind gegebenenfalls Rückschlüsse auf die Strategie der Versuchsperson möglich [PB05].

2.2.4. Visualisierungstechniken

Um Eyetracking-Daten aufzubereiten und darzustellen, steht eine Vielzahl an Visualisierungstechniken zur Verfügung. Dazu werden die Augenbewegungen auf verschiedene Weise ausgewertet und repräsentiert. Die bekanntesten Visualisierungstechniken sind Heatmaps und Scanpaths, sie veranschaulichen bestimmte Aspekte der Augenbewegungen in Abhängigkeit vom Stimulus. Weitere Visualisierungstechniken sind zum Teil nur für bestimmte Aufgabenbereiche geeignet. Nachfolgend wird auch auf die Cluster-Visualisierung eingegangen, die ein automatisches Generieren der Areas of Interest ermöglicht.

Heatmap: Eine Heatmap visualisiert die Intensität der Fixationen beim Betrachten eines Stimulus. Sie kann mit den Daten einer Versuchsperson oder mit den aufsummierten Daten mehrerer Versuchspersonen entworfen werden und setzt sich aus zwei Komponenten, dem Hintergrundbild (Stimulus) und der Heatmap-Maske, die über den Stimulus gelegt wird (vergleiche Abbildung 2.26), zusammen. Eine Heatmap-Maske kann entweder über die aufsummierte Dauer der Fixationen erstellt werden oder über die Summe der Fixationsanzahl. Eine Farbskala trägt die Intensität der betrachteten Bereiche ab. Je länger oder öfter die Versuchsperson den Bereich des Stimulus angesehen hat, desto wärmer werden die Farben in der Heatmap-Maske. In den nicht betrachteten Bereichen ist die Heatmap-Maske transparent und infolgedessen der Stimulus als Hintergrundbild unverändert zu sehen. Allerdings ist es nicht möglich, den zeitlichen Ablauf der Fixationen zu erkennen [Tobo8].



Abbildung 2.26.: Eine Heatmap: Je länger oder öfter ein Bereich des Stimulus betrachtet wird, desto wärmer ist die Farbe, die zur Markierung des Bereichs benutzt wird [Tobo8].

Scanpath: Ein Scanpath ist eine Visualisierungstechnik, mit der sich der genaue Ablauf der Augenbewegungen nachvollziehen lässt. Die Fixationen werden durch einen Kreis dargestellt, dessen Größe die Dauer der Fixation angibt. Außerdem werden die Fixationen durchnummeriert, um die Reihenfolge rekonstruieren zu können. Die Sakkaden werden als Linien abgebildet, und als Hintergrund dient wieder der Stimulus, wie in Abbildung 2.27 zu sehen ist. Ein Scanpath kann die Augenbewegungen mehrerer Versuchspersonen gleichzeitig anzeigen. Dafür wird für jede Versuchsperson eine andere Farbe gewählt. Es wird jedoch empfohlen, zugunsten der Übersichtlichkeit nur wenige Versuchspersonen gleichzeitig darzustellen. Um bei langen Scanpaths die Lesbarkeit zu verbessern, kann ein Scanpath auch animiert werden [Tobo8].



Abbildung 2.27.: Scanpath einer Versuchsperson: Ein Kreis bedeutet eine Fixation, und die Größe des Kreises bezieht sich auf die Dauer der Fixation. Die Sakkaden werden als Verbindungslinien der Fixationen dargestellt [Tobo8].

Cluster-Visualisierung: Die Cluster-Visualisierung zeigt Bereiche mit einer hohen Konzentration an Fixationen an, die durch Polygone dargestellt werden (Abbildung 2.28). Mit dieser Visualisierungstechnik lässt sich ausfindig machen, welche Bereiche die Versuchspersonen interessant finden. Dadurch ist es möglich, automatische Areas of Interest generieren zu lassen [Tobo8]. Allerdings bildet diese Technik nicht die Intensität der Fixationen ab.



Abbildung 2.28.: Cluster-Visualisierung: Die Bereiche, in denen viele Fixationen zu finden sind, werden durch Polygone abgegrenzt [Tobo8].

2.2.5. Eyetracking-Systeme und ihre Kalibrierung

Es existieren verschiedene Eyetracking-Systeme, die je nach Einsatzgebiet ausgewählt werden. Grundsätzlich lassen sich Eyetracker in zwei verschiedene Kategorien einteilen, Head-Mounted-Eyetracker und Remote-Eyetracker [Nau12]. **Head-Mounted-Systeme** sind mobile Eyetracker, die auf dem Kopf getragen werden und besonders geeignet sind für Versuche, die eine große Mobilität der Versuchspersonen bedingen, beispielsweise um das Kaufverhalten von Versuchspersonen im Supermarkt zu untersuchen. **Remote-Eyetracker** sind fest installierte Systeme, die berührungsfrei funktionieren. In dem Monitor des Eyetracker-Systems sind eine Kamera und eine oder zwei Infrarot-LEDs installiert. Die Augenbewegungen der Versuchspersonen nimmt die Kamera auf. Über die Infrarot-LEDs, die eine Reflexion auf der Hornhaut verursachen, wird die Position der Pupillen bestimmt [GE06]. Mit Hilfe des Remote-Eyetrackers können etwa Studien zu Webseiten oder Benutzeroberflächen durchgeführt werden.

Da jede Versuchsperson unterschiedliche Augenparameter (z.B. Radius der Hornhaut, Abstand der Pupillen) besitzt, ist für jede Versuchsperson eine Kalibrierung des Systems im Voraus durchzuführen. Während der Kalibrierung muss die Versuchsperson einen Punkt verfolgen und fixieren. Dabei werden für jede Fixation Parameter über die Reflexionsposition und die Pupillenzentren festgesetzt [GE06].

3. Durchführung einer Eyetracking-Studie mit Metro-Karten

Die Eyetracking-Studie befasst sich hauptsächlich mit der Lesbarkeit von Metro-Karten, vor allem aber mit der Metro-Karten-Verwendung, um eine Wegverbindung vom Start zum Ziel zu finden. Dies ist die gebräuchlichste Art der Metro-Karten-Verwendung. In der Studie werden verschiedene Metro-Karten mit unterschiedlichen Parametern verglichen, welche die Lesbarkeit von Metro-Karten beeinflussen. Um Einblicke in die individuellen Lösungsstrategien der Metro-Karten-Nutzer zu erlangen, werden verschiedene Parameter, beispielsweise Bearbeitungsdauer, Fehlerquote und Augenbewegungen, ausgewertet.

In diesem Kapitel werden die aufgestellten Forschungsfragen sowie das Studiendesign vorgestellt. Anschließend wird auf den Stimulus, die Aufgabenbeschreibung, die Pilotstudie, die Untersuchungsumgebung, das Eyetracking-System und die Versuchspersonen eingegangen, bevor der eigentliche Studienablauf ins Blickfeld tritt.

3.1. Forschungsfragen

In der Eyetracking-Studie werden Metro-Karten verglichen, die sich in Farbe und Komplexität unterscheiden. Zusätzlich werden verschiedene Start- und Zielhaltstellen vorgegeben, die sich auf die Aufgabenschwierigkeit des Wegfindens auswirken. Daraus lassen sich folgende, vor der Durchführung der Studie aufgestellte Forschungsfragen ableiten:

- **Forschungsfrage 1:**

Die Versuchspersonen finden sich in farbigen Metro-Karten schneller und vor allem besser zurecht als in graustufigen Metro-Karten. Dank der farblichen Gestaltung ist eine bessere Unterscheidbarkeit der Verkehrslinien möglich.

- **Forschungsfrage 2:**

Die Versuchspersonen werden bei farbigen Metro-Karten korrekter antworten und weniger Umsteigemöglichkeiten nutzen als bei graustufigen Metro-Karten. Durch die farbliche Gestaltung kommt es zu weniger Verwechslungen der Verkehrslinien.

- **Forschungsfrage 3:**

Bei farbigen Metro-Karten werden aufgrund der besseren Lesbarkeit die Sakkaden länger und die Fixationen kürzer sein als bei graustufigen Metro-Karten.

3. Durchführung einer Eyetracking-Studie mit Metro-Karten

Die Forschungsfragen 1 bis 3 beziehen sich ausschließlich auf die Farbgestaltung der Metro-Karten, wohingegen die Forschungsfragen 4 bis 6 sich primär auf die Komplexität der Metro-Karten beziehen.

- **Forschungsfrage 4:**

Mit zunehmender Komplexität steigt auch die Bearbeitungsdauer. Die Komplexität setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Die Anzahl der Verkehrslinien und deren Stationen bestimmen die Komplexität der Metro-Karte. Die Komplexität der Aufgabenstellung wird durch die gezielte Auswahl der Start- und Zielstationen beeinflusst.

- **Forschungsfrage 5:**

Bei niedriger Komplexität der Metro-Karten ist der Unterschied in Bezug auf Bearbeitungszeit und Korrektheit von farbigen zu graustufigen Metro-Karten geringer als bei hoher Komplexität. Bei niedrigerer Komplexität ist die Verwechslungsgefahr der Verkehrslinien in graustufigen Metro-Karten geringer als bei hoher Komplexität.

- **Forschungsfrage 6:**

Bei steigender Komplexität der Metro-Karten werden die Sakkaden kürzer und die Fixationen länger. Der Orientierungsbedarf der Metro-Karten-Benutzer steigt mit der Komplexität der Metro-Karten.

Forschungsfrage 7 bezieht sich auf die Herangehensweise beim Wegfinden der einzelnen Versuchspersonen.

- **Forschungsfrage 7:**

Die Versuchspersonen verfolgen alle ein ähnliches Vorgehen bei der ihnen gestellte Aufgabe:

1. Zuerst suchen sie das Start- und Zielsymbol auf.
2. Vom Startsymbol aus verfolgen sie die zugehörige Verkehrslinie in geodätischer Richtung zum Ziel.
3. Beim Feststellen einer zu großen Abweichung der Verkehrslinienführung von der geodätischen Richtung springen sie zur letzten gemeinsamen Umsteigestation (Zwischenziel) in der Geodäte zurück und wägen die zum Ziel führende Verkehrslinie erneut ab. Dieses Zurückspringen und Abgleichen mit der Geodäte wiederholen sie n-malig bis zum Auffinden des Zielsymbols.
4. Beim Auffinden einer geeigneten Wegverbindung zum Ziel überprüfen sie generell die Wegverbindung mit Blick auf eine bessere Verbindung.
5. Alternativ suchen sie bei Feststellung einer zu großen Abweichung der geodätischen Richtung vom Start- zum Zielsymbol vom Zielsymbol ausgehend eine Wegverbindung zurück zum gefundenen Zwischenziel oder dem Startsymbol.

3.2. Studiendesign

Unter dem Studiendesign wird die Gesamtheit der Vorgehensweisen im Rahmen einer Studie verstanden. Ein gutes Studiendesign versucht Einflüsse, die das Ergebnis eines Testverfahrens verfälschen können, auszuschließen. Die Studie verändert zwei interessante Variablen, zum einen die Komplexität und zum anderen die Farbgestaltung der Metro-Karten.

- **Komplexität der Metro-Karten:**

Die 24 Metro-Karten der unterschiedlichen Städte werden in drei Komplexitätsklassen unterteilt. Es gibt jeweils 8 kleine, 8 mittlere und 8 große Metro-Karten. Die Komplexität wird anhand der Anzahl der Verkehrslinien, Stationen und Umsteigestationen bestimmt.

- **Farbgestaltung der Metro-Karte:**

Farbe ist ein wesentlicher Bestandteil der Metro-Karten. Um herauszufinden, welchen Einfluss die Farbe auf das Interpretieren einer Metro-Karte hat, werden sie sowohl in Farbe als auch in Graustufen vorgelegt.

Diese Studie folgt einem „between-subject“ Studiendesign. Das bedeutet, dass die Versuchspersonen zufällig auf vier verschiedene Versuchsgruppen aufgeteilt werden, von denen jede unterschiedliche Stimuli bearbeiten. Die Versuchsgruppenaufteilung wird in Kapitel 3.9 erläutert. Innerhalb einer Versuchsgruppe gilt ein „within-subject“ Studiendesign, wonach die Versuchspersonen aus der gleichen Versuchsgruppe die gleiche Aufgabenstellung und die gleichen Stimuli [Das13] erhalten. Die Studie umfasst zwei Aufgabenblöcke.

- **Block A:**

Hier bekommen die Versuchspersonen eine konkrete Aufgabe gestellt. Dafür wird der Block in zwei Gruppen unterteilt. Jede Gruppe besteht aus 24 Metro-Karten verschiedener Städte mit unterschiedlicher Komplexität. Eine Gruppe besteht aus 24 farbigen, die andere aus 24 graustufigen Metro-Karten. Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch Lerneffekte, Einarbeitung zu Beginn oder Ermüdung am Ende der Studie zu vermeiden, werden sowohl die Reihenfolge der Metro-Karten innerhalb einer Versuchsgruppe als auch die Gruppenreihenfolge randomisiert.

- **Block B:**

In diesem Block wird den Versuchspersonen keine konkrete Aufgabe gestellt. Beim Zeigen der 24 Metro-Karten sollen die Versuchspersonen auffällige Merkmale der einzelnen Metro-Karten nennen. Der einen Hälfte der Versuchspersonen werden die Metro-Karten in Farbe präsentiert, der anderen Hälfte in Graustufen. Die Reihenfolge der Karten wird auch in diesem Block randomisiert.

3.3. Stimuli

Als Stimuli werden 24 Metro-Karten aus 24 verschiedenen Städten der ganzen Welt verwendet. Bei diesen Metro-Karten handelt es sich nicht um die originalen Metro-Karten der Städte, sondern es wurden zugunsten eines einheitlichen Design die Metro-Karten der Firma Communicarta Ltd verwendet. Die zur Verfügung gestellten Metro-Karten wurden alle mit dem gleichen „Style45“-Design erstellt (siehe Abbildung 3.1).

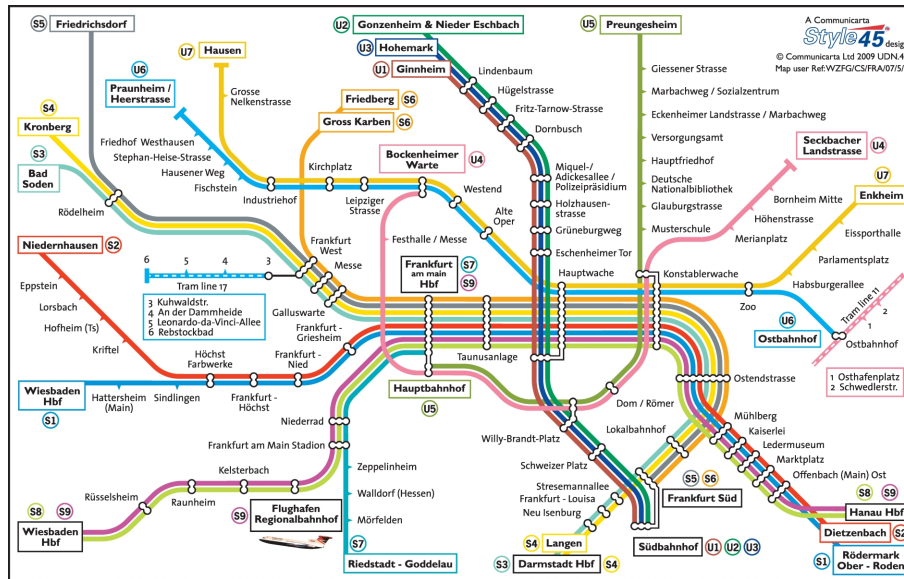


Abbildung 3.1.: Stimulusbeispiel der Studie: Die Metro-Karte der Stadt Frankfurt.

Folgende Symbole werden für das Metro-Design verwendet:

- **Verkehrslinien:** Sie werden mit unterschiedlichen farblichen Linien dargestellt. Jeder Verkehrslinie wird ein eindeutiger Name (z.B. eine Zahl oder Buchstabe) zugeordnet, der an den beiden Endbahnhöfen der Verkehrslinie steht und durch einen Kreis in der Farbe der Linie umrandet ist.
- **Stationen:** Sie werden mit einer kleinen Pfeilspitze an der Verkehrslinie angezeigt (siehe Abbildung 3.2, a). Die dazugehörigen Stationsnamen befinden sich an der Pfeilspitze. Hält ein Verkehrsmittel nur aus einer bestimmten Richtung an einer Station, wird dies durch einen entsprechenden Pfeil an der Station sichtbar (siehe Abbildung 3.2, b).



Abbildung 3.2.: Stationssymbole: a) Ein Bahnhof, an dem ein Verkehrsmittel immer anhält. b) Das Verkehrsmittel hält nur an, wenn es in Richtung des Pfeils fährt.

- Umsteigebahnhöfe: An einem Umsteigebahnhof halten verschiedene Verkehrslinien. Dies wird mit einem Kreis auf der Linie kenntlich gemacht (siehe Abbildung 3.3, a)). In einem Umsteigebahnhof können alle Verkehrslinien erreicht werden, die an dieser Stelle mit Kreisen und doppelter Linie versehen sind (siehe Abbildung 3.3, b)). Verkehrslinien, bei denen der Kreis mit einem einfachen Strich verbunden ist (siehe Abbildung 3.3, c)), lassen sich über einen kurzen Fußweg von 20-75 Meter erreichen. Der Stationsname steht direkt neben dem Umsteigebahnhof. Ein Umsteigebahnhof an dem die Verkehrsmittel nur in einer bestimmten Richtung anhalten, werden wiederum mit Pfeilen auf den Verkehrslinien markiert (siehe Abbildung 3.3, d)).

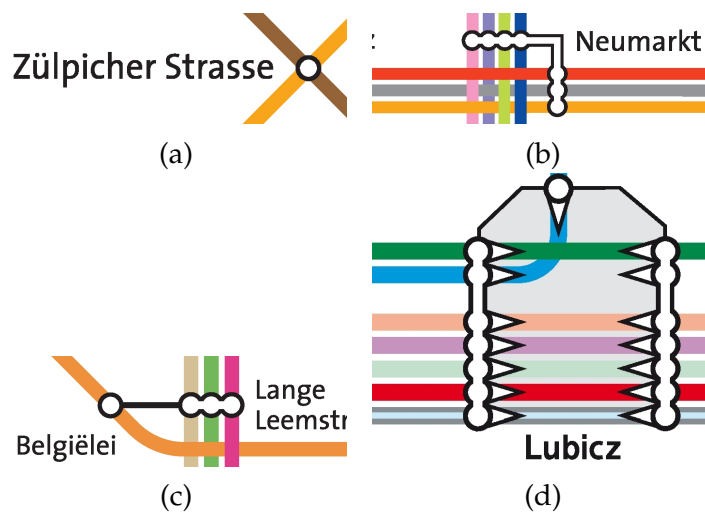


Abbildung 3.3.: Symbole für Umsteigebahnhöfe: a) Umsteigebahnhof, an dem zwei Verkehrslinien anhalten. b) Umsteigebahnhof, der 7 Verkehrslinien verbindet. c) Umsteigebahnhof mit einem kurzen Fußweg. d) Umsteigebahnhof, an dem das Verkehrsmittel nur anhält, wenn es in Richtung des Pfeils fährt.

- Endbahnhöfe: Die Namen der Endbahnhöfe werden durch ein Rechteck in der jeweiligen Farbe der Verkehrslinie umrandet (siehe Abbildung 3.4, a)). Wenn es sich um einen Umsteigeendbahnhof handelt, dann ist das Rechteck schwarz (Abbildung 3.4, b)) oder zweifarbig geteilt (Abbildung 3.4, c)).

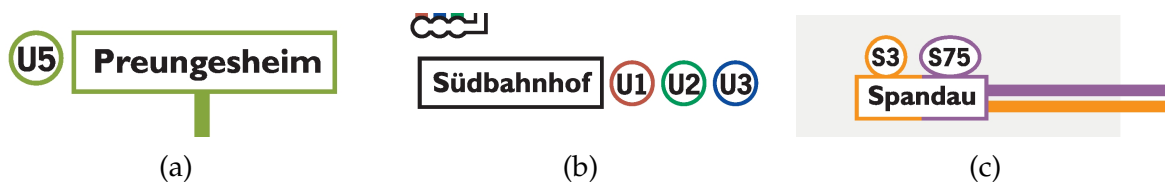


Abbildung 3.4.: Symbole für Endbahnhöfe: a) Ein Endbahnhof, an dem nur eine Verkehrslinie anhält. b) An einem schwarz umrandeten Endbahnhof halten mehrere Verkehrslinien an. c) Ein Endbahnhof, an dem zwei Verkehrslinien anhalten, erhält einen zweifarbig geteilten Rahmen.

3. Durchführung einer Eyetracking-Studie mit Metro-Karten

Diese Studie vergleicht farbige und graustufige Metro-Karten miteinander. Deshalb mussten die 24 Metro-Karten von Farbe in Graustufen umgewandelt werden. Farbe ist ein wesentlicher Bestandteil der Metro-Karten, mit deren Hilfe die Verkehrslinien gut auseinandergehalten werden können. Viele Benutzer drucken trotzdem die Metro-Karten in Graustufen aus.

Farbe besteht aus drei Dimensionen: Farbton, Helligkeit und Sättigung [Mon96]. In Abbildung 3.5 wurde eine Farbtabelle in Graustufen umgewandelt. Hier ist deutlich zu sehen, dass einzelne Farben, die die gleiche Helligkeit und Sättigung haben, in den Graustufen nicht unterscheidbar sind. Daher ist es wichtig, für die Verkehrslinien in Metro-Karten geeignete Farben auszuwählen, die sich in Hinblick auf Helligkeit und Sättigung unterscheiden.

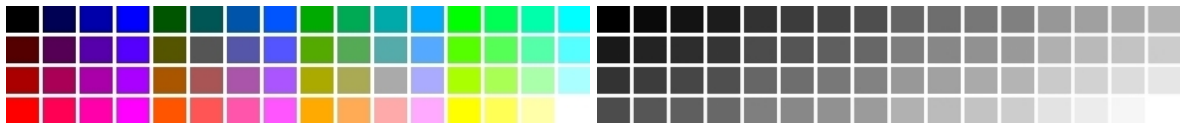


Abbildung 3.5.: Farbtafel: Links ist eine typische RGB-Farbtabelle abgebildet [Alt]. Rechts ist dieselbe Farbtabelle in Graustufen dargestellt.

Abbildung 3.6 zeigt die Frankfurter Metro-Karte in Graustufen, wie sie in der Studie verwendet wird, dies zum Vergleich mit derselben Karte in Farbe von Abbildung 3.1.

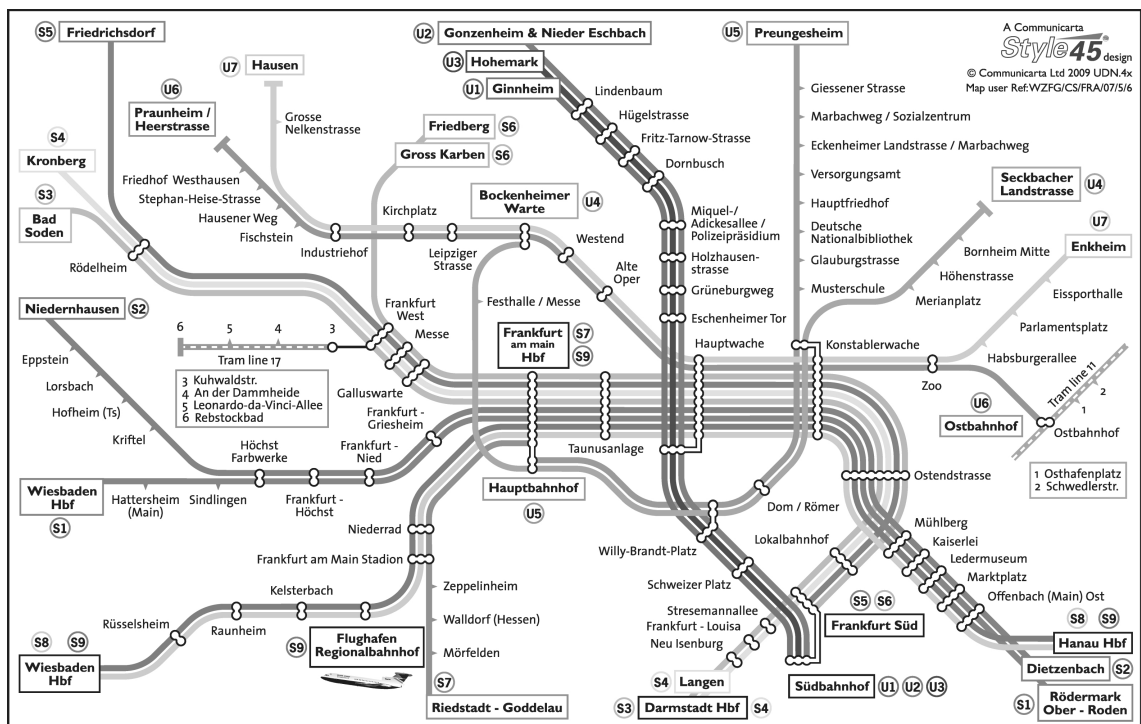


Abbildung 3.6.: Ein Beispiel-Stimulus der Studie: Die Metro-Karte von Frankfurt in Graustufen.

3.4. Aufgabenbeschreibung

Diese Studie ist in zwei Aufgabenblöcke unterteilt. Für Block A wird den Versuchspersonen eine konkrete Aufgabe gestellt, während in Block B Besonderheiten der einzelnen Metro-Karten festgestellt werden sollen.

Block A:

In diesem Aufgabenblock sollen die Versuchspersonen einen beliebigen Weg von einer Haltestelle zu einer anderen finden. Um ein langes Suchen der Haltestellen zu vermeiden, wurden Start- und Zielsymbole in die Metro-Karten eingefügt. Wie in Abbildung 3.7 zu sehen ist, ist die Starthaltestelle mit einem Handsymbol in grün und die Zielhaltestelle mit einem Zielscheibensymbol in rot gekennzeichnet.

Die Start- und Zielhaltestellen wurden so ausgewählt, dass verschiedene Schwierigkeitsstufen des Wegfindens existieren. Für jedes Komplexitätsniveau der Metro-Karten (klein, mittel, groß) wurden die Start- und Zielhaltestellen jeweils so selektiert, dass in jeder Gruppe zweimal nicht umzusteigen ist, dreimal mindestens einmal und dreimal mindestens zweimal umzusteigen ist.

Während des Auffindens einer Wegverbindung zwischen den Start- und Zielsymbolen, wird dem Versuchsleiter die Anzahl der Umstiege mitgeteilt. Es werden insgesamt 48 Metro-Karten von 24 Städten gezeigt, die Hälfte in Farbe und die andere Hälfte in Graustufen.

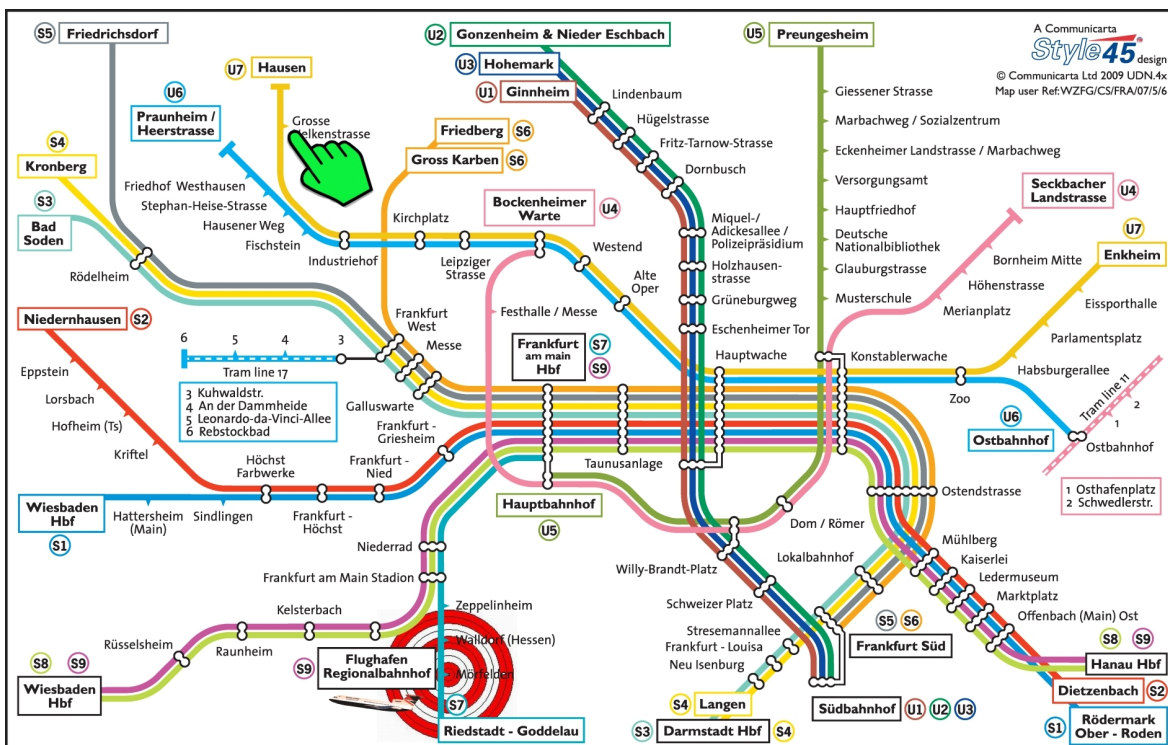


Abbildung 3.7.: Metro-Karte von Frankfurt inklusive Start- und Zielsymbol.

Block B:

In diesem Aufgabenbereich sollen die Versuchsteilnehmer über Besonderheiten der Metro-Karten Auskunft geben. Dafür werden ihnen 24 Metro-Karten jeweils 20 Sekunden lang gezeigt. Die eine Hälfte der Versuchspersonen bekommen die Metro-Karten in Farbe präsentiert und die andere Hälfte in Graustufen. Währenddessen sollen die Versuchspersonen dem Versuchsleiter alle Besonderheiten mitteilen, die ihnen in den jeweiligen Metro-Karten auffallen, zum Beispiel Kontextinformation oder Missverständnisse.

3.5. Pilotstudie

Vor der eigentlichen Eyetracking-Studie wurde eine Pilotstudie durchgeführt, um eventuell bestehende Mängel in der Aufgabenstellung oder bei der Durchführung der Studie aufzudecken und anschließend zu beseitigen. An der Pilotstudie nahmen fünf Versuchspersonen teil, drei von ihnen waren männlich und zwei weiblich. Die Versuchspersonen haben keine Vorkenntnisse im Bereich der Visualisierung. Der Ablauf der Pilotstudie war identisch zu der später durchgeführten Eyetracking-Studie und es wurden keine Mängel entdeckt.

3.6. Untersuchungsumgebung

Die Eyetracking-Studie wurde im Projektlabor 00.023 im VISUS-Gebäude (Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart) durchgeführt. Um für alle Versuchspersonen die gleichen Bedingungen im Labor zu gewährleisten, wurden alle Rollläden heruntergelassen, Fenster und Türen geschlossen und mit künstlichem Licht gearbeitet. Während der Studie waren im Projektlabor nur eine Versuchsperson und der Studienleiter anwesend. Außerdem befanden sich im Projektlabor nur wenige Gegenstände, um die Versuchspersonen nicht abzulenken. Die Versuchspersonen wurden gebeten, ihre Handys auszuschalten, und die Tür mit einem Schild versehen, das den Hinweis auf die Durchführung einer Eyetracking-Studie enthielt, mit der Bitte nicht zu stören.

3.7. Eyetracking-System

Die Augenbewegungen wurden mit Hilfe eines Tobii Eyetrackers T60 XL aufgezeichnet (siehe Abbildung 3.8). Dieser Eyetracker ist nahtlos in einem 24-Zoll-TFT-Monitor integriert und hat eine Bildschirmauflösung von maximal 1920 x 1200 Pixel. Das Eyetracker-System Tobii T60 XL ist auf einem Computer mit dem Betriebssystem Windows 7 Professional installiert. Der Prozessor hat 2.8 GHz und 8 GB RAM. Der T60 XL ermittelt die Blickpositionen der Versuchspersonen automatisch alle 17 Millisekunden (bei 60 Hz) [Tob13]. Die Versuchspersonen sitzen mit einem Abstand von ungefähr 65 cm vor dem Bildschirm, der durch die Kalibrierungsfunktion des Eyetrackers vorgeschrieben ist.



Abbildung 3.8.: *Der Eyetracker Tobii T60 XL in einem 24-Zoll-TFT-Monitor. Er ermittelt automatisch alle 17 Millisekunden die Blickpositionen der Versuchspersonen [Tob13].*

Für den Eyetracker wurde die Software Tobii Studio 2.2.8 verwendet. Die Software stellt Möglichkeiten zur Visualisierung der Eyetracker-Daten zur Verfügung, wie zum Beispiel die Erstellung einer Heatmap oder einem Scanpath. Diese Visualisierungstechniken reichen für die Auswertung dieser Studie nicht aus und werden durch weitere Statistiken ergänzt.

3.8. Versuchspersonen

An der Studie nahmen 40 Versuchspersonen teil. Die Eyetracker-Daten einer Versuchsperson waren mit 37% Aufnahmequalität zu schlecht und wurden daher nicht bei den Ergebnissen berücksichtigt. 16 der Versuchspersonen waren weiblich und 23 männlich. Ihr Alter lag im Durchschnitt bei 25,3 Jahren. Der jüngste Teilnehmer war 18 Jahre alt, der älteste 39 Jahre. 24 Versuchspersonen waren Studenten der Universität Stuttgart. Davon studierten 14 Informatik oder Softwaretechnik und zehn meist wissenschaftliche oder technische Gebiete. 15 Versuchspersonen kamen aus unterschiedlichen Branchen, etwa dem Handwerk, dem Kaufmännischen Bereich, der Landschaftsarchitektur oder der Musikbranche. Acht Versuchspersonen hatten Vorkenntnisse im Bereich der Visualisierung, und alle arbeiten wöchentlich am Computer. Alle Versuchspersonen hatten eine normale Sehkraft, was über einen Snellen-Index (Sehprobentafel) und einen Ishihara-Test (Farbtafeln) bestätigt wurde. 17 Versuchspersonen trugen eine Brille oder Kontaktlinsen. Die Aufwandsentschädigung betrug 10 Euro. Die Studie dauerte im Schnitt 54 Minuten. Die schnellste Versuchsperson benötigte 40 Minuten, und die langsamste 85 Minuten zur Durchführung der Studie.

3.9. Studienablauf

Um zu gewährleisten, dass der Ablauf der Studie bei allen Versuchspersonen gleich ist, erhielt jede Versuchsperson einen Durchführungsbogen. Im Folgenden wird die genaue Durchführung der Studie geschildert.

- **Einverständniserklärung:**
Zu Beginn der Studie bekommen die Versuchspersonen eine Einverständniserklärung. Diese enthält eine Erläuterung zum Ablauf der Studie sowie den Hinweis, dass die Studie jederzeit abgebrochen oder pausiert werden kann. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die gesammelten Daten anonym behandelt werden und die Versuchspersonen-Identifikationsnummer zufällig gewählt wird.
- **Fragebogen zum Probanden:**
Hier müssen die Probanden anonym einen Fragebogen ausfüllen, um mögliche Störvariablen zu kontrollieren. Er beinhaltet unter anderem Fragen zu Geschlecht, Alter, Händigkeit, Muttersprache, Sehhilfe, Computerarbeitszeiten und Abschluss.
- **Seh- und Farbttest:**
Um sicherzustellen, dass die Probanden keine Sehschwäche aufweisen, die die Ergebnisse der Studie beeinträchtigen könnten, werden ein Seh- und ein Ishihara-Farbttest durchgeführt.
- **Tutorial:**
Bevor sie die einzelnen Aufgaben bearbeiten, erhalten die Versuchspersonen ein Tutorial, in dem zu Beginn eine allgemeine Beschreibung sowie der Ablauf der Studie enthalten sind. Daraufhin wird beispielhaft eine Metro-Karte erklärt, sowie auch die verschiedenen Symbole der Design-Elemente von Metro-Karten vorgestellt. Danach besteht die Möglichkeit, eventuelle Fragen zum Karten-Design oder zum Ablauf der Studie zu stellen.
- **Durchführung der Aufgaben:**
Die Studie beinhaltet 2 Aufgabenblöcke. Vor jedem Aufgabenblock bekommen die Versuchspersonen eine kurze Beschreibung der Aufgabe. In dieser Beschreibung wird erläutert, was die Versuchspersonen bei der Aufgabe zu erledigen haben. Erneut können bei Unklarheiten Fragen gestellt werden.

Der **Aufgabenblock A** besteht aus zwei unterschiedlichen Farbgruppen. Die eine Gruppe enthält 24 farbige, die andere 24 graustufige Metro-Karten. Da die Metro-Karten der beiden Gruppen ansonsten gleich sind, müssen unterschiedliche Start- und Zielpunkte definiert werden, um einen Lerneffekt zwischen den farbigen und graustufigen Metro-Karten zu verhindern. Damit dennoch ein genauer Vergleich zwischen den farbigen und graustufigen Metro-Karten stattfinden kann, wurden für jede Metro-Karte zwei unterschiedliche Start- und Zielpunkte ausgewählt, S₁ und S₂.

Um zu einer Gleichverteilung mit Randomisierung der Gruppen zu gelangen, werden die Versuchspersonen nach ihrer Identifikationsnummer in folgende Gruppen gegliedert:

- Identifikationsnummer $\equiv 0 \pmod{4}$
Die Versuchsperson beginnt mit graustufigen Metro-Karten mit dem Start- und Zielknoten S_2 , worauf die farbigen Metro-Karten mit den Start- und Zielknoten S_1 folgen.
- Identifikationsnummer $\equiv 1 \pmod{4}$
Die Versuchsperson beginnt mit farbigen Metro-Karten mit dem Start- und Zielknoten S_2 , worauf die graustufigen Metro-Karten mit den Start- und Zielknoten S_1 folgen.
- Identifikationsnummer $\equiv 2 \pmod{4}$
Die Versuchsperson beginnt mit graustufigen Metro-Karten mit dem Start- und Zielknoten S_1 , worauf die farbigen Metro-Karten mit den Start- und Zielknoten S_2 folgen.
- Identifikationsnummer $\equiv 3 \pmod{4}$
Die Versuchsperson beginnt mit farbigen Metro-Karten mit dem Start- und Zielknoten S_1 , worauf die graustufigen Metro-Karten mit den Start- und Zielknoten S_2 folgen.

Nachdem die Versuchspersonen eingeteilt wurden, gestaltet sich der Ablauf des Aufgabenblocks A folgendermaßen:

1. Weißer Bildschirm, das Betätigen der Leertaste blendet Start- und Zielsymbol ein.
2. Nach ca. einer Sekunde wird die Aufgabe automatisch mit dem Einblenden der zugehörigen Karte gestartet.
3. Während des Auffindens einer Wegverbindung wird dem Versuchsleiter die Anzahl der Umstiege mitgeteilt. Durch einen Mausklick wird die Aufgabe beendet, und es erscheint wieder der weiße Bildschirm.
4. Das erneute Betätigen der Leertaste blendet die nächste Metro-Karte ein, und der Zyklus beginnt von vorn.

Während der Aufgabe notiert der Versuchsleiter die Anzahl der Umstiege in einer separaten Liste. Vor jeder Gruppe ist eine Kalibrierung des Eyetrackers notwendig. Nach der ersten Gruppe gibt es eine kurze Pause, bevor die zweite Gruppe beginnt.

Der **Aufgabenblock B** besteht aus 24 Metro-Karten. Die Versuchspersonen mit einer geraden Identifikationsnummer bekommen die Metro-Karten in Graustufen, und diejenigen mit ungerader Identifikationsnummer in Farbe gezeigt. Bevor dieser Block beginnt, wird ebenfalls eine Kalibrierung des Systems durchgeführt.

3. Durchführung einer Eyetracking-Studie mit Metro-Karten

Der Ablauf des Aufgabenbereiches stellt sich wie folgt dar:

1. Weißer Bildschirm, das Betätigen der Leertaste blendet die Metro-Karte ein.
2. Die Metro-Karte wird genau 20 Sekunden gezeigt. In dieser Zeit sollen die Teilnehmer dem Versuchsleiter alle Besonderheiten nennen, welche ihnen in der Metro-Karte auffallen.
3. Anschließend folgt automatisch wieder der weiße Bildschirm.
4. Das nochmalige Betätigen der Leertaste blendet die nächste Metro-Karte ein, und der Zyklus beginnt erneut.

Während des Aufgabenblocks hält der Versuchsleiter alle Kommentare der Versuchspersonen zu den jeweiligen Metro-Karten fest.

- Aufwandsentschädigung:
Am Ende der Studie bekommen die Probanden 10 Euro als Aufwandsentschädigung. Hiwis oder Mitarbeiter am Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme erhalten stattdessen eine Tafel Schokolade.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

Für die Analyse wurden die Datensätze von 39 Versuchspersonen untersucht, weil ein Datensatz eine zu schlechte Aufnahmequalität aufwies. Neben der statistischen Auswertung der Datensätze wurden auch Heatmaps und Scanpaths mit einbezogen.

Um einen Signifikanztest durchführen zu können, müssen die Daten zwei Voraussetzungen erfüllen: Zum einen müssen die Daten eine Normalverteilung aufweisen und zum anderen müssen die Varianzen in der Grundgesamtheit gleich sein. Mit dem Shapiro-Wilk-Test wurden die Daten auf Normalverteilung getestet. Die Datensätze wiesen keine Normalverteilung auf; deshalb wurden sie logarithmiert und anschließend nochmals dem Shapiro-Wilk-Test unterzogen, was nun eine Normalverteilung ergab. Im Folgenden wurden die Daten mit Hilfe des Bartlett-Test positiv auf die Homogenität der Varianzen geprüft. Abschließend konnte der Signifikanztest ANOVA (Analysis of Variance) durchgeführt werden.

4.1. Bearbeitungszeiten

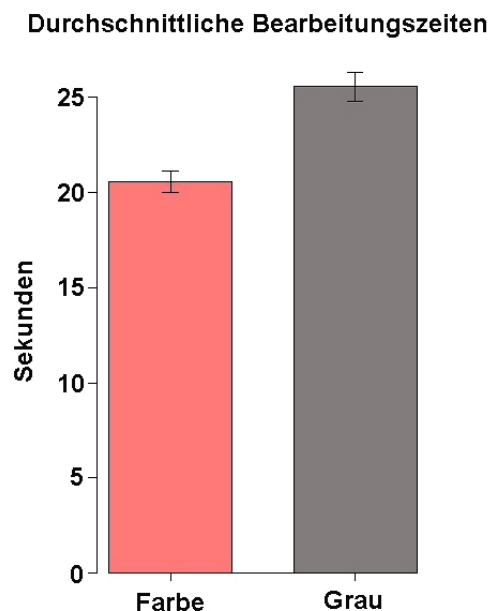


Abbildung 4.1.: Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der Versuchspersonen beträgt bei farbigen Metro-Karten 20,59 Sekunden, und bei graustufigen Metro-Karten 25,58 Sekunden.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der Versuchspersonen liegt bei 23,08 Sekunden. Es ist ein signifikanter Unterschied zwischen farbigen und graustufigen Metro-Karten ($F(1,37) = 35,88; p < 0,001$) festzustellen. Für die Bearbeitung der graustufigen Metro-Karten werden im Durchschnitt 25,58 Sekunden benötigt, und für die farbigen 20,59 Sekunden (siehe Abbildung 4.1). Somit sind die Versuchspersonen beim Lesen der farbigen Metro-Karten fast 20% schneller als beim Lesen von graustufigen Metro-Karten.

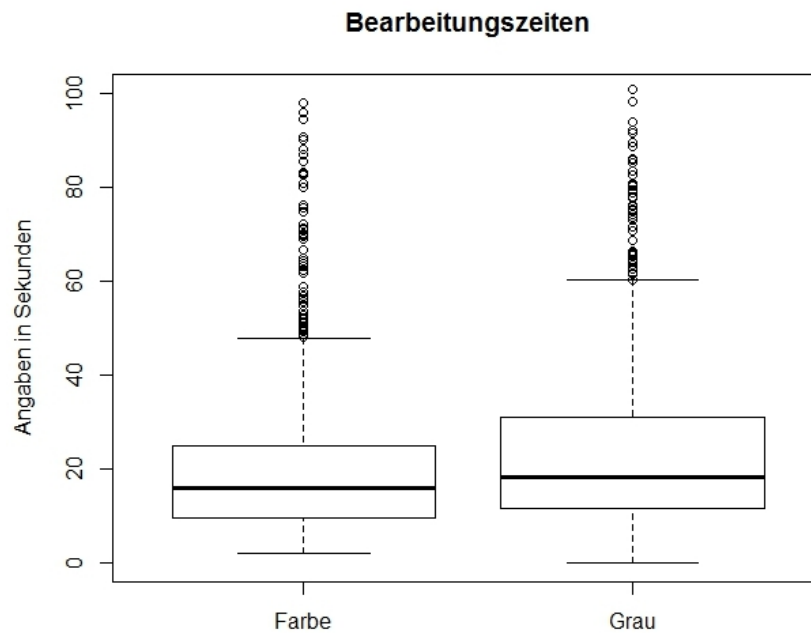


Abbildung 4.2.: Boxplots der Bearbeitungszeiten für graustufige und farbige Metro-Karten. Der Median beträgt bei den farbigen Metro-Karten 15,85 Sekunden, und bei den graustufigen 18,30 Sekunden. Die Ausreißer ab 100 Sekunden wurden abgeschnitten, um eine deutlichere Darstellung im unteren Bereich zu erhalten.

In Abbildung 4.2 sind die Boxplots der Bearbeitungszeiten für farbige und graustufige Metro-Karten dargestellt. Die Verteilung der Bearbeitungszeiten lässt sich somit gut vergleichen. Damit die Boxplots im unteren Bereich nicht zu klein werden, wurden die Ausreißer im oberen Bereich ab 100 Sekunden abgeschnitten. Bei den farbigen Metro-Karten wurden 4 Ausreißer abgeschnitten, die eine Bearbeitungszeit von bis zu 153 Sekunden umfassten. Bei den graustufigen Metro-Karten wurden 13 Ausreißer mit einer Bearbeitungszeit von bis zu 283 Sekunden ausgeschlossen. Der Median bei den farbigen Metro-Karten beträgt 15,85 Sekunden, und bei den graustufigen 18,30 Sekunden. Das untere Quartil liegt bei den farbigen Metro-Karten bei 9,62 Sekunden, das obere Quartil bei 25 Sekunden, was einen Interquartilsabstand von 15,38 Sekunden bedeutet. Bei den graustufigen Metro-Karten liegt das untere Quartil bei 11,4 Sekunden, das obere Quartil bei 30,95 Sekunden, was einen Interquartilsabstand von 19,55 Sekunden bedeutet.

Die **Forschungsfrage 1**, dass sich die Versuchspersonen in farbigen Metro-Karten schneller und besser zurechtfinden als in graustufigen Metro-Karten, kann somit bestätigt werden. Die Versuchspersonen orientieren sich mit farbigen Metro-Karten um 20% schneller und präziser als mit graustufigen Metro-Karten.

Abbildung 4.3 zeigt die durchschnittliche Bearbeitungsdauer in Bezug auf die verschiedenen Komplexitäten der Metro-Karten. Das linke Diagramm enthält die Bearbeitungsdauer in Abhängigkeit von der Komplexität der Aufgabenstellung mit farbigen Metro-Karten, und das rechte Diagramm die Bearbeitungsdauer in graustufigen Metro-Karten. Erkennbar ist, dass die Kurvenverläufe des linken und rechten Schaubildes sehr ähnlich sind, allerdings fällt die Bearbeitungszeit im rechten Schaubild mit graustufigen Metro-Karten insgesamt höher aus.

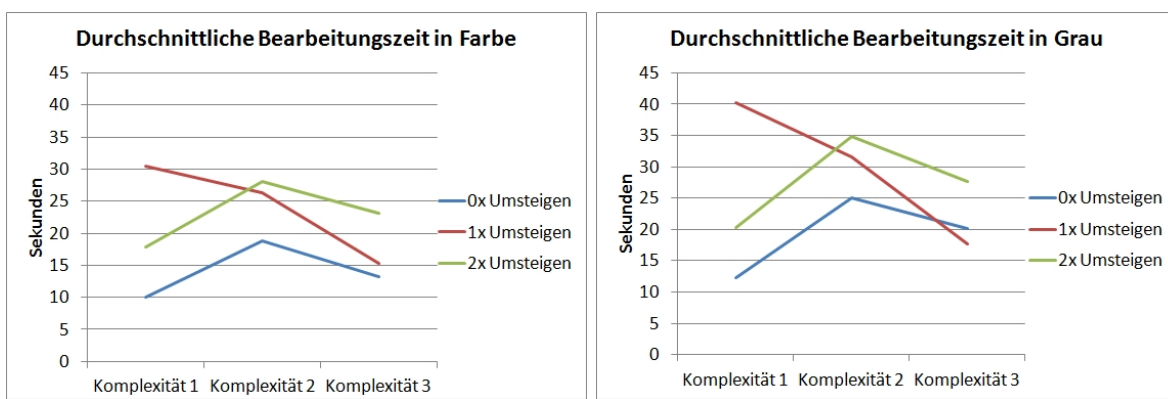


Abbildung 4.3.: Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der Versuchspersonen in Abhängigkeit von der Komplexität der Aufgabenstellung, links die Bearbeitungsdauer mit farbigen Metro-Karten, rechts die Bearbeitungsdauer mit graustufigen Metro-Karten.

Zur Berechnung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit wurden die einzelnen Bearbeitungszeiten der graustufigen und farbigen Metro-Karten aufaddiert und durch zwei dividiert. Somit beträgt die durchschnittliche Bearbeitungszeit bei der Kartenkomplexität 1 ohne Umsteigen 11,18 Sekunden, für 1-mal Umsteigen 35,38 Sekunden und für 2-mal Umsteigen 19,14 Sekunden. Die Versuchspersonen benötigen bei 1-mal Umsteigen in Kartenkomplexität 1 am längsten. Bei Kartenkomplexität 2 steigt die Bearbeitungszeit mit der Anzahl der Umstiege. Bei 0-mal Umsteigen benötigen sie in Durchschnitt 21,92 Sekunden, bei 1-mal Umsteigen 28,91 Sekunden und bei 2-mal Umsteigen 31,45 Sekunden. Für Kartenkomplexität 3 und 1-mal Umsteigen sind die Versuchspersonen mit 16,48 Sekunden am schnellsten, ohne Umsteigen brauchen sie 16,67 Sekunden und mit 2-mal Umsteigen 25,34 Sekunden.

Werden die farbigen und graustufigen Metro-Karten weiterhin zusammen betrachtet, sind die Versuchspersonen bei 0-mal Umsteigen mit durchschnittlich 16,59 Sekunden am schnellsten. Bei 1-mal und 2-mal Umsteigen liegen die Werte mit durchschnittlich 26,92 Sekunden (U₁) und 25,31 Sekunden (U₂) sehr nahe beieinander. Wie in Abbildung 4.3 zu sehen ist, benötigen die Versuchspersonen bei Komplexität 1 und 1-mal Umsteigen ein Vielfaches der Bearbeitungszeit als bei 2-mal Umsteigen in der gleichen Komplexitätsstufe. Bei Komplexität 2

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

nähern sich diese Zeiten relativ an. Erst bei Komplexität 3 benötigen die Versuchspersonen - wie erwartet - bei 2-mal Umsteigen mehr Zeit als bei 1-mal Umsteigen. Die Versuchspersonen brauchen also in farbigen wie graustufigen Metro-Karten mit 1-mal Umsteigen bei Komplexität 1 am längsten und bei Komplexität 3 am kürzesten. Folglich nimmt die durchschnittliche Bearbeitungszeit entgegen der Erwartung bei ansteigender Komplexität nicht zu, sondern reduziert sich annähernd linear.

Zur Berechnung der Kartenkomplexität wurde eine Mittelwertsberechnung der einzelnen Umstiege der farbigen und graustufigen Metro-Karten durchgeführt. Dazu wurde jeder Umstiegswert (U_1 , U_2 , U_3) einer Komplexitätsgruppe (jeweils C_1 ; C_2 ; C_3) aufaddiert und durch sechs (je $2 \times U_1$, U_2 , U_3) dividiert. Die Versuchspersonen sind in Kartenkomplexität 3 mit durchschnittlich 19,85 Sekunden am schnellsten. Danach folgen Kartenkomplexität 1 mit 21,23 Sekunden und Kartenkomplexität 2 mit 27,68 Sekunden.

Entgegen der Erwartung zeigt das Diagramm in Abbildung 4.4 für die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten in Abhängigkeit von Komplexität keine steigende Kurve. Bei U_1C_1 (1-mal Umsteigen, Komplexität 1) ist eine hohe durchschnittliche Bearbeitungszeit von 35,38 Sekunden zu sehen, während U_1C_3 eine vergleichsweise geringe Bearbeitungszeit von 16,48 Sekunden angibt.

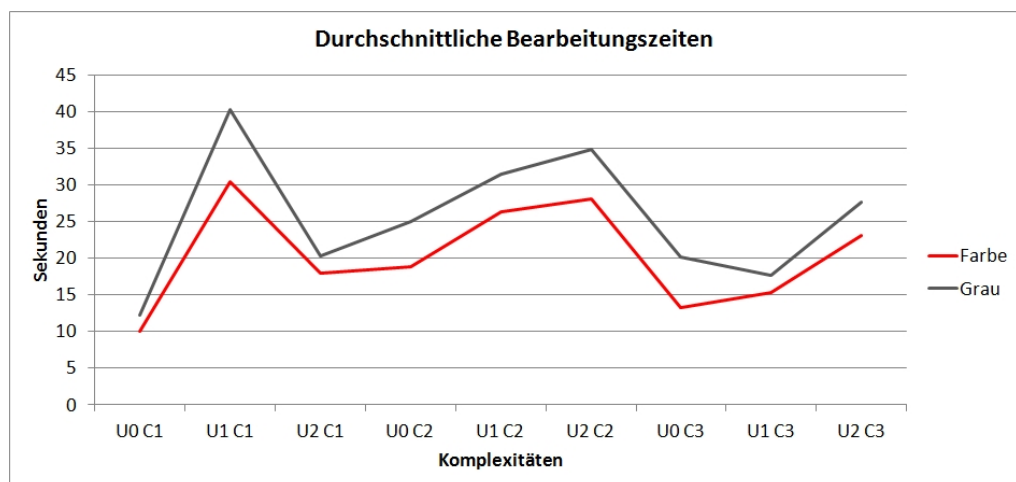


Abbildung 4.4.: Durchschnittliche Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von Komplexität und Farbe.

Außerdem ist in Abbildung 4.4 der ähnliche Verlauf der Bearbeitungszeit für graustufige und farbige Karten gut zu entnehmen. Jedoch kann kein eindeutiger Anstieg der Bearbeitungszeit abhängig von der Komplexität der Karten bzw. den Umstiegen festgestellt werden. Es ist auch nicht zu erkennen, dass bei geringer Komplexität die farbigen und graustufigen Metro-Karten bei der Bearbeitungszeit näher beieinander liegen als bei hoher Komplexität.

Im Gegensatz zu den Erwartungen lässt sich die **Forschungsfrage 4**, dass mit zunehmender Komplexität die Bearbeitungsdauer steigt, nicht belegen. Wie in Abbildung 4.3 und 4.4 gut zu sehen ist, benötigen die Versuchspersonen bei einfacher Komplexität länger als bei hoher Komplexität.

4.2. Anzahl der Umstiege

Die Versuchspersonen stiegen in den Metro-Karten dieser Studie insgesamt 3077 Mal um. Davon entfallen auf die farbigen Metro-Karten 1504 Umstiege und auf die graustufigen Metro-Karten 1573 Umstiege. Dies ist durchschnittlich 1,61 Mal bei farbigen Metro-Karten und 1,69 Mal bei graustufigen Metro-Karten. Somit wird bei graustufigen Metro-Karten um 4,6% öfter umgestiegen als bei farbigen Metro-Karten.

Um die falschen Antworten der Versuchspersonen herauszufinden, muss erst definiert werden, was eine falsche Antwort ist. Dabei handelt es sich entweder um einen nicht gefundenen Weg oder eine zu gering angegebene Anzahl der Umstiege. Dies bedeutet: Wenn mindestens 2-mal umgestiegen werden musste (U_2), um an das gewünschte Ziel zu gelangen, und eine Versuchsperson 0-mal umgestiegen ist, ist diese Antwort falsch gewesen. Versuchspersonen, die öfter umgestiegen sind, haben keine falsche Antwort gegeben, sondern sind eine alternative Strecke gefahren mit mehreren Umstiegen.

Bei den graustufigen Metro-Karten (39 falsche Antworten) wurden ungefähr doppelt so viele Fehler gemacht wie bei den farbigen Metro-Karten (21 falsche Antworten) (vergleiche Abbildung 4.5, linkes Schaubild). Viermal ist es den Versuchspersonen nicht gelungen, einen Weg zwischen den gegebenen Stationen zu finden. Dies betraf ausschließlich Metro-Karten mit Richtungspfeilen, davon waren drei Metro-Karten grau und eine farbige.

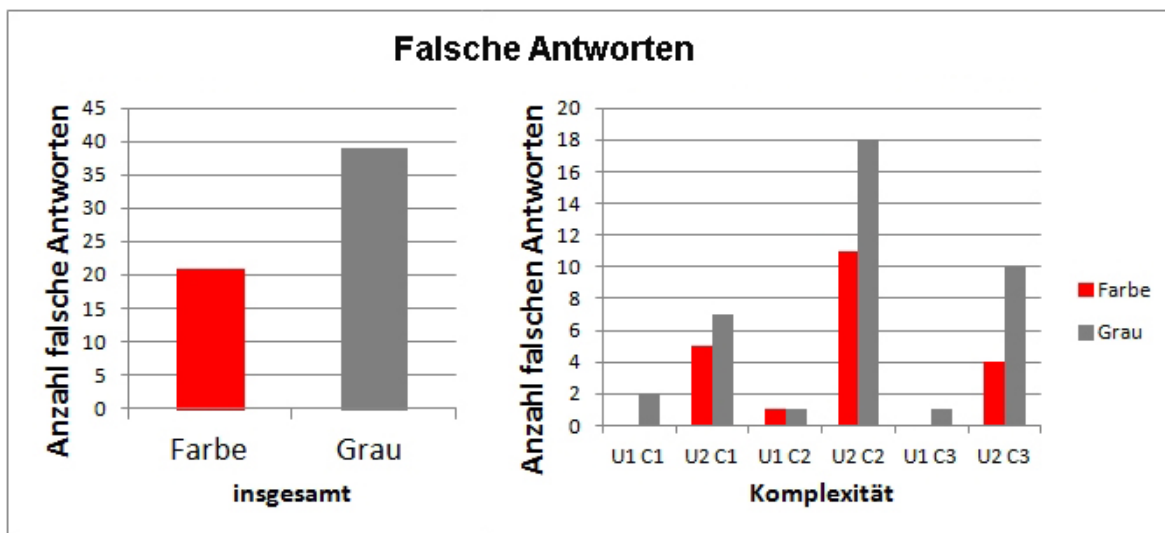


Abbildung 4.5.: Anzahl der falschen Antworten: Im linken Schaubild befindet sich die gesamte Anzahl der falschen Antworten für farbige und graustufige Metro-Karten. Im rechten Schaubild sind die falschen Antworten für die farbigen und graustufigen Metro-Karten ihren Komplexitäten zugeordnet.

Die Verteilung der Fehler verläuft entgegen der Erwartung nicht steigend zur Komplexität, wie Abbildung 4.5 im rechten Schaubild verdeutlicht. Aufgrund der Definition von falschen Antworten ist es nicht möglich, bei der richtigen Option „Nullmal Umsteigen“ eine falsche

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

Antwort zu geben. Aus diesem Grund wurde U₀ in Abbildung 4.5 nicht berücksichtigt. In der Komplexitätsgruppe 2 wurden 51,7% der Fehler gemacht, während die Komplexitätsgruppen 1 und 3 23,3% und 25% der Fehler beisteuerten. Deutlich zu sehen ist, dass bei graustufigen Metro-Karten in jeder Komplexitätsgruppe mehr Fehler begangen wurden als bei farbigen Metro-Karten.

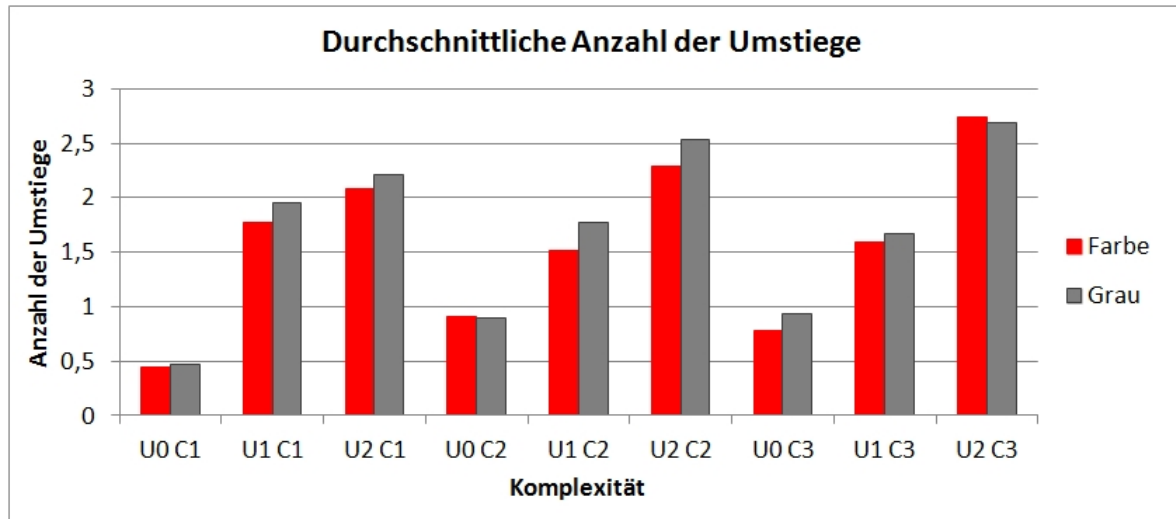


Abbildung 4.6.: Durchschnittliche Anzahl der Umstiege in Abhängigkeit von der Komplexität. Bei den graustufigen Metro-Karten wird im Durchschnitt etwas mehr umgestiegen als bei den farbigen Metro-Karten.

Im Durchschnitt sind die Versuchspersonen bei graustufigen Metro-Karten öfter umgestiegen als bei farbigen Metro-Karten. Lediglich bei den Komplexitäten U₀C₂ und U₂C₃ haben die graustufigen Metro-Karten besser abgeschnitten, wie Abbildung 4.6 zeigt. Durchschnittlich wurde bei den farbigen Metro-Karten der Kartenkomplexität C₁ (U₀C₁+U₁C₁+U₂C₁) = 1,42 Mal, bei C₂ = 1,53 Mal und bei C₃ = 1,68 Mal umgestiegen. Bei den graustufigen Metro-Karten wurde im Durchschnitt bei C₁ = 1,52 Mal, bei C₂ = 1,65 Mal und bei C₃ = 1,73 Mal umgestiegen. Dies signalisiert einen leichten Anstieg der Umstiege bei zunehmender Kartenkomplexität.

In Abbildung 4.7 ist die minimale und maximale Umstiegsanzahl der Versuchspersonen dargestellt. Die Streuung der Anzahl der Umstiege ist bei den graufarbenen Metro-Karten weiter gefächert als bei den farbigen Metro-Karten.

Somit kann die **Forschungsfrage 2**, dass bei farbigen Metro-Karten die Versuchspersonen korrekter antworten und weniger Umsteigemöglichkeiten nutzen als bei graustufigen Metro-Karten, belegt werden. Bei den graustufigen Metro-Karten wurden 65% und bei den farbigen Metro-Karten 35% der Fehler gemacht. Auch die Anzahl der Umstiege ist im Durchschnitt bei den farbigen Metro-Karten (1,61mal) minimal geringer als bei den graustufigen Metro-Karten (1,69mal).

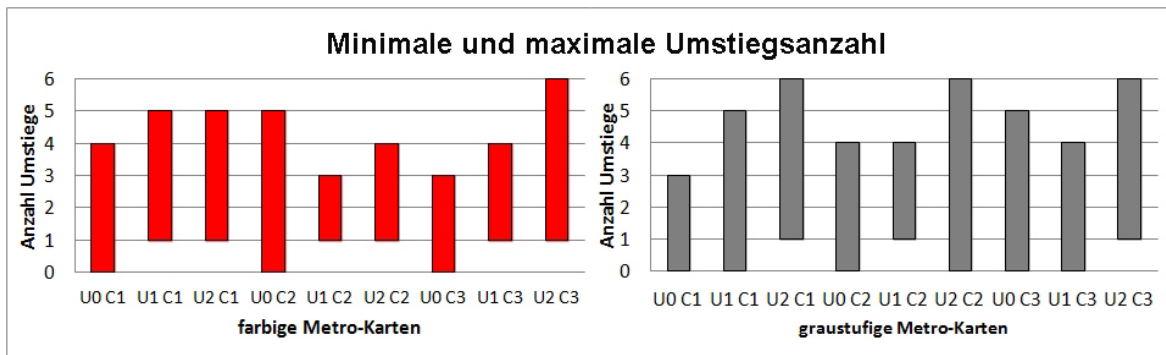


Abbildung 4.7.: Minimale und maximale Umstiegsanzahl: Im linken Schaubild ist die Streuung der Umstiegsanzahl der Versuchspersonen für farbige Metro-Karten zu sehen. Das rechte Schaubild trägt die Streuung der Umstiegsanzahl für graustufige Metro-Karten ab.

Die **Forschungsfrage 5**, dass bei niedriger Komplexität der Metro-Karten der Unterschied in Bezug auf Bearbeitungszeit und Korrektheit zwischen farbigen und graustufigen Metro-Karten geringer ist als bei hoher Komplexität, lässt sich nicht bestätigen (siehe Abbildung 4.4). Die Bearbeitungszeiten der farbigen und graustufigen Metro-Karten divergieren nicht stärker bei höherer Komplexität. Auch hinsichtlich der Korrektheit ist in Abbildung 4.5 im rechten Schaubild keine steigende Anzahl der falschen Antworten zu sehen, wenn die Komplexität zunimmt.

4.3. Sakkadenlänge und Fixationsdauer

Die durchschnittliche Sakkadenlänge der Versuchspersonen beträgt 166,34 Pixel. Bei den graustufigen Metro-Karten beträgt die durchschnittliche Sakkadenlänge 154,22 Pixel, und bei den farbigen Metro-Karten 178,46 Pixel. Somit existiert ein deutlicher Unterschied zwischen den farbigen und den graustufigen Metro-Karten ($F(1,37) = 166,19; p < 0,001$).

Im Boxplot (Abbildung 4.8) kann die Verteilung der Sakkadenlänge für farbige und graustufige Metro-Karten abgelesen werden. Der Median liegt für farbige Metro-Karten bei 168,98 Pixel und für graustufige Metro-Karten bei 146,98 Pixel. Das untere Quartil befindet sich in farbigen Metro-Karten bei 140,40 Pixel, und das obere Quartil bei 206,78 Pixel, was einen Interquartilabstand von 66,28 Pixel bedeutet. In graustufigen Metro-Karten liegt das untere Quartil bei 122,43 Pixel, und das obere Quartil bei 177,47 Pixel, was einen Interquartilabstand von 55,04 Pixel ergibt. Die Ausreißer reichen bei den farbigen Metro-Karten bis zu einer Sakkadenlänge von 491,33 Pixel, wohingegen bei den graustufigen Metro-Karten Ausreißer nur bis 359,12 Pixel zu erkennen sind. Aus diesen Daten lässt sich ableiten, dass die Versuchspersonen bei farbigen Metro-Karten größere Sakkadensprünge ausführen als bei graustufigen Metro-Karten.

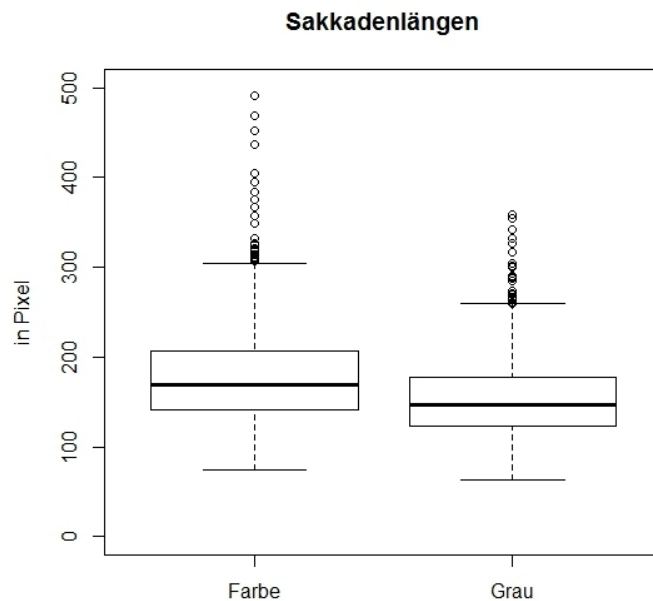


Abbildung 4.8.: *Boxplot der Sakkadenlängen für farbige und graustufige Metro-Karten: Die Sakkaden sind im Durchschnitt bei den farbigen Metro-Karten größer als bei den graustufigen Metro-Karten.*

Abbildung 4.9 ist klar zu entnehmen, dass die Sakkadenlänge über die Komplexität der Metro-Karten hinweg bei farbigen Metro-Karten mit einem durchschnittlichen Abstand von 15,72% annähernd konstant größer ist als bei graustufigen Metro-Karten. Die Sakkadenlänge ist in der Komplexitätsgruppe mit 0-mal Umsteigen und Kartenkomplexität 1 (U0C1) am längsten. Bei den restlichen Komplexitätsgruppen ist kein eindeutiger Unterschied zu erkennen. Die Sakkadenlänge bleibt mit zunehmender Komplexität relativ konstant.

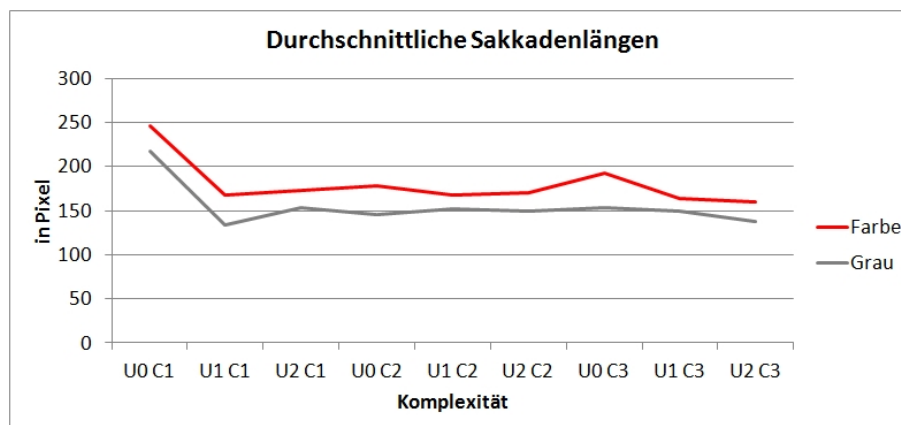


Abbildung 4.9.: *Durchschnittliche Sakkadenlänge für farbige und graustufige Metro-Karten: Bei farbigen Metro-Karten wurden immer größere Sakkadensprünge verrichtet als bei graustufigen Metro-Karten.*

Die durchschnittliche Fixationsdauer der Versuchspersonen liegt bei 359,94 Millisekunden. Auch hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen den farbigen und graustufigen Metro-Karten festzustellen ($F(1,37) = 34,47; p < 0,001$). Die durchschnittliche Fixationsdauer beträgt bei den farbigen Metro-Karten 347,32 Millisekunden, und bei den graustufigen 372,58 Millisekunden. Somit ist die Verweildauer (Fixation) bei graustufigen Metro-Karten um ca. 25 Millisekunden höher.

Der Boxplot in Abbildung 4.10 verdeutlicht die Verteilung der Fixationsdauer für farbige und graustufige Metro-Karten. Der Median beträgt bei den farbigen Metro-Karten 334,89 Millisekunden und bei den graustufigen Metro-Karten 353,03 Millisekunden. Das untere Quartil liegt bei den farbigen Metro-Karten bei 292,55 Millisekunden, und das obere Quartil bei 388,55 Millisekunden, was in einen Interquartilabstand von 96 Millisekunden resultiert. Bei den graustufigen Metro-Karten hat das untere Quartil bei 305,87 Millisekunden, und das obere Quartil 423,25 Millisekunden, also beläuft sich der Interquartilabstand auf 117,38 Millisekunden. Um im Boxplot den mittleren Teil besser ablesen zu können, wurde die Millisekundenskala auf 800 Millisekunden beschränkt. Die Ausreißer bei den farbigen Metro-Karten reichen bis zu 792,14 Millisekunden. Bei den graustufigen Metro-Karten hingegen befindet sich ein Ausreißer bei 1292,3 Millisekunden, die übrigen verteilen sich auf bis zu 813,17 Millisekunden. Daraus lässt sich schließen, dass die Versuchspersonen bei den farbigen Metro-Karten eine kürzere Fixationsdauer aufweisen als bei den graustufigen.

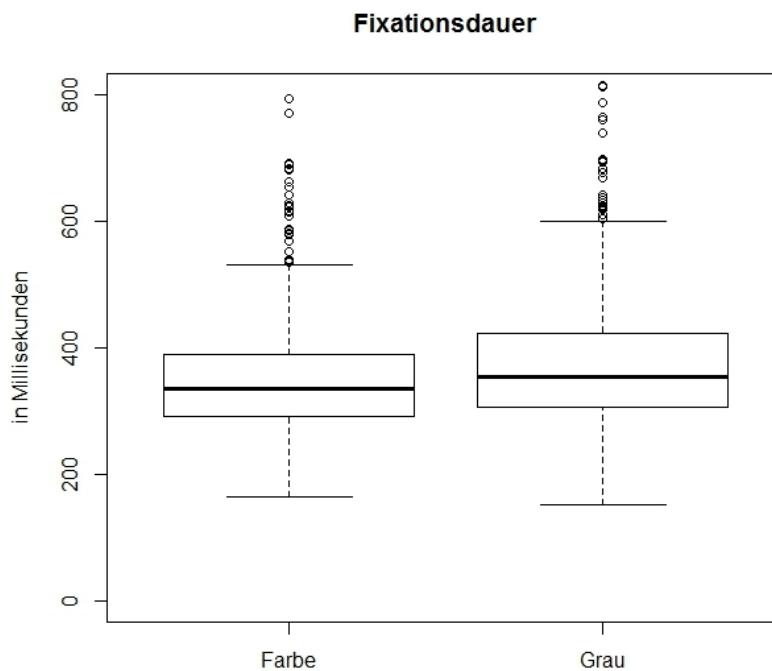


Abbildung 4.10.: Durchschnittliche Fixationsdauer für farbige und graustufige Metro-Karten: Sie ist bei den graustufigen Metro-Karten länger als bei den farbigen.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

Für die Fixationsdauer ist ebenfalls ein annähernd konstanter Abstand zwischen farbigen und graustufigen Metro-Karten von durchschnittlich 7,27% zu beobachten (vergleiche Abbildung 4.11). Dabei ist die Fixationsdauer bei graustufigen Metro-Karten immer etwas höher als bei farbigen Metro-Karten.

Die Fixationsdauer nimmt mit steigender Kartenkomplexität leicht zu (vergleiche Abbildung 4.11). Jede Kartenkomplexität (C₁; C₂; C₃) kann durch die Aufsummierung der einzelnen Umstiege $((U_1+U_2+U_3)*2 \text{ (Grau+Farbe)})/6$ der jeweiligen Komplexität berechnet werden. Die durchschnittliche Fixationsdauer beträgt somit für Komplexität 1 (C₁) 339,40 Millisekunden, für Komplexität 2 (C₂) 364,77 Millisekunden und für Komplexität 3 (C₃) 377,10 Millisekunden. Mit steigender Komplexität ist kein nennenswerter Unterschied zwischen den farbigen und graustufigen Metro-Karten zu erkennen. Die Fixationsdauer steigt bei zunehmender Komplexität durchschnittlich um 11,77% bei graustufigen Metro-Karten, und um 10,82% bei farbigen Metro-Karten. Somit besteht nur ein minimaler Unterschied zwischen farbigen und graustufigen Metro-Karten, wenn sich die Komplexität erhöht.

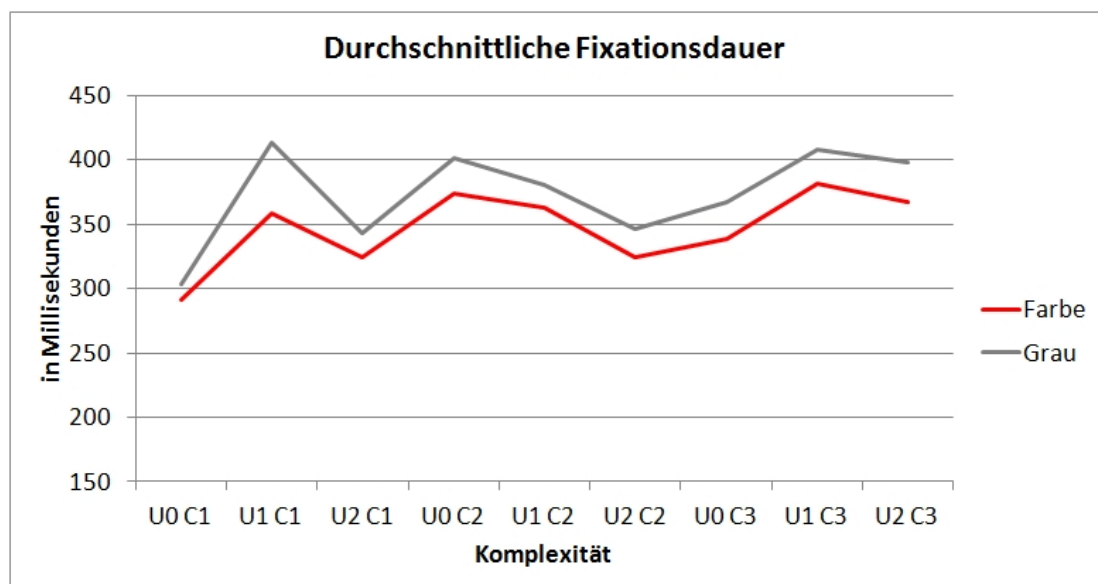


Abbildung 4.11.: Durchschnittliche Fixationsdauer für farbige und graustufige Metro-Karten: Die Fixationsdauer ist bei den graustufigen Metro-Karten immer länger, als bei den farbigen. Mit zunehmender Kartenkomplexität steigt auch die Fixationsdauer.

Abbildung 4.12 zeigt ein Streudiagramm, welches das Verhältnis zwischen Fixationen und Sakkaden darstellt. Das durchschnittliche Verhältnis liegt ungefähr bei einem Faktor von 1:2 (Sakkade : Fixation). Bei längeren Fixationen sind die Sakkaden kürzer. Das bedeutet, dass die Versuchspersonen, wenn sie lange eine Position fixiert haben, nur kurze Sakkadensprünge verrichten. Mit zunehmender Sakkadenlänge werden die Fixationen kürzer. Wenn die Versuchspersonen folglich große Sakkadensprünge verrichten, dann fixieren sie nur kurz eine bestimmte Position. Auffallend ist, dass die neun Punkte mit der größten durchschnittlichen Sakkadenlänge (oben links in der Abbildung 4.12) alle den farbigen

Metro-Karten zuzuordnen sind. Bei den längsten durchschnittlichen Fixationen sind zehn von zwölf Punkten den graustufigen Metro-Karten zuzuordnen.

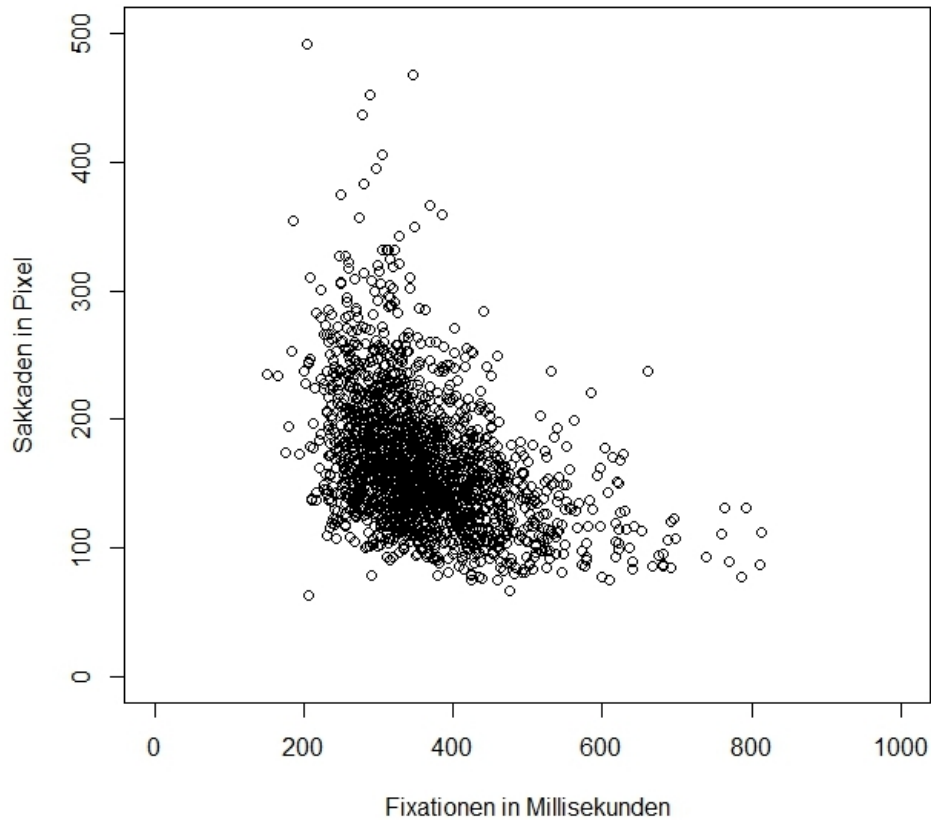


Abbildung 4.12.: *Das Verhältnis zwischen Fixationen und Sakkaden liegt durchschnittlich bei 1:2 (Sakkade : Fixation).*

Die **Forschungsfrage 3**, dass bei farbigen Metro-Karten die Sakkaden länger und die Fixationen kürzer werden als bei graustufigen Metro-Karten, kann somit belegt werden. In der Abbildung 4.9 kann man klar ablesen, dass die Sakkaden bei farbigen Metro-Karten länger als bei graustufigen sind. Für die Fixationsdauer verhält es sich umgekehrt. Abbildung 4.11 zeigt, dass die Fixationsdauer bei graustufigen Metro-Karten länger als bei farbigen ist. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Versuchspersonen farbige Metro-Karten besser und schneller deuten können als graustufige Metro-Karten.

Die **Forschungsfrage 6**, dass bei steigender Komplexität der Metro-Karten die Sakkaden kürzer und die Fixationen länger werden, lässt sich nur zum Teil bestätigen. Wenn die Komplexität steigt, bleiben die Sakkaden relativ gleich (vergleiche Abbildung 4.9), was bedeutet, dass die Sakkadenlänge unabhängig von der Komplexität der Metro-Karten ist. Die Fixationsdauer nimmt bei ansteigender Komplexität zu (vergleiche Abbildung 4.11). Dies wiederum bedeutet, dass die Fixationsdauer abhängig ist von der Komplexität. Die Versuchspersonen fixieren bei hoher Komplexität eine Stelle länger als bei niedriger Komplexität.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

4.4. Herangehensweise der Versuchspersonen

Heatmaps helfen dabei, zu erkennen, welche Stellen der Metro-Karten bei der jeweiligen Aufgabenstellung intensiver betrachtet werden. In Abbildung 4.13 ist die Heatmap der Metro-Karte von Göteborg zu sehen, links für die farbige Metro-Karte und rechts für die graustufige Variante.

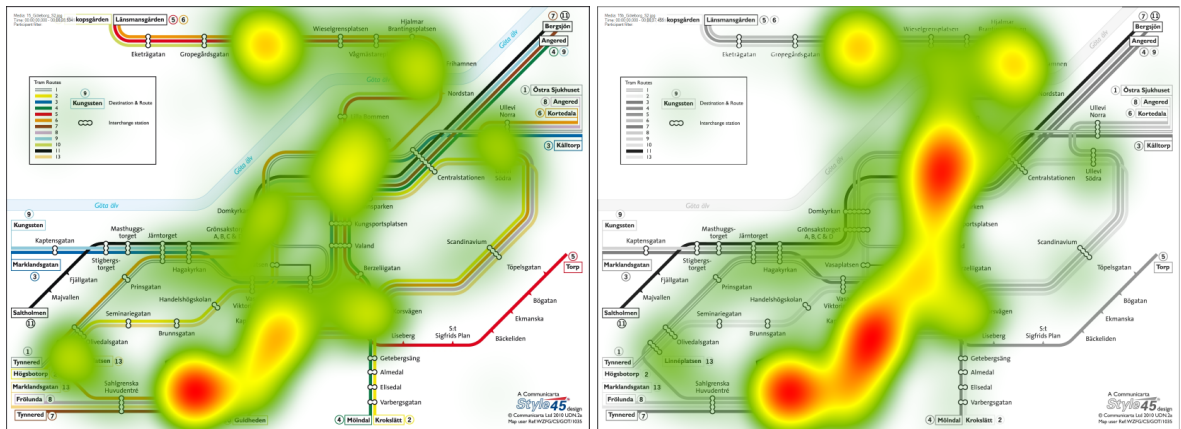


Abbildung 4.13.: Heatmap der Metro-Karte von Göteborg, links die farbige und rechts die graustufige Version. Bei den graustufigen Metro-Karten wird die Verkehrslinienführung genauer abgetastet.

Vergleicht man diese zwei Heatmaps, wird ersichtlich, dass die Versuchspersonen bei der graustufigen Metro-Karte den direkten Weg in der Geodäte bevorzugen. Dies gilt ebenso für die Metro-Karte von Zürich in Abbildung 4.14. Außerdem werden über das gesamte Netz bei den graustufigen Metro-Karten weniger optionale Wege gesucht als bei den farbigen.

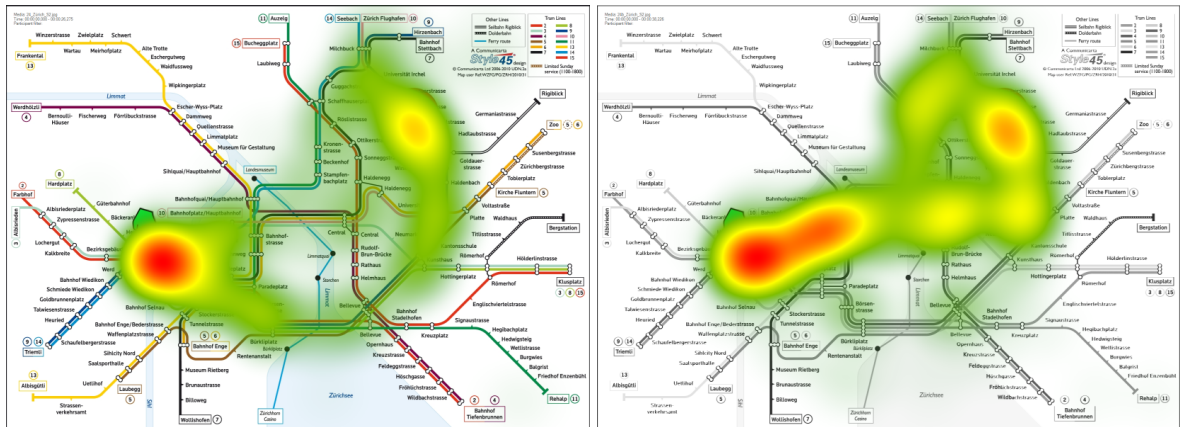


Abbildung 4.14.: Heatmap der Metro-Karte von Zürich, links für die farbige und rechts für die graustufige Fassung. Bei den graustufigen Metro-Karten ziehen die Versuchspersonen die Wege, die in der Geodäte liegen, vor.

4.4. Herangehensweise der Versuchspersonen

Im Falle von grauen Metro-Karten fixieren die Versuchspersonen länger die Umsteigebahnhöfe. Dies ist in der rechten Abbildung 4.13 an den roten Hervorhebungen zu erkennen. Sie benötigen daher mehr Zeit, um „ihre“ Verkehrslinie am Umsteigebahnhof zu verfolgen oder in die neue „richtige“ Verkehrslinie umzusteigen. Die langen, nah beieinanderliegenden Fixationen bei den graustufigen Metro-Karten in Abbildung 4.13 und 4.14 deuten darauf hin, dass die Versuchspersonen den Verkehrslinien genauer und in kürzeren Abständen folgen als bei farbigen Metro-Karten.

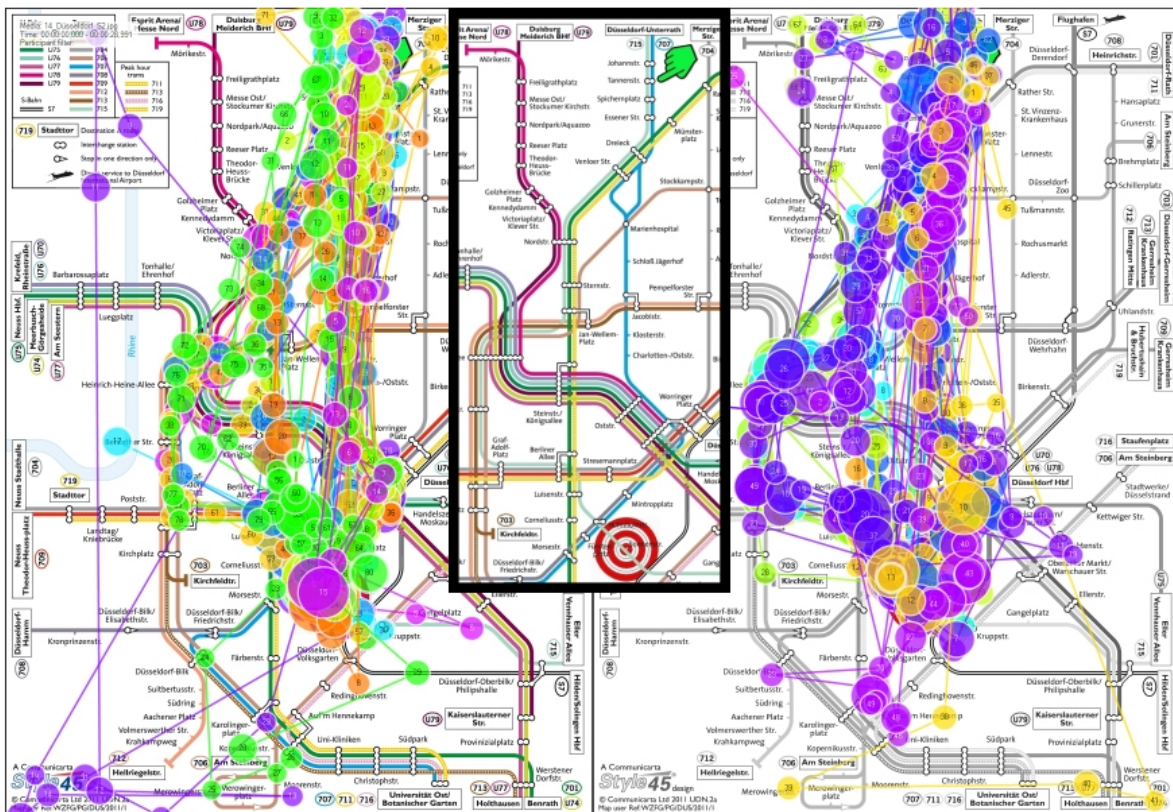


Abbildung 4.15.: Scanpath der Metro-Karte von Düsseldorf: links derjenige der Farb- und rechts der der Graustufen-Variante. Mittig ist ein Ausschnitt der farbigen Metro-Karte eingeblenet.

Abbildung 4.15 beinhaltet die Scanpaths der Metro-Karte von Düsseldorf. Im linken Teil ist der Scanpath der farbigen und im rechten der der graustufigen Metro-Karte zu sehen. In der Mitte der Scanpaths wurde der entscheidende Teil der farbigen Metro-Karte ohne Scanpath eingefügt. Diese Metro-Karte zeigt die farbliche Beeinflussung der Versuchspersonen. Die hellblaue Verkehrslinie führt direkt vom Start zum Ziel ohne umzusteigen. Mit der dunkelblauen Verkehrslinie ist einmal umzusteigen. Dennoch benutzten 15 der 20 Versuchspersonen (75%) bei der farbigen Metro-Karte die dunkelblaue Verkehrslinie. Nur fünf Versuchspersonen (25%) erkannten bei der farbigen Metro-Karte die hellblaue Verkehrslinie als die beste Wahl. Dies belegt der linke Scanpath aus Abbildung 4.15. Im Gegensatz dazu erkannten bei der graustufigen Metro-Karte acht Versuchspersonen (40%)

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

die direkte Verkehrsverbindung (vergleiche Abbildung 4.15 rechts). Dies bedeutet, dass die Versuchspersonen den starken Farben gegenüber den blassen Farben den Vorzug geben. Bei den graustufigen Metro-Karten ist der Kontrast und somit auch die entsprechende Beeinflussung geringer.

Die Auswertung des Videomaterials gibt genaueren Aufschluss über die Herangehensweise der Versuchspersonen. Die meisten Versuchspersonen fangen am Startsymbol an, einen geeigneten Weg zum Ziel zu suchen. Lediglich zwei bis drei Versuchspersonen beginnen am Zielsymbol, einen Weg zu finden. Viele springen sehr oft zwischen Start- und Zielsymbol hin und her und suchen von beiden Seiten aus einen geeigneten Weg. Sie verfolgen eine Verkehrslinie in geodätischer Richtung, dabei nehmen sie meist starke Farben bevorzugt wahr. Bei großer Abweichung zum Ziel wird an einem Umsteigebahnhof eine andere Verkehrslinie weiterverfolgt oder von der anderen Richtung aus ein geeigneter Weg gesucht. Einige Versuchspersonen suchen erst eine grobe Richtung der Verkehrslinienführung. Sie verschaffen sich einen groben Überblick und versuchen dann im Detail den besten Weg zu finden. Zum Teil wird nach dem Auffinden einer Verkehrslinienführung zum Ziel der gefundene Weg kontrolliert. Wenn eine Versuchsperson den zuerst gefundenen Weg als gut befunden hatte, kontrollierte sie weder ihn noch suchte sie nach einem alternativen Weg. Wurde der zuerst gefundene Weg schnell gefunden, suchten manche Versuchspersonen noch nach alternativen Wegverbindungen. War es umständlich oder langwierig, eine Verkehrslinienführung zwischen Start- und Zielsymbol zu finden, wird zum Teil nur der bestehende Weg kontrolliert. Wenn der gefundene Weg der Versuchsperson zu kompliziert vorkam, suchten sie neu nach einer Wegverbindung. Bei der Herangehensweise der Bearbeitung ließ sich kein Unterschied in Bezug auf farbige und graustufige Metro-Karten feststellen.

Die **Forschungsfrage 7**, dass alle Versuchspersonen eine ähnliche Herangehensweise an die ihnen gestellte Aufgabe verfolgen, kann nur zum Teil belegt werden. Vielmehr sind die Vorgehensweisen der Versuchspersonen nicht in ein striktes Muster einzuordnen, sondern sind häufig recht ähnlich. Wie zum Beispiel Abbildung 4.13 und 4.14, jeweils rechte Seite, zeigen, suchen die Versuchsteilnehmer bevorzugt eine Wegverbindung in der Geodäte. Auch werden viele Versuchsteilnehmer in der Wahrnehmung von starken Farben beeinflusst (vergleiche Abbildung 4.15). Bei der Auswertung des Videomaterials ist aufgefallen, dass ähnliche Vorgehensweisen beim Auffinden der Start- und Zielsymbole vorhanden sind. Jedoch ist die weitere Vorgehensweise von verschiedenen persönlichen Einflüssen abhängig. Deshalb kann, obwohl viele Parallelen erkennbar sind, kein allgemein gültiges Muster zur Herangehensweise identifiziert werden.

4.5. Qualitatives Feedback

In dieser Studie wurden nicht nur vorbestimmte Aufgaben, sondern auch eine offene Frage über Metro-Karten gestellt. Dabei konnten die Versuchspersonen 20 Sekunden lang alle Besonderheiten und Auffälligkeiten beschreiben, die ihnen zu den Metro-Karten einfielen. Dieses Kapitel stellt die Antworten der Versuchspersonen zur Open Question vor. Dabei werden als erstes die betrachteten Schwerpunkte der Versuchspersonen mit Hilfe der Heatmaps ausgewertet, danach anhand der Antworten der Versuchspersonen die Auffälligkeiten der einzelnen Metro-Karten abgeleitet.

4.5.1. Open Question

Bei der „Open Question“ erhielten die Versuchspersonen die Aufgabe, alle Besonderheiten der gezeigten Metro-Karten herauszufinden. Diejenigen Bereiche der Metro-Karten, die die Versuchspersonen betrachtet und damit als interessant empfunden haben, lassen sich mit Hilfe von Heatmaps aufzeigen. Die einzelnen Antworten der Versuchspersonen werden in Kapitel 4.5.2 aufgelistet.



Abbildung 4.16.: Heatmap zur Open Question der Metro-Karte von Barcelona: Oben links ist die Heatmap der farbigen und oben rechts die der graustufigen Metro-Karte zu sehen. Unten ist die farbige Original-Metro-Karte dargestellt. Kontextinformationen (Flughafen, Legende usw.) betrachteten die Versuchspersonen intensiv.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

Die Versuchspersonen betrachteten die Metro-Karten bei der „Open Question“ verblüffend ähnlich, obwohl es zwei verschiedene Gruppen waren, welche die graustufigen und farbigen Metro-Karten ansahen. Den Versuchspersonen fallen Kontextinformationen wie beispielsweise Legenden, Flughäfen, Parks, Seen und Männchen auf. Dabei betrachteten die Versuchspersonen in den graustufigen Metro-Karten die Kontextinformationen zumeist intensiver als in den farbigen. Abbildung 4.16 zeigt beispielsweise die Metro-Karte von Barcelona. Oben links ist die farbige und rechts die graustufige Heatmap der Metro-Karte zu sehen. Unten ist die originale Metro-Karte in Farbe zum Vergleich dargestellt. An dieser Metro-Karte ist zu erkennen, dass das Flughafen-Icon (links mitte) und die zwei Legenden (unten rechts und links) intensiv betrachtet wurden, und zwar in der graustufigen länger als in der farbigen Metro-Karte. Zudem wurden die drei Männchen in der Karte genauer inspiziert, ebenso wie Auffälligkeiten im Linienverlauf, zum Beispiel die Verkehrslinie unter Konstruktion (gestrichelt, rechts mitte) oder das Zentrum mit vielen Verkehrslinien und Umsteigebahnhöfen.

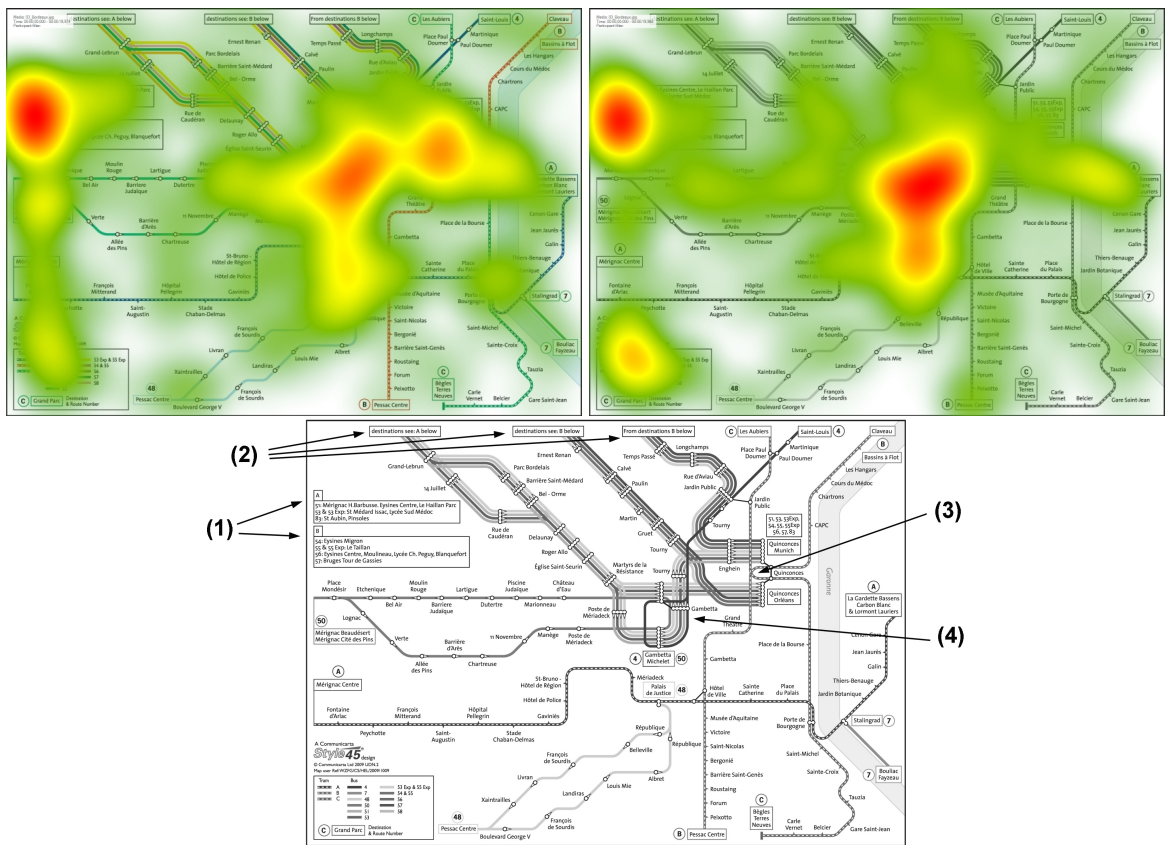


Abbildung 4.17.: Heatmap zur Open Question der Metro-Karte von Bordeaux: Oben links ist die Heatmap der farbigen und oben rechts die der graustufigen Metro-Karte zu sehen. Unten ist die graustufige Metro-Karte aus Bordeaux im Original dargestellt. Links oben in den Metro-Karten wurden die zwei Kästen A und B lange fixiert. Die Versuchspersonen konnten sie nicht ihrer Aufgabe zuordnen.

Abbildung 4.17 verdeutlicht das Zuordnungsproblem von zusätzlichen Haltestellen einzelner Verkehrslinien. Die zwei Kästen A und B (1) links oben in der Abbildung fokussierten die Versuchspersonen intensiv. Jedoch konnte kaum eine Versuchsperson diese Kästen richtig zuordnen. Diese Kästen beinhalten nämlich die weiterführenden Haltestellen der obigen Verkehrslinien (2). Aus den Heatmaps ist ersichtlich, dass wenige Versuchspersonen die Kästen oben an den Verkehrslinien (2) betrachtet haben und somit die meisten keine Verbindung zu den Kästen A und B herstellen konnten. In der farbigen Heatmap ist zudem zu sehen, dass die Versuchspersonen den Umsteigebahnhof „Quinconces“ (3) (rechts mitte) länger betrachtet haben als bei der graustufigen Metro-Karte. Dies könnte darauf beruhen, dass bei der graustufigen Metro-Karte die grüne und rote Verkehrslinie gleich aussehen und viele Versuchspersonen deshalb hier keinen Umsteigebahnhof erkannten. Ein weiterer großer Fixationspunkt befindet sich in der Mitte der Karte an den Haltestellen mit Richtungsfeilangaben (4).



Abbildung 4.18.: Heatmap zur Open Question der Metro-Karten von Laibach und Warschau: Links oben ist die Heatmap der graustufigen Metro-Karte von Laibach und rechts oben diejenige der graustufigen Metro-Karte von Warschau zu sehen. Darunter ist die jeweilige Metro-Karte ohne Heatmap dargestellt. Bei beiden Metro-Karten wurden die Zonen mit Richtungsfeilangaben auffallend lange fixiert.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

Den meisten Versuchspersonen fällt es schwer, den Verkehrslinien mit vielen Richtungspfeilen korrekt zu folgen. In Abbildung 4.18 ist links die graustufige Metro-Karte von Laibach und rechts diejenige von Warschau dargestellt. In der linken Abbildung wurden nur zwei Bereiche länger fixiert, zum einen die Legende und zum anderen ein Bereich, an welchem viele Richtungspfeile an den Haltestellen in verschiedene Richtungen zeigen. Hier taten sich die Versuchspersonen besonders schwer, die Pfeile richtig zu deuten und den Verkehrslinien zu folgen. Ein ähnliches Verhalten ist in der rechten Abbildung 4.18 zu beobachten. Hier befindet sich unter dem lang fixierten Bereich ein Umsteigebahnhof mit Richtungspfeilen. Bei den zugehörigen farbigen Metro-Karten ist dasselbe Muster der Heatmap zu erkennen. In diesem Kapitel wurde beispielhaft auf einige ausgewählte Heatmaps eingegangen. Die weiteren Heatmaps von farbigen und graustufigen Metro-Karten können im Anhang A verglichen werden.

4.5.2. Auffälligkeiten der einzelnen Metro-Karten

In den einzelnen Metro-Karten erkannten die Versuchspersonen die Kontextinformationen, etwa Flüsse, Seen, Flughafen, Zoos und Parks, immer gut. Einige wünschen sich mehr solche Zusatzinformationen über Sehenswürdigkeiten der Städte. Dabei eignen sich Icons besser für die bildliche Darstellung der Informationen als fotografische Bilder. Das Flughafen-Icon der Metro-Karte von Moskau ist zum Beispiel deutlicher zu erkennen als das Foto eines Flugzeugs in der Metro-Karte von Hamburg (vergleiche Abbildung 4.19). Alle Versuchspersonen hatten außerdem Probleme beim Lesen der Metro-Karten, die mit Richtungspfeilen versehen sind.



Abbildung 4.19.: *Flughafensymbole: links ein Flughafen-Icon aus der Metro-Karte von Moskau und rechts die fotografische Darstellung eines Flugzeugs aus der Metro-Karte von Hamburg. Das Flughafen-Icon wird besser wahrgenommen als die fotografische Darstellung.*

Bei der Bearbeitung der Metro-Karten ist weiterhin aufgefallen, dass im Vergleich zum bestehenden Streckennetz viele Haltestellen im Außenbereich unterschlagen wurden. Diese Vereinfachung verwirrt die Reisenden. In Abbildung 4.20 ist rechts ein Ausschnitt der originalen Metro-Karte von Paris im direkten Vergleich zur verwendeten Metro-Karte im Style45 zu sehen. Wie an der Linie 9 mit Endstation ‚Pont de Sèvres‘ und 10 mit ‚Boulogne-Pont de Saint-Cloud‘ zu erkennen ist, fehlen einige Stationen und Umsteigebahnhöfe.



Abbildung 4.20.: *Pariser Metro-Karte: Links ist ein Ausschnitt aus der verwendeten Metro-Karte von Paris zu sehen, bei der einige Stationen der Linie 9 und 10 fehlen. Rechts ist zum Vergleich derselbe Ausschnitt aus der originalen Metro-Karte von Paris zu sehen [Par].*

Nachfolgend werden die genannten Auffälligkeiten der einzelnen Metro-Karten genauer aufgelistet.

- Antwerpen (Belgien):
 - In der Legende ist die Erklärung der Begriffe „Drink“ und „Handel“ unklar.
 - Es gibt keine ersichtliche Anbindung an den Flughafen.
- Berlin (Deutschland):
 - Auffällig ist die Ringbahn.
 - Die vertikale Schrift ist sehr schlecht zu lesen.
 - Es ist keine Legende vorhanden (Erklärung A und B).
 - Es ist kein Symbol für die beiden Flughäfen vorhanden. Die Anbindungen sind sehr schwer zu finden.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

- Bordeaux (Frankreich):
 - Kästen A und B können nur wenige Versuchspersonen zuordnen.
 - Die Legende ist nicht vollständig (Pfeil, normale Haltestelle, Umsteigebahnhof).
 - Es ist kein Flughafen ersichtlich.
 - Die Verkehrslinien B (rot) und C (grün) können in Graustufen nicht unterschieden werden. Daher denken die Fahrgäste, dass sie in der Station „Quinconces“ nicht umsteigen müssen, wenn sie von „Pessac Center“ nach „Les Aubiers“ fahren.
- Köln (Deutschland):
 - Der rote Kasten rechts in der Karte ist zu weit entfernt von den zugehörigen Haltestellen.
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Dom und Hauptbahnhof (Hbf) sind gut hervorgehoben.
 - Die Legende fehlt.
 - Der Flughafen ist schlecht ersichtlich, weil kein Symbol vorhanden ist.
- Frankfurt (Deutschland):
 - Die Legende fehlt.
 - Der Hauptbahnhof ist gut ersichtlich.
 - Die Tram-Linie 11 ist nicht vollständig eingezeichnet.
 - Beim Flughafen ist für manche Versuchspersonen unklar, zu welcher Haltestelle er gehört.
 - Es gibt Probleme, die Endstation der Verkehrslinie 6 (Friedberg/Gross Karben) zu definieren.
- Hamburg (Deutschland):
 - Der Flughafen ist gut dargestellt.
 - Die Legende fehlt.
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Der Hauptbahnhof könnte besser hervorgehoben werden.
 - Eine einzige Verkehrslinie ist gestrichelt dargestellt. Ohne Legende weiß niemand, was das zu bedeuten hat.
- Moskau (Russland):
 - Die Flughäfen sind gut ersichtlich.
 - Die Zweisprachigkeit ist gut, wird aber schnell unübersichtlich.

- Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
- Die Fußwege (Männchen) sind gut erklärt.
- Riga (Lettland):
 - Der Fluss hat keinen Namen.
 - Mit den Pfeilen haben viele Versuchspersonen Schwierigkeiten. Dass die Pfeile sich anscheinend gegenseitig aufheben, ergibt für viele keinen Sinn.
 - Es ist kein Flughafen und kein Hauptbahnhof ersichtlich.
 - Es sind zwei Legenden abgebildet. Diese sollten in einer Legende zusammengefasst werden.
- Tokyo (Japan):
 - Es ist kein Hauptbahnhof ersichtlich.
 - Der Flughafen lässt sich nicht eindeutig einer Station zuordnen.
 - Die vertikale Schrift ist schlecht lesbar.
 - Die Legenden sind nicht vollständig.
 - Die Verkehrslinienbezeichnung ist nur in der geteilten Legende ersichtlich.
- Barcelona (Spanien):
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Der Name des Meeres fehlt.
 - Insgesamt ist die Schriftgröße sehr klein.
- Bologna (Italien):
 - Es gibt zwei Legenden, die aber nicht vollständig sind.
 - Es ist kein Flughafen und kein Hauptbahnhof ersichtlich.
 - Die Pfeile verwirren die Versuchspersonen.
 - Die Linienführung ist sehr unübersichtlich.
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Bei den Stationen „Porta Sant’Isaia“ (unten links in der Karte) und „Righi“ (Mitte) ist unklar, ob es sich um Umsteigebahnhöfe oder normale Stationen handelt.
 - Zwischen den Verkehrslinien, welche nebeneinander verlaufen, ist der Kontrast in der graustufigen Metro-Karte sehr gering.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

- Brüssel (Belgien):
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Es ist keine Anbindung an den Flughafen ersichtlich.
 - Die verschiedenen Betriebszeiten der Verkehrslinien sind schwierig zu verstehen.
 - Die drei Legenden sind weit auseinandergezogen.
 - Es werden sehr viele Gelbtöne für die Verkehrslinien verwendet, welche bei den graustufigen Metro-Karten sehr ähnlich aussehen.
- Budapest (Ungarn):
 - Es wird eine sehr kleine Schrift verwendet.
 - Das Flughafensymbol ist zu klein.
 - Der rote Schriftzug ist nicht einfach zu verstehen.
- Düsseldorf (Deutschland):
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Die Endbahnhöfe sind stark an den rechten und linken Rand gepresst.
 - Das Hochformat stört die Versuchspersonen.
 - Der Hauptbahnhof und der Flughafen sind gut ersichtlich.
- Göteborg (Schweden):
 - Die Legende ist nicht vollständig.
 - Eine Verkehrslinie (1) ist ohne erkennbaren Grund in einem anderen Design dargestellt.
 - Es existiert keine ersichtliche Verbindung zum Flughafen.
- Hongkong (Chinesische Metropole):
 - Der Flughafen ist ohne Symbol schlecht zu erkennen.
 - Teilweise werden englische Bezeichnungen in einer chinesischen Karte verwendet.
 - Gut ist, dass alles in arabischen Schriftzeichen geschrieben ist.
- Krakau (Polen):
 - Die Umsteigebahnhöfe mit Kästen und Richtungspfeilen verwirren die Versuchspersonen.
- Laibach (Slowenien):
 - Es ist kein Flughafen ersichtlich.
 - Die Kontrast ist bei den graustufigen Metro-Karten schlecht gewählt.

- Die Legende ist nicht vollständig.
- Die Haltestellen mit Richtungspfeilen sind nicht verständlich.
- Die Endbahnhöfe rechts und links in der Karte sind stark an den Rand gepresst.
- New York (USA):
 - Die Schrift ist zu klein.
 - Die Zahlen an den Haltestellen verwirren die Versuchspersonen.
 - Der Flughafen Newark wird Manhattan zugeordnet.
 - Es existiert kein Symbol für den Flughafen JFK.
 - Die Bezeichnung des Flusses ist zu klein und zu selten platziert. Die Beschriftung des Meeres fehlt gänzlich.
 - Die Orientierungshilfe in Kompassform ist gut gewählt.
- Paris (Italien):
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Die Legende fehlt.
 - Es existiert keine Erläuterung, wofür das Männchen steht.
 - Die Bezeichnung des Flusses fehlt.
 - Es ist kein Flughafen eingezeichnet.
- Pisa (Italien):
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Die Pfeile verwirren sehr.
 - Die beiden Legenden in der Mitte sind schlecht platziert, weil sie intuitiv am Rand gesucht werden.
 - Die Bezeichnung des Flusses fehlt.
 - Das Hochformat stört die Versuchspersonen.
 - Das Flughafensymbol ist ungeeignet.
 - Es werden sehr viele Gelbtöne für die Verkehrslinien verwendet.
- Venedig (Italien):
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Die Anbindung vom Festland nach Venedig ist unklar.
 - Das Meer sollte beschriftet werden, sonst bleibt unklar, was es überhaupt darstellt, vor allem bei den Graustufen.

4. Ergebnisse der Eyetracking-Studie

- Warschau (Polen):
 - Der Kontrast in der graustufigen Metro-Karte ist sehr gering.
 - Das Flughafen-Icon ist gut gewählt.
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Die Parkanlagen sind gut ersichtlich.
 - Bei den Umsteigebahnhöfen mit Pfeilen haben viele Versuchspersonen Probleme, den richtigen Weg zu finden.
 - Die Legende ist nicht vollständig (grauer Kasten?).
 - Der schwarze Kasten rechts unten ist zu weit weg von den Ziffern.
- Zürich (Schweiz):
 - Die Legende ist nicht vollständig.
 - Die vertikale Schrift ist schlecht zu lesen.
 - Der Flughafen hat kein Symbol.
 - Es ist gut, dass die Fähre mit eingezeichnet wurde.
 - Es ist unklar, was der rosane Pfeil darstellt.

Zusammenfassend ist bei den Metro-Karten primär aufgefallen, dass die vertikale Schrift eher schlecht zu lesen ist. Außerdem sollten die Legenden am Rand der Karte platziert und nicht geteilt werden. Legenden sollten immer alle verwendeten Symbole und Bezeichnungen beinhalten. Sehr schlecht ist das Fehlen einer Legende. Positiv bewertet wird das Einbeziehen von Kontextinformationen in eine Metro-Karte, wie zum Beispiel Gewässer und Parkanlagen. Ebenfalls sehr hilfreich ist das Hervorheben von Hauptbahnhöfen und die Verwendung von Icons für Flughäfen. Haltestellen, die nur in einer Richtung befahren werden, sind für Ungeübte oder Außenstehende schlecht zu lesen. Textfelder zur Erweiterung einer Verkehrslinie sind schwer verständlich oder schlecht zuzuordnen. Daher sollten sie direkt an die Verkehrslinie angegliedert werden.

5. Diskussion

Dieses Kapitel diskutiert Schwierigkeiten, die bei der Durchführung der Eyetracking-Studie entstanden sind oder generell ein Problem bei Studien darstellen.

Die Forschungsfragen eins bis drei bezogen sich auf die Farbgebung der Metro-Karten und konnten alle belegt werden. Mit den farbigen Metro-Karten sind die Versuchspersonen schneller, korrekter und benötigen weniger Umsteigemöglichkeiten als bei den graustufigen Metro-Karten. Zudem sind bei den farbigen Metro-Karten die Sakkaden länger und die Fixationen kürzer. Somit ist die richtige Wahl der Farben bei der Gestaltung der Metro-Karten besonders wichtig. Für die Darstellung der Verkehrslinien sind gesättigte Farben vorteilhaft, da diese auf weißem Hintergrund gut sichtbar sind, jedoch sollten sie gut unterscheidbar sein. In dieser Studie wurden farbige Metro-Karten in graustufige Metro-Karten umgewandelt. Dies führte zu dem Problem, dass die Verkehrslinien in ihrem Kontrast zum Teil sehr ähnlich dargestellt wurden. Dieser Vorgang ähnelt dem Drucken der Metro-Karten in Graustufen, wie es viele Nutzer ebenfalls tun. Somit muss der Farbkontrast beim Design von Metro-Karten besonders berücksichtigt werden, damit sich die Lesbarkeit der graustufigen Metro-Karten verbessert.

Bei den Forschungsfragen vier bis sechs ging es vor allem um die Komplexität der Metro-Karten, sie ließen sich nicht vollständig bestätigen. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Bearbeitungsdauer steigt, wenn sich die Komplexität der Metro-Karten erhöht. Auch die Bearbeitungsdauer und Korrektheit zwischen farbigen und graustufigen Metro-Karten erhöht sich nicht, wenn die Komplexität der Metro-Karten zunimmt. Zudem konnte nicht bestätigt werden, dass bei steigender Komplexität die Sakkaden kürzer werden. Lediglich die Fixationen werden bei hoher Komplexität länger. Bei der Durchführung der Studie fiel auf, dass die Einstufung der Kartenkomplexität nicht allein durch die Anzahl der enthaltenen Haltestellen und Verkehrslinien berechnet werden kann. Die Komplexität der Metro-Karten (U_1C_1 , U_2C_1 , U_3C_1 , U_1C_2 usw.) wurde zwar hier mithilfe der Anzahl der benötigten Umstiege (U_1 , U_2 , U_3) und der genannten Kartenkomplexität bestimmt. Es ist jedoch fraglich, ob sich die Kartengesamtkomplexität mit diesen Kriterien überhaupt schlüssig bestimmen lässt. Dafür muss zuerst geklärt werden, was eine Karte komplex macht. Eine Karte wird nämlich nicht nur durch einen großen Umfang komplex, sondern auch durch die Verflochtenheit der Verkehrslinien. Zum Beispiel ist eine Metro-Karte mit wenigen Haltestellen, die sehr verflochten ist, komplexer als eine Metro-Karte mit vielen Haltestellen, die gut strukturiert ist. Daher ist zu bezweifeln, dass die Komplexität der Metro-Karten in dieser Eyetracking-Studie korrekt eingestuft wurde.

Die ähnlichen Herangehensweisen der Versuchspersonen konnte ebenfalls nicht belegt werden, sie hängt vielmehr von verschiedenen Faktoren ab. Einer dieser Faktoren ist zum

5. Diskussion

Beispiel die persönliche Vorliebe der Versuchsperson. Ist die Versuchsperson mit einem beliebigen Weg zufrieden, sucht sie nach keinem alternativen Weg. Es ist auch personenbezogen, ob eine Versuchsperson lieber oft umsteigen möchte und dafür einen kürzeren Weg fährt, oder ob sie nicht umsteigen möchte und lieber einen Umweg fährt und somit keine weiteren Wartezeiten beim Verkehrslinienwechsel hat.

Die Aufgabenstellung der Studie lässt sich nicht zu 100% mit dem Alltag vergleichen. Bei ihrer Durchführung muss berücksichtigt werden, dass kein reelles Szenario vorhanden war. Normalerweise suchen die Fahrgäste einen geeigneten Weg in der Metro-Karte, um schnell ein bestimmtes Ziel zu erreichen. In der Regel sind sie in Eile und wollen den Anschlusszug nicht verpassen. Damit einher geht ein gewisser Stressfaktor, der in dieser Studie nicht berücksichtigt werden konnte. In die Überlegung mit einbeziehen muss man überdies das natürliche Konkurrenzdenken der Versuchspersonen. Von Natur aus wollen Personen, welche mit anderen Gruppen konkurrieren, nicht schlechter abschneiden. Dies führt auch in Studien zu einem gewissen Stressfaktor, der zur Eile drängt. Zum Beispiel zieht die Versuchsperson keinen Nachteil daraus, dass sie bei viermaligen Umsteigen längere Wartezeiten in den Bahnhöfen in Kauf nehmen muss. Diese Parameter werden von Reisenden in einem realen Szenario stärker gewichtet, und daher beanspruchen sie für diese Überlegung mehr Zeit. Derartige Einflüsse beeinflussen die Erstellung und Durchführung dieser und ähnlicher Studien, was immer zu einem etwas verzerrten Ergebnis führt.

In dieser Eyetracking-Studie wurden die Start und Zielhaltestellen hervorgehoben, was im richtigen Leben nicht der Fall ist, günstigstenfalls noch die Haltestelle, an der man sich gerade befindet. Es muss erst die Zielhaltestelle in der Metro-Karte gefunden werden. Somit spielt auch das Labeling der Metro-Karte eine nicht zu vernachlässigende Rolle, was in dieser Studie nicht berücksichtigt werden konnte.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel fasst die zentralen Aspekte dieser Diplomarbeit in komprimierter Form zusammen. Darüber hinaus wird ein Ausblick über weitere Forschungsmöglichkeiten gegeben, welche zur besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit der Metro-Karten führen können.

6.1. Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Durchführung und Auswertung einer Eyetracking-Studie, um das Design von Metro-Karten zu untersuchen. Dafür wurden 24 Metro-Karten von verschiedenen Städten in drei Komplexitätsklassen (klein, mittel, groß) unterteilt und die Start- und Zielhaltestellen so markiert, dass drei verschiedene Schwierigkeitsstufen entstanden sind, mit nullmal, einmal und zweimal Umsteigen. Zudem wurden die Metro-Karten in Graustufen umgewandelt, um die Bedeutung der Farbgebung in Metro-Karten zu analysieren. Die Aufgabe bestand darin, einen geeigneten Weg von der Start- zur Zielhaltestelle zu finden und die Anzahl der benötigten Umstiege mitzuteilen. Obwohl nicht alle Forschungsfragen bestätigt wurden, ließen sich einige Erkenntnisse und Beobachtungen über Metro-Karten gewinnen.

Die statistische Auswertung der Daten zeigt, dass die farbigen Metro-Karten einfacher zu verstehen sind als die graustufigen Metro-Karten. Bearbeitungszeit und Fehlerrate fallen bei den farbigen Metro-Karten geringer aus als bei den graustufigen Metro-Karten. Zudem ist die durchschnittliche Anzahl der benötigten Umstiege bei den graustufigen Metro-Karten höher. Bei den farbigen Metro-Karten wiederum sind die Sakkaden länger und die Fixationen kürzer.

Die Analyse der Augenbewegungsdaten klärte über die Vorgehensweise der Versuchsteilnehmer auf. Im direkten Vergleich der farbigen mit den graustufigen Metro-Karten kam heraus, dass bei den farbigen Metro-Karten die Verkehrslinien mit intensiven Farben bevorzugt werden. Darüber hinaus ist die Suche nach einem Weg in geodätischer Richtung nicht so stark ausgeprägt wie bei den graustufigen Metro-Karten. Bei den farbigen Metro-Karten wird zudem vermehrt nach alternativen Wegverbindungen gesucht. Außerdem werden die Umsteigebahnhöfe nicht so intensiv betrachtet und die Verkehrslinien nicht so genau abgetastet wie bei den graustufigen Metro-Karten, was die statistische Auswertung untermauert.

6.2. Ausblick

Bei der Metro-Karten-Erstellung spielen viele verschiedene Variablen eine Rolle, die verändert werden können und deren genauere Untersuchung lohnenswert ist. Nachfolgend werden ein paar Ideen für weitere Forschungsarbeiten in diesem Bereich vorgestellt.

Im Bereich der farblichen Gestaltung der Metro-Karten könnten die Verkehrslinien gezielter eingefärbt werden, um eine bessere Differenzierung der Verkehrslinien zu erreichen. Die Farben sollten deutlich voneinander unterscheidbar sein, ohne dass ein wilder Farbrausch entsteht. Zudem sollten die Farben in ihrem Kontrast so gewählt werden, dass die Abstufungen der in grau umgewandelten Metro-Karten sich ebenfalls gut unterscheiden lassen. Auch eine Verwendung von schwarz-weißen Metro-Karten ist denkbar, was den Unterschied zur farblichen Gestaltung extremer hervorhebt.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Verkehrslinien, Stationen und Umsteigebahnhöfe kenntlich zu machen. Weitere Studien können verschiedene Design-Elemente genauer untersuchen. Besonders die Darstellung von Stationen, vor allem von Stationen mit Richtungsangaben, bedürfen einer weiteren Untersuchung. Aber auch die Beschriftung der Haltestellen und Kontextinformationen sind sehr bedeutsam für die Lesbarkeit von Metro-Karten und sollten daher präziser analysiert und ausgewertet werden.

Um die persönlichen Vorlieben der Versuchspersonen in einer Studie einzudämmen, sind auch andere Aufgabenstellungen, wie zum Beispiel den kürzesten oder schnellsten Weg zu suchen, denkbar. Dabei werden beispielsweise pro Umstieg 10 Minuten Zeitzuschlag berechnet. Dies kann zu gänzlich anderen Ergebnissen führen.

Im Zuge der Technisierung und der Verwendung von mobilen Geräten wie Smartphone und Tablets werden immer seltener die Metro-Karten in Papierform ausgedruckt. Deshalb sollte auch die Forschung an einer Weiterentwicklung von Metro-Karten arbeiten, beispielsweise könnten Interaktionsmöglichkeiten (Markieren von Verkehrslinien, Hervorheben von Stationen etc.) mit einbezogen werden.

A. Heatmaps zur Open Question

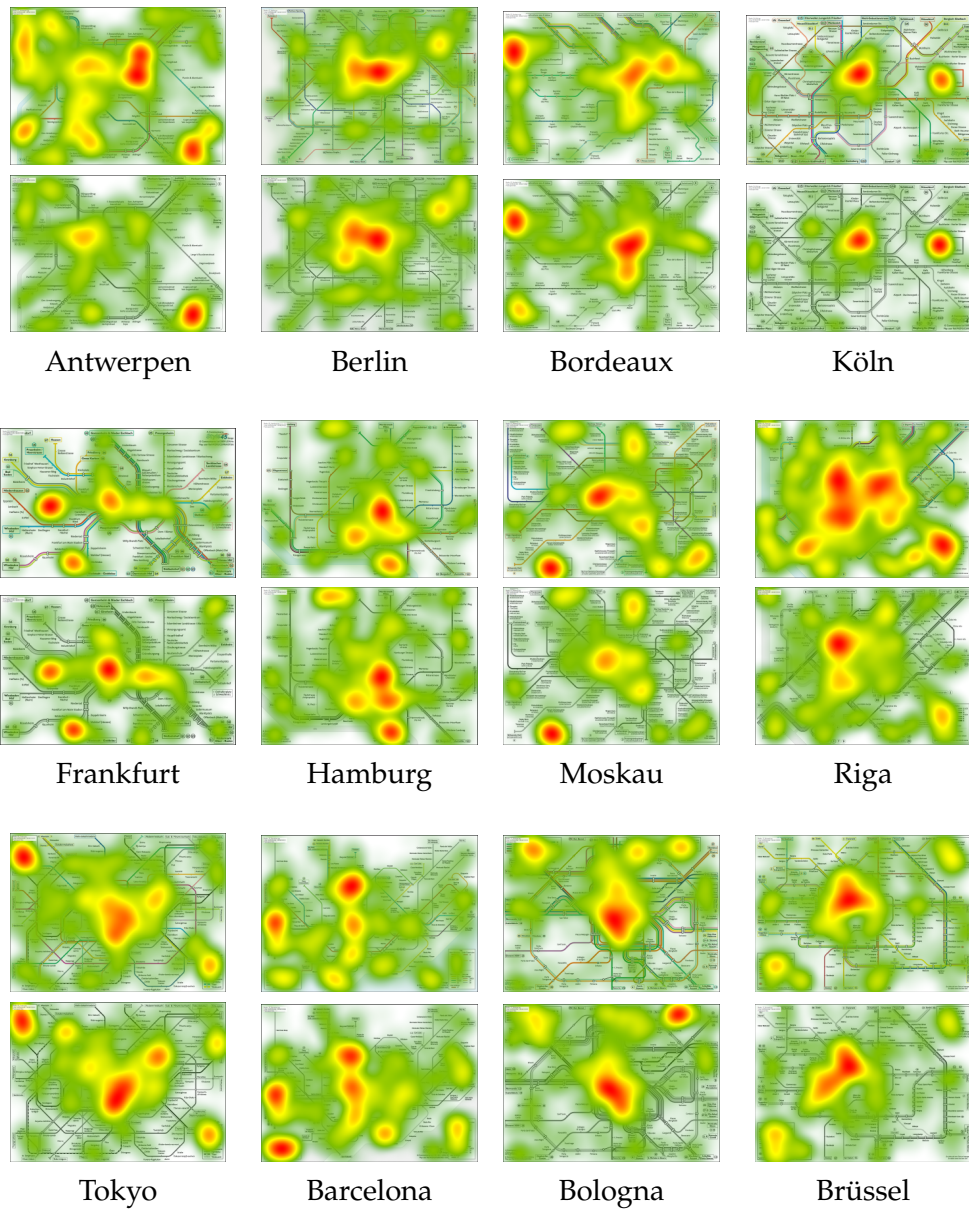


Abbildung A.1.: Heatmaps zur Open Question: Die obere Zeile zeigt die farbigen, und die darunterliegende Zeile die dazugehörigen graustufigen Heatmaps der Metro-Karten.

A. Heatmaps zur Open Question

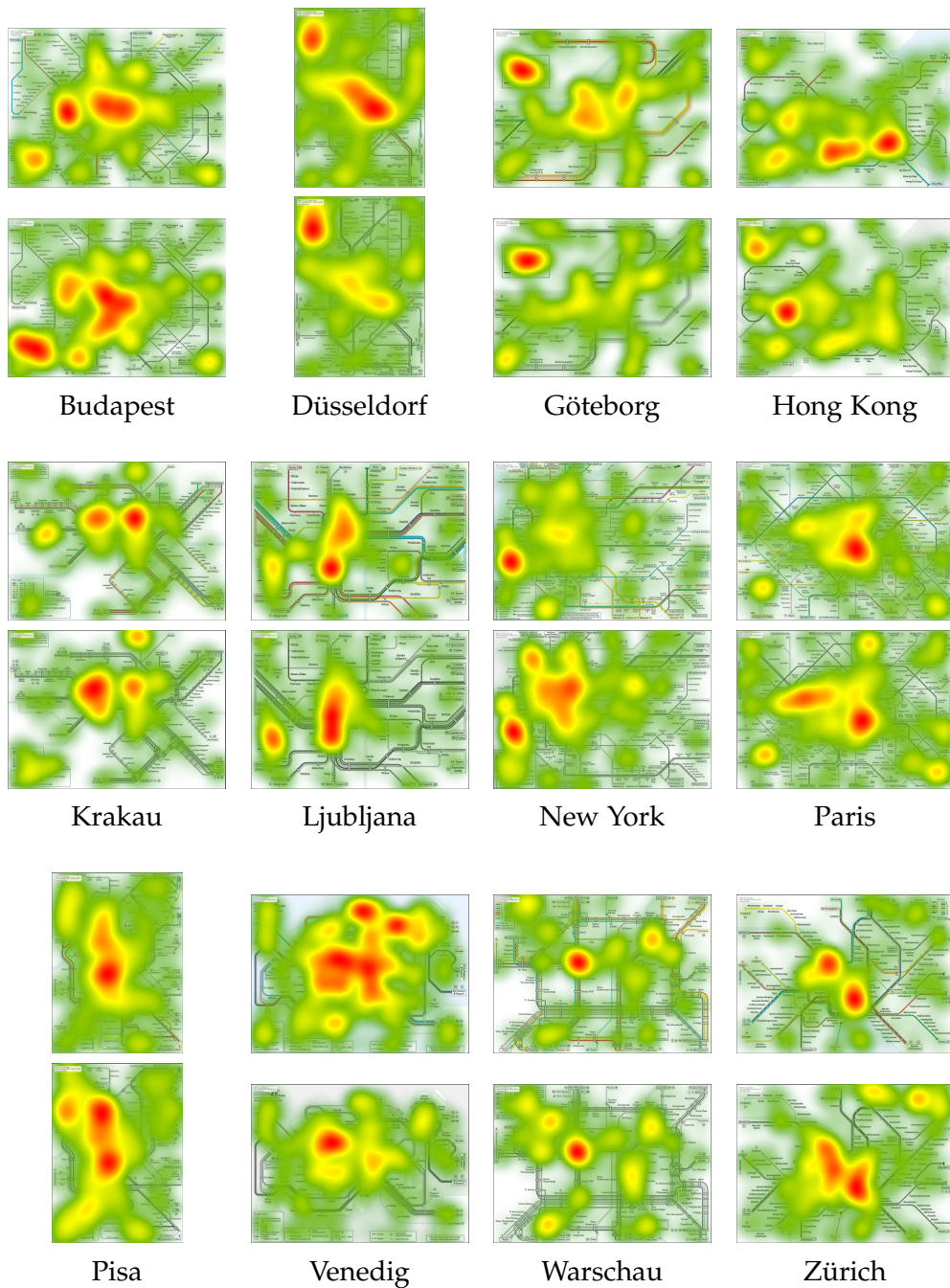


Abbildung A.2.: Heatmaps zur Open Question: Die obere Zeile zeigt die farbigen, und die darunterliegende Zeile die dazugehörigen graustufigen Heatmaps der Metro-Karten.

Literaturverzeichnis

- [AHo6] S. Avelar, L. Hurni. On the design of schematic transport maps. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 41(3):217–228, 2006. (Zitiert auf den Seiten 14, 16 und 17)
- [Allo9] J. Allard. *The Design of Public Transport Maps*. Dissertation, Politecnico di Milano, 2009. (Zitiert auf Seite 26)
- [Alt] B. Altwicker. BA Farb-Rechner. URL <http://www.ba-et.de/werkstatt/rgb2hex.php>. (Zitiert auf Seite 42)
- [ASoo] M. Agrawala, C. Stolte. A Design and Implementation for Effective Computer-Generated Route Maps. In *AAAI Symposium on Smart Graphics*, S. 61–65. 2000. (Zitiert auf Seite 19)
- [Atto7] Attiko Metro A.E., 2007. URL <http://www.ametro.gr>. (Zitiert auf Seite 23)
- [Aveo8] S. Avelar. Visualizing public transport networks: an experiment in Zurich. *Journal of Maps*, 4(1):134–150, 2008. (Zitiert auf den Seiten 14, 16, 18 und 30)
- [Bar80] D. J. Bartram. Comprehending spatial information: The relative efficiency of different methods of presenting information about bus routes. *Journal of Applied Psychology*, 65:103, 1980. (Zitiert auf Seite 8)
- [Bar13] Barcelona home, 2013. URL <http://barcelona-home.com>. (Zitiert auf Seite 23)
- [Ber] Berliner Verkehrsbetriebe. BVG Linien, Netze & Karten. URL <http://www.bvg.de>. (Zitiert auf Seite 17)
- [Beroo] F. Bertault. A force-directed algorithm that preserves edge-crossing properties. *Information Processing Letters*, 74:7 – 13, 2000. (Zitiert auf Seite 29)
- [Cer] J. Cerovic. URL <http://www.jugcerovic.com/>. (Zitiert auf Seite 13)
- [CMM⁺07] A. Cain, W. Morris, M. Mistretta, W. Teague, P. Clark. Developing a Printed Transit Information Material Design Manual. Technischer Bericht, Center for Urban Transportation Research, University of South Florida, 2007. (Zitiert auf Seite 21)
- [Cot] P. Cote. Elements of Cartographic Style. Harvard University Graduate School of Design. URL <http://www.gsd.harvard.edu/gis/manual/style/>. (Zitiert auf Seite 18)

- [Das13] Das Wirtschaftslexikon. Experimentelle Forschung, 2013. URL http://www.daswirtschaftslexikon.com/d/experimentelle_forschung/experimentelle_forschung.htm. (Zitiert auf Seite 39)
- [Den85] B. D. Dent. *Principles of thematic map design*. Addison-Wesley Reading, MA, 1985. (Zitiert auf den Seiten 20, 23, 25 und 26)
- [Den00] D. Denmark. *Best Practise Manual for the Publication and Display of Public Transport Information*. NSW Ageing and Disability Department, 2000. (Zitiert auf den Seiten 18 und 25)
- [Gar94] K. Garland. *Mr Beck's Underground Map*. Capital Transport, 1994. (Zitiert auf den Seiten 10, 11 und 12)
- [GASPo8] F. Grabler, M. Agrawala, R. W. Sumner, M. Pauly. Automatic Generation of Tourist Maps. *ACM Transactions on Graphics*, 2008. (Zitiert auf Seite 19)
- [GE06] E. D. Guestrin, E. Eizenman. General theory of remote gaze estimation using the pupil center and corneal reflections. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 53:1124 – 1133, 2006. (Zitiert auf Seite 36)
- [Ham] Hamburger Verkehrsverbund GmbH. HVV: U/S/A/R-Plan. URL <http://www.hvv.de/streckennetz/usar-plan/>. (Zitiert auf Seite 23)
- [HIWF] D. Holten, P. Isenberg, J. J. van Wijk, J.-D. Fekete. An extended evaluation of the readability of tapered, animated, and textured directed-edge representations in node-link graphs. In *Pacific Visualization Symposium (PacificVis), 2011 IEEE*, S. 195–202. (Zitiert auf Seite 21)
- [HMNo6] S.-H. Hong, D. Merrick, H. A. do Nascimento. Automatic visualisation of metro maps. *Journal of Visual Languages & Computing*, 17:203–224, 2006. (Zitiert auf den Seiten 27 und 29)
- [Ins] Institut für Geschichtliche Landeskunde an der Universität Mainz e.V. RegionalGeschichte.net: Tabula Peutingeriana. URL <http://www.regionalgeschichte.net/bibliothek/glossar/alphabet/t/tabula-peutingeriana.html>. (Zitiert auf Seite 9)
- [Jil] S. Jilek. Der Römische Limes in Österreich. URL www.limes-oesterreich.at/html/history_2.php. (Zitiert auf Seite 8)
- [JK03] R. J. Jacob, K. S. Karn. Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. *Mind*, 2:4, 2003. (Zitiert auf den Seiten 31, 32 und 33)
- [JRV03] M. Joos, M. Rötting, B. M. Velichkovsky. Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen. In G. Rickheit, T. Herrmann, W. Deutsch, Herausgeber, *Psycholinguistik. Ein Internationales Handbuch*, S. 142–168. Walter de Gruyter, 2003. (Zitiert auf Seite 33)

- [LCF11] P. Luegi, A. Costa, I. Faria. Using eye-tracking to detect reading difficulties. *Journal of Eye tracking, Visual Cognition and Emotion*, 1, 2011. (Zitiert auf Seite 31)
- [Los] Los Angeles 12 minute map. URL http://www.dancohousing.com/downloads/maps_info/trans_12_min_map.pdf. (Zitiert auf Seite 25)
- [Lyn60] K. Lynch. *The image of the city*. MIT press, 1960. (Zitiert auf Seite 19)
- [Mad] Plataforma Urbana. URL http://www.plataformaurbana.cl/wp-content/uploads/2010/08/1282073117_metro_madrid_map_2007.gif. (Zitiert auf Seite 23)
- [Mas14] Massachusetts Bay Transportation Authority, 2014. URL <http://www.mbta.com>. (Zitiert auf Seite 23)
- [Mel] Insanity Works. URL <http://insanityworks.org/randomtangent/2011/5/4/new-melbourne-tram-network-map.html>. (Zitiert auf Seite 14)
- [Mex] Red Del Metro. URL <http://www.ciudadanosenred.org.mx/imagenes/imanoc3297196.jpeg>. (Zitiert auf Seite 23)
- [Mon96] M. Monmonier. *Eins zu einer Million: Die Tricks und Lügen der Kartographen*. Birkhäuser Verlag, 1996. (Zitiert auf den Seiten 8, 20, 21, 22 und 42)
- [Mor96] A. Morrison. Public transport maps in western European cities. *The Cartographic Journal*, 33(2):93–110, 1996. (Zitiert auf den Seiten 14 und 16)
- [Mos] Moscow Metro. URL http://eng1.mosmetro.ru/pages/page_0.php?id_page=4. (Zitiert auf Seite 23)
- [Mue] Academic Dictionaries and Encyclopedias. URL <http://en.academic.ru/pictures/enwiki/86/VerkehrsnetzMuenchen2008.png>. (Zitiert auf Seite 16)
- [MVV14] MVV Münchner Verkehrs- und Tarifverbund. MVV GmbH, 2014. URL <http://www.mvv-muenchen.de/>. (Zitiert auf den Seiten 26 und 27)
- [Nap] Naples Metro Map. URL <http://mapsof.net/map-search?mapsfor=Naples>. (Zitiert auf Seite 23)
- [Nau12] D. Nauth. *Durch die Augen meines Kunden: Praxishandbuch für Usability Tests mit einem Eyetracking System*. Diplomica Verlag, 2012. (Zitiert auf Seite 36)
- [NW06] M. Nöllenburg, A. Wolff. A mixed-integer program for drawing high-quality metro maps. In *Graph Drawing*. 2006. (Zitiert auf den Seiten 27, 29 und 30)
- [Ove05] M. Ovenden. *Metro maps of the world*. Capital Transport, 2nd Auflage, 2005. (Zitiert auf den Seiten 9, 10 und 11)
- [Par] RATP aimer la ville. URL http://www.ratp.fr/informer/pdf/orienter/f_plan.php?fm=pdf&loc=reseaux&nompdf=metro. (Zitiert auf den Seiten 15 und 67)
- [PB05] A. Poole, L. J. Ball. Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects. In C. Ghaoui, Herausgeber, *Encyclopedia of Human Computer Interaction*. IGI Global, 2005. (Zitiert auf Seite 34)

- [Pet74] B. B. Petchenik. A verbal approach to characterizing the look of maps. *The American Cartographer*, 1:63–71, 1974. (Zitiert auf Seite 14)
- [PNA77] R. J. Phillips, L. Noyes, R. Audley. The legibility of type on maps. *Ergonomics*, 20(6):671–682, 1977. (Zitiert auf Seite 25)
- [Raj05] V. Rajamanickam. Infographics seminar handout. Indian Institute of Technology, Bombay, 2005. (Zitiert auf Seite 12)
- [Reg] Regia Autonoma de Transport Bucuresti. URL <http://www.ratb.ro/>. (Zitiert auf Seite 15)
- [Rob80] A. H. Robinson. *The look of maps: An examination of cartographic design*. The University of Wisconsin Press, 1980. (Zitiert auf Seite 25)
- [RRL12] J. T. Ribeiro, R. Rijo, A. Leal. Fast Automatic Schematics for Public Transport Spider Maps. *Procedia Technology*, 5:659 – 669, 2012. (Zitiert auf Seite 16)
- [S-B] S-Bahn Berlin GmbH. URL <http://www.s-bahn-berlin.de/fahrplanundnetz/liniennetz.htm>. (Zitiert auf Seite 25)
- [SMKH09] T. A. Slocum, R. B. McMaster, F. C. Kessler, H. H. Howard. *Thematic Cartography and Geovisualization*. Prentice Hall, 3rd edition Auflage, 2009. (Zitiert auf Seite 22)
- [Spi14] Spiegel Online. Neues Design für U-Bahn-Netze: Chaos bleibt auf der Strecke, 2014. URL <http://www.spiegel.de/reise/staedte/u-bahn-plaene-jug-cerovic-entwuerfe-fuer-berlin-london-new-york-a-964693.html>. (Zitiert auf Seite 13)
- [SR04] J. M. Stott, P. Rodgers. Metro map layout using multicriteria optimization. In *Proc. of International Conference on Information Visualisation*. 2004. (Zitiert auf den Seiten 27 und 29)
- [Stoo8] J. M. Stott. *Automatic Metro Map Layout Using Multicriteria Optimization*. Dissertation, University of Kent, 08. (Zitiert auf Seite 8)
- [Tob08] Tobii Technology. *Eye tracking as a tool in package and shelf testing*. Stockholm, Sweden, 3 Auflage, 2008. (Zitiert auf den Seiten 34, 35 und 36)
- [Tob13] Tobii Technology. Tobii: Wide-screen eye tracking - Tobii T60XL, 2013. URL <http://www.tobii.com/de/eye-tracking-research/global/products/hardware/tobii-t60xl-eye-tracker/>. (Zitiert auf den Seiten 44 und 45)
- [Traa] Transit Maps. URL <http://transitmaps.tumblr.com/image/13966707378>. (Zitiert auf Seite 23)
- [Trab] Transport for London. Design classics: Introducing Harry Beck. URL <http://www.tfl.gov.uk/corporate/projectsandschemes/2443.aspx>. (Zitiert auf Seite 12)
- [Tra14] Transport for London. Buses from Liverpool Street. Transport for London, 2014. URL <http://origin.tfl.gov.uk/gettingaround/maps/buses/pdf/liverpool-street-a4-080214.pdf>. (Zitiert auf Seite 17)

- [Tynoo] J. A. Tyner. *Principles of map design*. Guilford Press, 2000. (Zitiert auf den Seiten 19 und 26)
- [Umr] Metro Karte Santiago. URL <http://i47.tinypic.com/v5c18g.jpg>. (Zitiert auf Seite 25)
- [VVS] VVS Stuttgart. URL <http://www.vvs.de/karten-plaene/liniennetz>. (Zitiert auf den Seiten 7, 23 und 26)
- [Wolo7] A. Wolff. Drawing subway maps: A survey. *Informatik-Forschung und Entwicklung*, 22(1):23-44, 2007. (Zitiert auf den Seiten 8, 25, 27 und 30)
- [Yar67] A. L. Yarbus. *Eye movements and vision*. Plenum press New York, 1967. (Zitiert auf Seite 32)
- [Zieo4] S. Ziemer. *Anwendung der Metro-Map-Metapher auf die Gestaltung von Unternehmensportalen*. Dissertation, Technische Universität München, Universitätsbibliothek, 2004. (Zitiert auf Seite 10)

Alle URLs wurden zuletzt am 20.09.2014 geprüft.

Erklärung

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

Ort, Datum, Unterschrift