

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Bachelorarbeit Nr. 313

**Vergleich von
Transitionsdiagrammen für
Blickbewegungsdaten**

Markus Schweizer

Studiengang: Softwaretechnik

Prüfer/in: Prof. Dr. Thomas Ertl

Betreuer/in: Dipl.-Inf. Tanja Blascheck,
Dr. Fabian Beck

Beginn am: 11. April 2016

Beendet am: 11. Oktober 2016

CR-Nummer: H.5.2

Kurzfassung

Zum Auswerten von Eye-Tracking Daten gibt es statistische und visuelle Ansätze. Meist jedoch werden diese Daten visuell dargestellt, um sie so auszuwerten. Je nach Analyseaufgabe wird eine passende Visualisierung benötigt, da die aufgezeichneten Daten so vielfältig sind, dass es keine Visualisierung gibt, welche alle Informationen gleichermaßen gut wiedergeben kann. Sollen die Blickbewegungen zwischen interessanten Regionen, auch Transitionen genannt, zweier Studienteilnehmer oder zweier Aufgabenstellungen verglichen werden, gibt es bisher kaum Darstellungsmöglichkeiten. Auf der Grundlage von bereits vorhandenen Visualisierungen wird eine Visualisierung erstellt, welche auf diese Problematik eingeht. Aufgebaut wird auf bereits existierenden Darstellungen in Form eines radialen Knoten-Kanten-Graphens, um Transitionen und Blickverweildauern zu veranschaulichen. Dies wird durch die Vereinigung zweier Graphen erweitert. Dabei entsteht ein fusionierter Graph, welcher die Unterschiede der Ausgangsgraphen farblich veranschaulicht. Dies soll helfen, typische Muster sowie Ausreißer zu finden. Zusätzlich, wird ein webbasiertes Tool vorgestellt, mit dem es möglich ist, eigene Datensätze interaktiv mit der entwickelten Visualisierung zu betrachten. Geboten wird eine Übersicht aller Ausgangsgraphen sowie ein Gitternetz, in welchem fusionierte Graphen nebeneinander dargestellt werden. Das Ergebnis der Arbeit wird in einer Expertenevaluation auf Nützlichkeit und Benutzerfreundlichkeit getestet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Grundlagen	11
2.1	Eye-Tracking	11
2.2	Graph	13
3	Verwandte Arbeiten	15
3.1	Darstellung von Transitionen aus Eye-Tracking Daten	16
3.2	Vergleich von Graphen	20
4	Interaktive Visualisierung und Tool	23
4.1	Grundansatz der Visualisierung	23
4.2	Die Übersicht	24
4.3	Der radiale Transitionsgraph im Detail	25
4.4	Der fusionierte radiale Transitionsgraph	26
4.5	Vergleich im Grid	28
4.6	Farbauswahl	30
5	Implementierung	33
5.1	Verwendete Programmiersprachen und Bibliotheken	33
5.2	Datensatz	34
5.3	Einlesen der Daten	36
5.4	Filterfunktion	36
5.5	Tutorial	37
5.6	Einstellungsmöglichkeiten	37
6	Fallstudie	39
6.1	Evaluationstools	39
6.2	Durchführung	40
6.3	Ergebnis	40
7	Zusammenfassung und Ausblick	45
A	Anhang	49
A.1	Fragebogen Fallstudie	49
	Literaturverzeichnis	53

Abbildungsverzeichnis

2.1	<i>Gaze-Points</i> , Fixationen und Sakkaden	12
2.2	Unterschied Sakkade und Transition	13
2.3	Darstellung der Unterscheidung von gewichteten und gerichteten Graphen	14
3.1	<i>Heat Map</i> und <i>Gaze Plot</i>	15
3.2	<i>Transition Network</i>	17
3.3	Radiales Layout	18
3.4	<i>Circular Heat Map Transition Diagram</i>	19
3.5	Vergleichskategorien	20
3.6	Beispiel für eine mögliche Anwendung von einer expliziten Codierung	21
3.7	Beispiel eines <i>Difference Graph Views</i> mit Farbkodierung	22
4.1	Übersicht aller Transitionsgraphen und der Inspektionsfläche	24
4.2	Legende	24
4.3	Textuelle Information unter jedem Transitionsgraph	25
4.4	Der Transitionsgraph im Detail	26
4.5	<i>Drag and Drop</i> zum Erzeugen eines fusionierten Transitionsgraphens	27
4.6	Der fusionierte Transitionsgraph im Detail	28
4.7	Übersicht über das Grid	29
4.8	Aufrufen des Grids (mit Auswahlmöglichkeiten)	29
5.1	Datei Auswahlfläche	36
5.2	Filterfunktion	36
5.3	Einstellungsmöglichkeiten	37
5.4	Individualisierte Einstellungen	38
6.1	Auffälligkeiten in Bezug auf den genommenen Lösungsweg beim Aufsuchen von Umsteigemöglichkeiten.	41
6.2	Der Vergleich zweier Transitionsgraphen zum Überprüfen einer Hypothese	42

1 Einleitung

Mit Hilfe von Eye-Tracking ist es inzwischen möglich, bei Studien neben Werten wie der Absolvierungsdauer, Fehlerrate und Analyse des Protokolls zusätzlich auch Informationen über räumlich-zeitliche Daten zu bekommen. Dies ist vor allem dann interessant, wenn eine Benutzeroberfläche überarbeitet oder verschiedene Designs und Anordnungen verglichen werden sollen, da es einen Einblick in das Suchverhalten der Probanden gibt. Da auch die benötigte Hardware, welche für Eye-Tracking benutzt wird, immer günstiger zu haben ist, wird Eye-Tracking immer mehr ein beliebter aber auch wichtiger Bestandteil von Studien. Besonders gute Ergebnisse können beispielsweise erzielt werden, wenn es etwa um das Design einer Benutzeroberfläche geht. Um die gesammelten Eye-Tracking Daten auswerten zu können und durch gezielte Analyse sinnvolle Schlüsse daraus zu ziehen, ist es notwendig, diese entsprechend der Fragestellung visuell zu veranschaulichen. Gerade auf dem Gebiet der Visualisierung von Eye-Tracking Daten ist es schwer, eine Visualisierung zu finden, welche möglichst alle Informationen darstellt, ohne dabei das Problem von überlappenden Elementen zu haben. Daher sind die Visualisierungen meist der Fragestellung angepasst und in ihrer Aussagekraft eingeschränkt. Es werden meistens also mehrere Visualisierungen benötigt, um an möglichst viele Informationen kommen. Insbesondere Visualisierungen zum Vergleich von getätigten Blickbewegungen zweier Probanden oder zweier Aufgabenstellungen sind bisher kaum zu finden. Daher wird mit dieser Arbeit ein neues Tool sowie eine Visualisierung vorgestellt, welche den Vergleich solcher Blickbewegungen unterstützen und veranschaulichen. Dadurch soll ermöglicht werden, typische Muster sowie Ausreißer zu finden. Auf der Grundlage bereits existierender Arbeiten wurde eine abstrakte Visualisierung erstellt, die ihr Augenmerk auf diesen Vergleich von Blickbewegungen zweier Datensätze legt. Das Tool, welches den Namen *Radial Transition Graph Comparison Tool* (RTGCT) trägt, wurde zusätzlich anhand einer Fallstudie ausgewertet und steht online zur öffentlichen Nutzung zur Verfügung. Sowohl die Webseite, über welche die Visualisierung genutzt werden kann, als auch das Visualisierung selbst wurden während dieser Arbeit von Grund auf entwickelt. Die neue Visualisierung orientiert sich hauptsächlich an der Arbeit von Blascheck et al. [BRE13] und wurde um die Möglichkeit einer Fusion zweier Graphen zu einem Vergleichsgraphen erweitert.

Gliederung

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert:

Kapitel 2 – Grundlagen: In diesem Kapitel werden Begriffe erläutert, welche zum Verständnis dieser Arbeit beitragen können.

Kapitel 3 – Verwandte Arbeiten: Bereits existierende Arbeiten, welche dieser ähnlich sind, werden hier beleuchtet.

Kapitel 4 – Interaktive Visualisierung und Tool: Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der entwickelten Visualisierung und geht näher auf diese sowie das dazugehörige Tool ein.

Kapitel 5 – Implementierung: Hier wird auf weitere Details der Implementierung eingegangen.

Kapitel 6 – Fallstudie: Der Ablauf der Fallstudie sowie die daraus resultierenden Ergebnisse werden in diesem Kapitel dokumentiert.

Kapitel 7 – Zusammenfassung und Ausblick: Fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick über Verbesserungsmöglichkeiten, um die Visualisierung sowie das Tool zu optimieren und erweitern.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die zwei Themenbereiche Eye-Tracking und Graphen sowie damit wichtige zusammenhängende Begriffe erklärt, welche für das Verständnis der kommenden Kapitel eine wichtige Rolle spielen.

2.1 Eye-Tracking

Wie auf der Homepage des Eye-Tracking-Hardware Herstellers Tobii erklärt wird, handelt es sich bei Eye-Tracking um eine Sensorik, welche es einem Gerät ermöglicht, genau zu wissen, wohin eine Person schaut. Dadurch können Aussagen über den Fokus, die Aufmerksamkeit und weitere mentale Zustände eines Probanden getroffen werden. So kann man diese Informationen nutzen, um genauere Einblicke in das Verhalten von Probanden zu bekommen, etwa beim Arbeiten mit Benutzeroberflächen [Tob16]. Durch Eye-Tracking ist es also möglich, den Sehverlauf eines Probanden aufzuzeichnen. Die dabei entstehenden Blickbewegungsdaten können dann sowohl statistisch als auch visuell ausgewertet werden.

Die Inhalte der folgenden Unterkapitel beziehen sich auf den State-of-the-Art Bericht von Blascheck et al. [BKR+14], ausgenommen es wird explizit auf eine andere Quelle verwiesen.

2.1.1 Stimulus

Der Stimulus (Mehrzahl: Stimuli) kann jeglicher visueller Inhalt sein, welcher den Probanden während eines Eye-Tracking-Experiments vorgelegt wird. Unterschieden wird meist zwischen 2D und 3D Stimuli sowie statischen und dynamischen Stimuli. Bei 3D Stimuli kommt die Tiefe hinzu, es handelt sich im Gegensatz zu einem 2D Stimuli also nicht nur etwa um ein vorgelegtes Bild, sondern beispielsweise um das Betrachten eines ganzen Raumes. Im Gegensatz zu einem statischen Stimulus gibt es beim dynamischen Stimulus Bewegung, exemplarisch könnte dies ein Video sein anstatt eines Bildes.

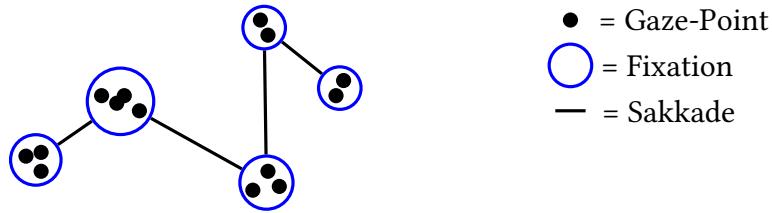


Abbildung 2.1: Überblick über *Gaze-Points*, Fixationen und Sakkaden. Eigene Darstellung in Anlehnung an [BKR+14].

2.1.2 Gaze-Points, Fixationen und Sakkaden

Gaze-Points. *Gaze-Points* sind die aufgezeichneten Rohdaten, welche während einer Aufnahme der Augenbewegungen erfasst werden. Typische Bestandteile dieser Daten sind beispielsweise eine Nutzerkennung, die Position auf dem Stimulus (x- und y-Koordinaten) sowie ein Zeitstempel [HNA+11]. Die Anzahl der aufgezeichneten *Gaze-Points* hängt von der Dauer der Aufzeichnung sowie der Abtastrate des genutzten Eye-Trackers ab. Moderne Eye-Tracker haben Abtastraten zwischen 60 und 120 Hz, jedoch gibt es auch schnellere Modelle mit über 240 Hz. In Abbildung 2.1 sind diese als schwarze Punkte eingezeichnet.

Fixation. Eine Fixation ist die Gruppierung mehrerer Gaze-Points (vgl. Abbildung 2.1). Gruppiert werden diese nach ihrer örtlichen Nähe (kleiner Pixelbereich) sowie einer vorgegebenen Zeitspanne (meist ca. 200-300 ms). Das hat unter anderem damit zu tun, dass das Auge durchgehend zittert, selbst wenn ein bestimmter Punkt bewusst fixiert wird [MMH04].

Sakkade. Eine Sakkade ist eine schnelle Augenbewegung von einer Fixation zur anderen. Im Durchschnitt dauern diese zwischen 30 und 80 Millisekunden. Es handelt sich um eine Zeitspanne, in welcher der Mensch keine visuellen Informationen aufnimmt [HNA+11].

2.1.3 Area of Interest

Eine *Area of Interest* (AOI), manchmal auch *Region of Interest* genannt, definiert eine Region auf dem Stimulus über welche der Forscher genauere Informationen haben möchte – beispielsweise, ob ein Proband dorthin geschaut hat, wo man es erwartet hat. So können AOIs entweder bereits vor der Studie definiert werden (zum Testen einer Hypothese) oder erst im Nachhinein, nachdem die Daten bereits gesammelt worden sind (post-hoc Hypothese) [HNA+11]. Eine AOI bringt verschiedene Metriken mit sich. Holmqvist et al. sprechen in der eben zitierten Arbeit von sechs solcher Metriken, die ersten drei davon sind für diese Arbeit besonders interessant und werden nun genauer beschrieben.

AOI hit. Der *AOI hit* beschreibt eine Fixation, welche in einer beliebigen AOI vorgekommen ist. Zählt man für jede AOI ihre *hits*, so kann die Anzahl der *hits* aller AOIs verglichen werden.

Dwell. Die *dwell* (dt. Verweilzeit) gibt Auskunft darüber, wie lange eine AOI besucht worden ist. Sie beinhaltet also die Information über die Zeit vom Start eines AOI-Besuches bis zum Ende dieses Besuches.

Transition. Besonders interessant für diese Arbeit sind die Transitionen. Eine Transition beschreibt den Übergang von einer AOI zur anderen. So ist eine Transition ein Übergang bzw. eine Sakkade von AOI A zu AOI B, jedoch werden Sakkaden zwischen Fixationen innerhalb einer AOI nicht als Transition angesehen, es sei denn, nach diesen wird explizit gefragt (vgl. Abbildung 2.2).

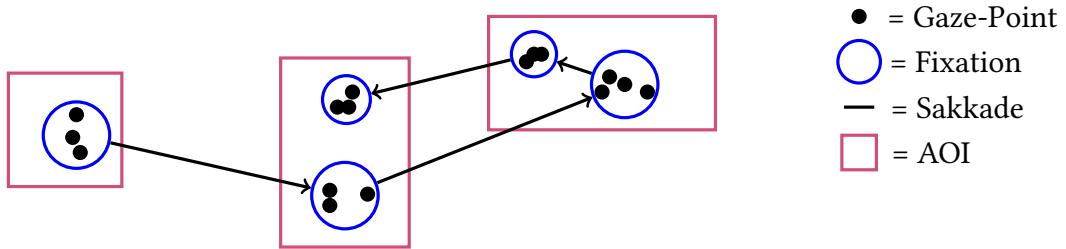


Abbildung 2.2: Sakkaden, welche von einer AOI zu einer anderen AOI gehen, werden auch Transition genannt. In dieser Darstellung sind vier Sakkaden zu sehen, drei davon sind Transitionen. Fixationen innerhalb einer AOI sind *AOI hits*. Eigene Darstellung in Anlehnung an [BKR+14].

2.2 Graph

Diestel definiert einen Graphen als ein Paar $G = (V, E)$ disjunkter Mengen mit $E \subseteq [V]^2$. V steht dabei für eine Menge von Knoten (bzw. Eckpunkten, engl. Vertices), E für eine Menge von Kanten (engl. Edges). Abhängig davon, ob V endlich oder unendlich ist, handelt es sich um einen endlichen bzw. unendlichen Graphen.

Gezeichnet wird ein Graph, indem alle Knoten aus V beispielsweise als Kreise gezeichnet werden. Sind zwei Knoten in einem Tupel von E , dann werden deren Kreise durch eine Linie verbunden. Die Knoten werden dabei nach Belieben platziert und die Kanten können ebenfalls beliebig (gerade, krumm, gestrichelt,...) gezeichnet werden, solange sie die entsprechenden Knoten verbinden. Somit ist die Darstellung eines Graphen unabhängig seiner formalen Definition [Die11]. Die Knoten bzw. Kanten können um weitere Eigenschaften erweitert werden. Beispielsweise um Größe, Farbe oder sonstige wichtige Zusatzinformationen [LKS+11].

2.2.1 Gerichteter Graph

Bei einem gerichteten Graphen sind die Tupel in E sortiert, so dass $e = (v_1, v_2)$ eine gerichtete Kante repräsentiert. In der Zeichnung wird diese Kante meist mit einer Pfeilspitze dargestellt, deren Richtung von v_1 zu v_2 zeigt, nicht jedoch von v_2 nach v_1 (vgl. Abbildung 2.3c). Zusätzlich könnte es noch weitere Kanten von v_1 nach v_2 geben – man spricht dann von Mehrfachkanten. Eine Kante von v_1 zu v_1 selbst nennt man Schlinge [Die11].

2.2.2 Kantengewichteter Graph

Bei einem kantengewichteten Graphen, kurz gewichteter Graph, hat jede Kante zusätzlich ein Kantengewicht [Jon05]. Meist werden Mehrfachkanten zu einer Kante zusammengefasst, diese bekommt dann als Kantengewicht die Anzahl der ursprünglichen Kanten. Das Gewicht kann jedoch auch anders zustande kommen, beispielsweise beim Berechnen kürzester Wege; exemplarisch hätte so ein Weg von A nach B über einen Berg ein höheres Gewicht als der Weg von A nach B, welcher durch einen Tunnel führt. Der Wert des Gewichts wird dann neben der Kante gelistet oder graphisch dargestellt, etwa durch die Breite der Kante (vgl. Abbildung 2.3b). Graphen, bei denen die Knoten gewichtet sind, nennt man knotengewichtete Graphen.

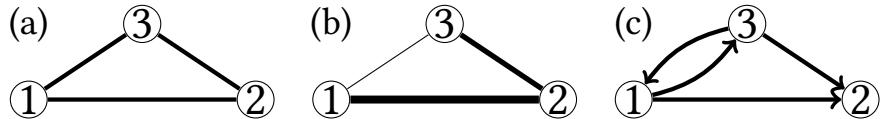


Abbildung 2.3: (a) zeigt einen ungerichteten, ungewichteten Graphen, (b) besitzt verschiedene Kantengewichte und (c) zeigt einen gerichteten Graphen. Eigene Darstellung.

3 Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden zuerst Arbeiten beleuchtet, welche sich mit dem Visualisieren von Eye-Tracking Daten auseinander setzen und dabei inhaltlich verwandt mit dieser Arbeit sind. Explizit wird dabei auf die in diesen Arbeiten verwendeten Visualisierungen eingegangen. Anschließend wird auf den Vergleich von Graphen eingegangen, da dies ebenfalls ein wichtiger Aspekt ist für den Vergleich von Diagrammen, worum es in dieser Arbeit geht.

Im Bereich von Eye-Tracking Visualisierungen gibt es bereits einige Ansätze (vgl. [BKR+14]): Unter den Bekanntesten sind *Heat Maps*, auch *Attention Maps* genannt, und *Gaze Plots* (siehe Abbildung 3.1). Bei einer *Attention Map* wird der Fokus auf die Aufmerksamkeit eines Teilnehmers gelegt: Je länger bzw. öfter dieser etwas im Stimulus betrachtet hat, desto farbintensiver wird diese Region dargestellt. Dies geschieht über eine farbliche Codierung, abhängig von der Beobachtungszeit bzw. Anzahl der Fixationen der jeweiligen Regionen (vgl. [Boj09]). Oftmals geht es dabei von Grün (kurze Beobachtungszeit) über Gelb (mittlere Beobachtungszeit) in Rot oder gar Dunkelrot (lange Beobachtungszeit). Dies hilft zu erkennen, wo der Betrachter mit seinen Blicken lange bzw. kurz verweilt hat. Bei dieser Visualisierung gibt es jedoch keinerlei Informationen über den zeitlichen Blickverlauf eines Teilnehmers. Diese Verläufe sind jedoch bei *Gaze Plots* gut erkennbar. In einem *Gaze Plot* ist jede Fixation durch einen Kreis eingezeichnet, dessen Radius von der dazugehörigen Fixationsdauer abhängt. Aufeinanderfolgend betrachtete Kreise werden mit einer Linie verbunden. Um zu erkennen, in welcher Reihenfolge die Fixationen erfolgten, erhält jeder Kreis eine Nummer (vgl. [MZ05]). Hier kann es jedoch schnell zum Überlappen vieler Elemente kommen. Da *Heat Maps* und *Gaze Plots* sowie weitere Visualisierungen nicht alle aufgezeichneten Informationen gleichermaßen gut wiedergeben können, ist es wichtig, eine Visualisierung zu wählen, die für die jeweilige Analyseaufgabe am passendsten ist (vgl. [KBB+15]).



Abbildung 3.1: Während bei einer *Heat Map* die Aufmerksamkeitsverteilung im Fokus steht, geht es bei einem *Gaze Plot* um den zeitlichen Verlauf. Eigene Darstellungen.

3.1 Darstellung von Transitionen aus Eye-Tracking Daten

Da es in dieser Arbeit um den Vergleich von Transitionsdiagrammen für Blickbewegungsdaten geht, werden nun weitere Visualisierungen vorgestellt, welche den Fokus auf das Veranschaulichen von Transitionen legen. Diese Visualisierungen dienten zur Orientierung für das Design der später in Kapitel 4 vorgestellten Visualisierung.

3.1.1 Transitions-Matrix

Eine Methode, um die Anzahl verschiedener Transitionen zwischen mehreren AOIs zu veranschaulichen, ist die Transitions-Matrix (vgl. Tabelle 3.1). Anwendung fand diese etwa bei Ellis und Stark [ES86], welche sich mit visuellem Scannen beschäftigt haben und die Transitionsfrequenzen der Probanden mit erwarteten Werten verglichen.

Goldberg und Kotval [GK99] haben eine Eye-Tracking Studie durchgeführt, um die Blickverläufe von ‚guten‘ und ‚schlechten‘ Benutzeroberflächen zu vergleichen. Unter anderem nutzen sie dafür ebenfalls eine Transitions-Matrix. „*An unusually dense transition matrix, with most cells filled with at least one transition, indicates extensive search on a display, suggesting poor design. A sparse matrix indicates more efficient and directed search.*“: Eine dicht befüllte Matrix deutet also auf ein heftiges Suchen auf der Oberfläche und somit ein schlechteres Design, wohingegen eine kaum befüllte Transitions-Matrix Hinweise auf ein besseres Design gibt. Ihre Studienergebnisse haben diese Aussage unterstützt.

	AOI1	AOI2	AOI3
AOI1	-	1	3
AOI2	0	-	1
AOI3	4	0	-

Tabelle 3.1: Beispielhafte Transitions-Matrix mit viel Bewegungen zwischen AOI1 und AOI3.
Gelesen wird von links nach rechts. Zu sehen sind viele Bewegungen zwischen AOI1 und AOI3.

Optional kann solch eine Transitions-Matrix noch farblich codiert werden, damit hohe sowie niedrige Werte schneller auffallen, was gerade in größeren Tabellen von Vorteil sein kann.

Eine Transitions-Matrix kann also Informationen über die Sucheffizienz geben. Allerdings fehlen Informationen über AOIs, wie beispielsweise deren Betrachtungsdauer, komplett.

3.1.2 Knoten-Kanten Darstellung

In vielen Arbeiten, Beispiele folgen, wird eine Veranschaulichung genutzt, bei der einzelne Transitionen zwischen zwei AOIs mit demselbem Ursprung und demselbem Ziel zusammengefasst

und mit einem Pfeil dargestellt werden. Dadurch werden viele Transitionen, welche oftmals die Visualisierung unübersichtlich machen (vgl. *Gaze Plots*), auf die wesentlichen Bewegungen abstrahiert. Es handelt sich also um einen gerichteten und gewichteten Graphen.

Itoh et al. [ITS00] nutzen dabei eine Visualisierung mit der Bezeichnung *Transition Networks* (vgl. Abbildung 3.2). Dabei werden die AOIs durch Kreise dargestellt, deren Größe abhängig ihrer Betrachtungsdauer ist. Je länger die AOI betrachtet wurde, desto größer der Kreis. Jeder dieser Kreise kann mit jedem weiteren Kreis verbunden sein. Solch eine Verbindung hat bis zu zwei gerichtete Pfeile, welche dabei die Richtung angeben, in die geschaut wurde. Je breiter der Pfeil, desto mehr Transitionen gab es zwischen diesen AOIs in der entsprechenden Richtung. Die selbe Visualisierung kommt unter anderem ebenfalls in der Arbeit von Opach et al. [OGF13] vor, mit Quadraten anstatt Kreisen und ebenfalls bei Andrienko et al. [AABW12], dort wird jedoch von einer *summary map*, einer Kombination aus einer *flow map* und *attention distribution map* gesprochen, welche direkt über dem Stimulus liegt.

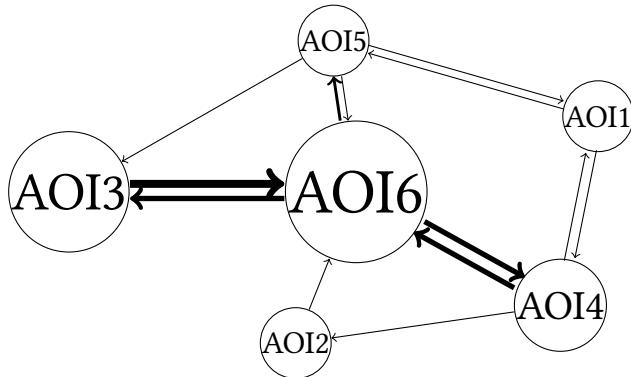


Abbildung 3.2: Eigene Darstellung exemplarisch in Anlehnung an ein *Transition Network*, wie es bei Itoh et al. [ITS00] genutzt wird. In diesem Beispiel sind anhand der breiten Pfeile viele Transitionen zwischen AOI6 und AOI3, sowie AOI6 und AOI4 zu erkennen.

Eine weitere Möglichkeit ist es, anstatt dem Darstellen der Transitionspfeile mit einer variierenden Breite, diese Transitionspfeile mit Zahlen zu beschriften. Entweder wird dies mit dem tatsächlichen Wert der Summe der getätigten Transitionen getan oder mit Prozentangaben. Diese Prozentangaben können entweder lokal sein, so dass die Prozentzahlen aller ausgehenden Transitionspfeile einer AOI summiert 100% ergeben (so genutzt bei Lessing und Linge [LL02]), oder global (genutzt bei Tory et al. [TAK+05]), so dass die Werte aller Transitionspfeile summiert 100% ergeben.

Im Gegensatz zu einer Transitions-Matrix erhält man bei dieser Darstellung auch Informationen über die Betrachtungsdauer einer AOI. Zusätzlich kann diese direkt über dem Stimulus genutzt werden. Allerdings kann es bei der *Transition Network* Darstellung unter Umständen vorkommen, dass kleine AOIs, welche zwischen zwei oder mehr interessanteren AOIs liegen, von breiten Transitionspfeilen überdeckt werden. Daher müsste man die Knoten eventuell neu anordnen, wodurch der Vorteil des Nutzens über dem Stimulus verloren geht.

Entgegen dieser eben vorgestellten Visualisierungen werden die AOIs in der später vorgestellten Visualisierung weder ‚beliebig‘ noch direkt im Stimulus eingeblendet, sondern werden in einer radialen Knoten-Kanten Darstellung repräsentiert.

3.1.3 Radiale Knoten-Kanten Darstellung

Schulz et al. [SSF+11] untersuchten die visuelle Aufmerksamkeit von Narkoseärzten während simulierten kritischen Vorfällen. Dabei unterteilen sie die Umgebung in verschiedene AOIs. Beispiele dafür sind der Kopf des Patienten, die Brust des Patienten sowie der Monitor zum Überwachen des Patienten. Insgesamt gab es 23 solcher AOIs. Diese wurden zum Veranschaulichen der gesammelten Eye-Tracking Daten kreisförmig nebeneinander angeordnet. In dem dabei entstandenen radialen Layout (vgl. Abbildung 3.3) sind zusätzlich Linien zwischen allen AOIs eingezeichnet, bei denen es Transitionen gab – je dunkler eine Linie, desto mehr Blickbewegungen gab es dort. Zusätzlich haben die Knoten jeweils noch eines von drei Symbolen (Kreis/Dreieck/Quadrat), welches Auskunft darüber gibt, zu welcher Aufgabenart eine AOI gehört. Unterschieden wurde dabei zwischen beobachtenden Aufgaben (Kopf des Patienten, Hand der Krankenschwester, Infusion, etc.), manuell durchzuführende Aufgaben (Bewegung im Raum, Anwendung von Medikamenten, etc.) und andere (Telefon, sowie nicht klassifizierte AOIs). Die beobachtenden Aufgaben sind durch den Kreis, die manuell durchzuführenden Aufgaben durch das Dreieck und die anderen Aufgaben durch ein Quadrat symbolisiert. Es handelt sich hierbei um einen ungerichteten, jedoch gewichteten Graphen.

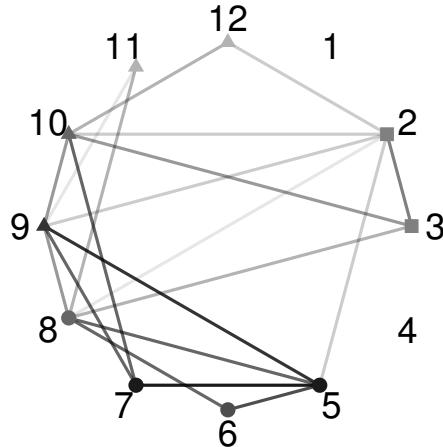


Abbildung 3.3: Eigene Darstellung eines radialen Layouts in Anlehnung an Schulz et al. [SSF+11]. Die AOIs sind dabei kreisförmig angeordnet und die Häufigkeiten der Transitionslien farblich codiert. Die Knoten haben jeweils Symbole, welche Zusatzinformationen über die AOIs liefern.

Die Visualisierung von Schulz et al. verzichtet jedoch auf Informationen über die Betrachtungsdauer einer AOI sowie die Richtungen der Transitionen.

Circular Heat Map Transition Diagram

Blascheck et al. [BRE13] stellen in ihrer Arbeit eine Visualisierung mit drei Varianten vor (vgl. Abbildung 3.4). Der Grundgedanke ist dabei jeweils derselbe: Es geht darum zu erkennen, wie oft AOIs betrachtet worden sind und welche Transitionen zwischen den einzelnen AOIs stattgefunden haben. Das ganze wird mit einem Donut-Chart visualisiert, in welchem die einzelnen AOIs als Ring-Segmente dargestellt werden. Diese Ring-Segmente sind alphabetisch nach ihrem Namen sortiert. Die farbliche Codierung gibt an, wie oft eine AOI betrachtet worden ist. Dabei geht es nicht um die Länge der Betrachtung, sondern um die Anzahl der vorkommenden *AOI hits*. Zwischen den einzelnen AOI-Segmenten gibt es Pfeile, welche die Transitionen zwischen diesen AOIs veranschaulichen – je dicker der Pfeil, desto mehr Transitionen gab es dort. Bei einem Pfeil mit doppelter Pfeilspitze handelt es sich um Transitionen in beide Richtungen.

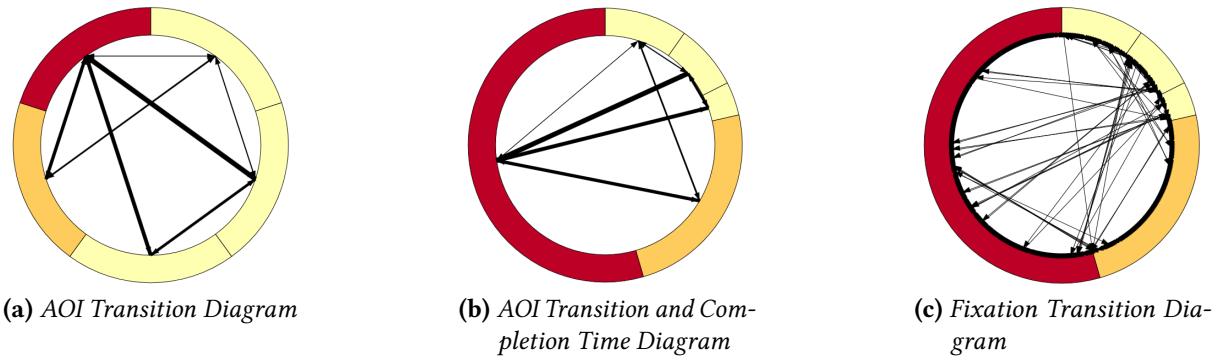


Abbildung 3.4: Zu sehen sind alle drei Versionen eines *Circular Heat Map Transition Diagram* von Blascheck et al. [BRE13]. (a) legt den Fokus rein auf Transitionen, (b) enthält zusätzliche Informationen über die Betrachtungsdauer einer AOI und (c) verzichtet auf das Gruppieren der Transitionen, um den zeitlichen Verlauf zu repräsentieren. Abbildungen bereitgestellt von Tanja Blascheck.

AOI Transition Diagram. Bei diesem Diagramm liegen die Transitionen zwischen AOIs im Vordergrund. Alle Segmente, welche die AOIs repräsentieren, haben dieselbe Größe. Paarweise sind diese Segmente wieder durch Transitionspfeile verbunden (vgl. Abbildung 3.4a). Unterschiede sowie Ähnlichkeiten in den getätigten Transitionen sind durch die gleichen Größen der AOI-Segmente leichter zu erkennen, sobald man mehrere Diagramme nebeneinander legt.

AOI Transition and Completion Time Diagram. In diesem Fall haben die AOI-Segmente nicht dieselbe Länge. Die Länge gibt nun die Fixationsdauern der zu repräsentierenden AOIs an. Je länger eine AOI betrachtet worden ist, desto größer ihr Segment (vgl. Abbildung 3.4b). Dadurch ist es bei einer Nebeneinanderstellung möglich, Unterschiede in den Betrachtungszeiten der einzelnen AOIs zu erkennen.

Fixation Transition Diagram. Dieses Diagramm spiegelt ebenfalls die Betrachtungszeiten der einzelnen AOI wider. Zusätzlich jedoch sind die Transitionen hier nicht aggregiert, sondern alle einzeln eingezeichnet. Dabei gibt die Start- und Endposition einer Transition den zeitlichen Verlauf wieder. Der Beginn ist mit einem kleinen Rechteck markiert. Mit dieser Visualisierung ist es also möglich, den Transitionsverlauf zu verfolgen. Hier kommt es jedoch schnell zum Überlappen mehrerer Elemente (vgl. Abbildung 3.4c).

Diese Arbeit baut insbesondere auf dem *AOI Transition und Completion Time Diagram* der Arbeit von Blascheck et al. auf. Der Vorteil daran ist, dass die Transitionen dort übersichtlich veranschaulicht sind und die Betrachtungszeiten der AOIs nicht verloren gehen. Die später vorgestellte Visualisierung trennt eingehende und ausgehende Kanten in zwei Linien und verzichtet dabei auf Pfeilköpfe. Zusätzlich wird ein Vergleichsgraph vorgestellt, welcher zwei dieser Graphen in einem fusionierten Graphen repräsentiert.

3.2 Vergleich von Graphen

In dieser Arbeit geht es insbesondere um den Vergleich von Transitionsdiagrammen. Daher soll in diesem Unterkapitel auf den Vergleich von Graphen eingegangen werden.

Gleicher et al. [GAW+11] schlagen eine Klassifizierung vor, bei der visuelle Vergleiche in drei Kategorien eingruppiert werden. Diese können untereinander kombiniert werden. Zum einen wäre dies eine Nebeneinanderstellung (*juxtaposition* oder auch *small multiples*), bei der die zu vergleichenden Darstellungen, wie es der Name bereits andeutet, nebeneinander positioniert werden. Außerdem gibt es die Möglichkeit der Überlagerung (*superposition* bzw. *overlay*), bei der eine Darstellung über die andere gelegt wird. Zuletzt gibt es noch eine explizite Codierung (*explicit encoding*, *optional fusion*), bei welcher die Beziehungen zwischen einzelnen Objekten berechnet werden und diese visuell codieren. Abbildung 3.5 veranschaulicht diese drei Kategorien.

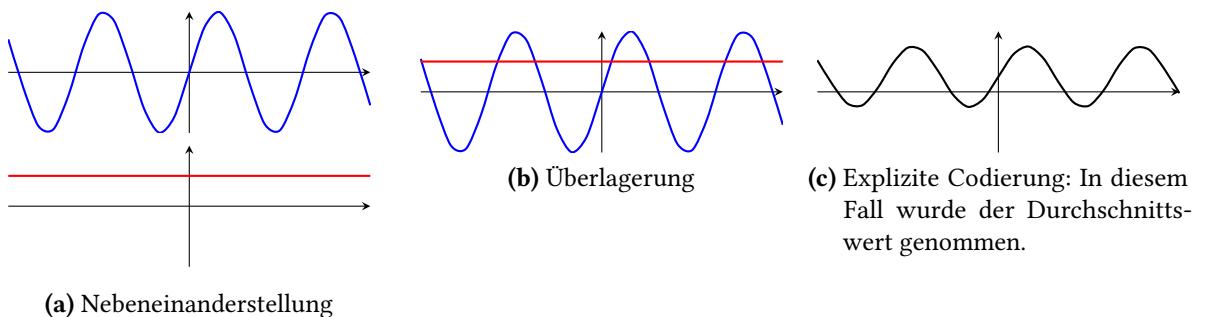


Abbildung 3.5: Zu sehen sind drei Kategorien, in welche Gleicher et al. [GAW+11] visuelle Vergleiche eingruppiert. Blau stellt die Sinusfunktion dar, rot die Gleichung $y=0,5$. Eigene Darstellung.

3.2.1 Vergleich von Transitionsgraphen

Zum speziellen Fall des Vergleichens von Transitionsgraphen gibt es bisher nur wenig Anwendung, obwohl alle drei eben erläuterten Möglichkeiten (Nebeneinanderstellung, Überlagerung und expliziter Codierung) anwendbar sind. Trotz Literaturrecherche wurden keine weiteren Ansätze als der von Andrienko et al. gefunden.

Andrienko et al. machten sich die explizite Codierung zu Nutze. Als Datensätze dienten aufgezeichneten Studiendaten, welche in vier Gruppen eingeteilt wurden. Die Gruppierung erfolgte anhand der Zeit, die die Teilnehmer benötigt haben, um ihre Aufgabe zu lösen. Danach wurden diese Datensätze innerhalb der Gruppen aggregiert und die vier dabei resultierenden Datensätze untereinander verglichen. Beim Vergleich der schnellsten mit der zweit-schnellsten Gruppe etwa wurden die Transitionszähler der schnelleren Gruppe von der langsameren abgezogen. Je nachdem, ob das Ergebnis positiv oder negativ ausfiel, wurden die Transitionspfeile entsprechend farblich codiert. Die Breite der Pfeile entsprach dem absolutem Ergebnis. So war es unter anderem möglich, Unterschiede der Gruppen in der Anzahl an getätigten Blickbewegungen zwischen AOIs zu erkennen.

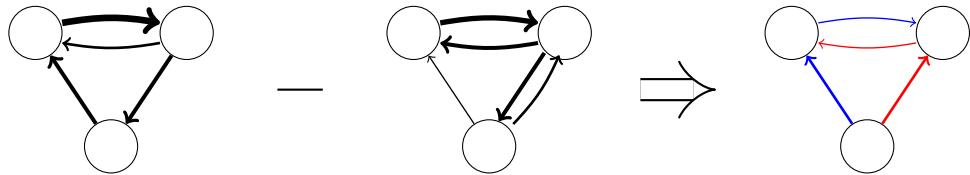


Abbildung 3.6: Beispiel für einen Vergleich auf farblicher Basis bei Anwendung von expliziter Codierung, wie er bei Andrienko et al. [AABW12] angewandt wurde. Blaue Transitionspfeile bedeuten, dass der linke Graph dort mehr Transitionen vorweist als der rechte, et vice versa.

Difference Graph Views

Einen ähnlichen Ansatz nutzen von Landesberger et al. [LBR+16]. In ihrer Arbeit geht es jedoch nicht um Eye-Tracking Daten, die veranschaulicht und verglichen werden, sondern um Bewegungsdaten. Zum einen handelt es sich dabei um Bewegungsdaten von Nutzern der Plattform Twitter im Bereich Groß-London sowie um Daten von Handytelefonaten in Abidjan an der Elfenbeinküste. Die Datensätze, welche über Tage und Wochen gesammelt worden sind, wurden räumlich sowie zeitlich aggregiert. Die aggregierten Daten wurden dann ebenfalls wie in Abbildung 3.2 visualisiert, allerdings mit leicht gebogenen Transitionenlinien. Räumlich zusammengefasste Regionen können mit definierten AOIs, die Bewegungen zwischen dieser mit Blickbewegungen gleichgesetzt werden. Es handelt sich daher um die selbe Thematik wie bei Transitionsgraphen für Eye-Tracking Daten. Durch die zeitlichen Aggregationen sind mehrere dieser Datensätze entstanden, welche dann anhand ähnlicher Muster gruppiert worden sind. Neben vieler Nebeneinanderstellungen dieser gruppierten, visualisierten Datensätze kamen

auch *Difference Graph Views* zum Einsatz. Dort kam es zu einer expliziten Codierung, ähnlich der von Andrienko et al. So kam es zu einer Farbkodierung der Transitionen von Blau über Weiß zu Rot. Zusätzlich bekamen die Knoten unterschiedliche Größen, abhängig davon, wie viele Personen sich dort zur gegebenen Zeit aufgehalten haben. Auch diese Knoten bekamen eine Farbkodierung in ihrer Umrandung, um Größenunterschiede der Ausgangsdatensätze zu verdeutlichen.

Mehrerer solcher explizit codierten Vergleichsgraphen wurden dann nebeneinander gestellt, so dass es zu einer Vermischung von expliziter Codierung und *small multiples* kommt. Auch dieser Ansatz zum Vergleich mehrerer Vergleichsgraphen findet später Verwendung im Tool, welches während dieser Arbeit entwickelt wurde.

Krueger et al. [KSB+16] nutzen in ihrer Arbeit ebenfalls *Difference Graph Views*. Gesammelte Twitter und Flugdaten wurden unter anderem mit solchen *Difference Graph Views* ausgewertet. Auch in dieser Arbeit ging es um das Auswerten von Bewegungsdaten: Denn das Verstehen von Bewegungsmustern könnte helfen, den Verkehr besser zu planen oder auch Katastrophensituationen zu bewältigen. Aggregiert wurden die Daten anhand eines Gitters. Dieses Gitter wurde über eine Kartenansicht gelegt, so dass die Karte unterteilt war in viele kleine Bereiche. Die Größe der Gitterzellen konnte beliebig verändert werden. Es gab dann zwei, teilweise kombinierte, Visualisierungen. Eine der beiden Visualisierungen entsprach einer einfarbigen *Heat Map*, so dass die Zellen unterschiedlich stark farblich codiert waren, abhängig von der dort gesammelten Datenmenge. Für den Twitter Datensatz sowie für die Flugdaten wurde jeweils solch eine *Heat Map* angefertigt. Beim Vereinen dieser beiden *Heat Maps* kam es zu einem Farbverlauf, welcher den jeweils prominenteren Datensatz verdeutlichte (vgl. Abbildung 3.7). Die zweite Visualisierung fasste räumliche Daten innerhalb der Zellen sowie die Bewegungen zwischen den Zellen zusammen: Das Ergebnis war ein gewichteter Graph. Der Vergleich der beiden Datensätze mit der Knoten-Kanten Darstellung war dann ebenfalls durch explizites Codieren farblich codiert wie in Abbildung 3.6. Genutzt wurden zum Vergleich jeweils die Farben Rot und Blau. Dieser Kontrast wird in der später vorgestellten Vergleichs-Visualisierung ebenfalls verwendet.

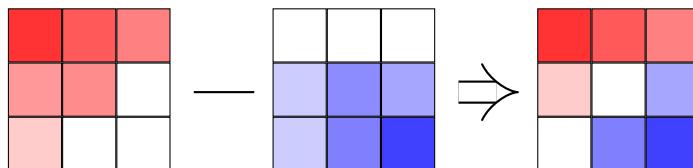


Abbildung 3.7: Eigene Darstellung in Anlehnung an eine Gitternetz-*Heat Map*, wie sie bei Krueger et al. [KSB+16] verwendet wird. Auch hier kommen *Difference Graph Views* mit einer farblichen Codierung zum Einsatz.

4 Interaktive Visualisierung und Tool

Im vorhergegangen Kapitel wurde insbesondere auf Transitionsgraphen eingegangen. Diese Arbeit hat sich damit beschäftigt ein Tool zu entwickeln, welches eine eigene Visualisierung bietet, mit der Transitionsgraphen dargestellt und verglichen werden können. Dieses Kapitel geht auf die Verwendung des Tools ein und erklärt die erstellte Visualisierung im Detail. Das Tool, das den Namen *Radial Transition Graph Comparison Tool* (RTGCT) trägt, bietet dabei eine interaktive Webseite, bei der es möglich ist, eigene Datensätze hochzuladen und diese zu analysieren anhand der neu entwickelten Visualisierung. Diese Visualisierung nennt sich *radialer Transitionsgraph*, kurz *Transitionsgraph*. Eine Kombination zweier Transitionsgraphen veranschaulicht dann die Unterschiede dieser beider Graphen. Der kombinierte Graph nennt sich *fusionierter (radialer) Transitionsgraph*.

Die Reihenfolge der folgenden Unterkapitel ist dabei so angelegt, dass diese Reihenfolge wie eine ‚Schritt für Schritt Anleitung‘ angesehen werden kann. Zunächst einmal wird der Grundansatz der Visualisierung erläutert, woraufhin auf das Tool und den Transitionsgraph im Detail eingegangen wird. Die Bilder, welche zur Erklärung genutzt werden, veranschaulichen dabei immer den selben, fiktiven Datensatz.

4.1 Grundansatz der Visualisierung

Bei der während dieser Arbeit entwickelten und auf den nächsten Seiten vorgestellten Visualisierung, welche in der Implementation genutzt wird, wurde sich ebenfalls für ein radiales Layout entschieden, wie es bei Schulz et al. sowie bei Blascheck et al. der Fall ist. Ein Vorteil gegenüber Visualisierungen auf dem Stimulus direkt ist, dass so auch Datensätze von dynamischen Stimuli verglichen werden können, ohne dass dafür umfangreiche Tools genutzt werden müssen. Ein weiterer Vorteil, welcher in der Arbeit von Blascheck et al. genutzt wird, ist die Verwendung eines Donut-Charts. Gerade in der zweiten und dritten Variante des Diagramms, lässt sich anhand der Segmentlänge erkennen, welche AOIs länger betrachtet worden sind als andere. Dieser signifikante Punkt führte dazu, dass auch diese Visualisierung auf einem Donut-Chart aufbaut. Abweichend zu den Visualisierungen beider Arbeiten wurde in dieser Arbeit jedoch entschieden, eingehende und ausgehende Kanten getrennt zu zeichnen, so dass diese unterschieden und einzeln betrachtet werden können. Um möglichst viel Überlappung von Elementen zu vermeiden wird auf Pfeilköpfe verzichtet, mehr dazu später in Abschnitt 4.3.

4.2 Die Übersicht

Sobald ein Datensatz eingelesen worden ist, werden die aggregierten Datensätze jeweils als eigenständige Transitionsgraphen dargestellt. Abbildung 4.1 zeigt eine Übersicht von RTGCT, wie sie direkt nach dem Einlesen eines Datensatzes zu sehen ist. Oben zu sehen ist die Navigationsleiste, direkt darunter werden die aggregierten Datensätze veranschaulicht. In diesem Fall sind dies vier Transitionsgraphen. Rechts daneben (bei kleinen Bildschirmweiten darunter) gibt es eine ‚Inspektionsfläche‘, in der die Graphen größer betrachtet werden können. Exemplarisch wurde hierfür der Transitionsgraph ganz links, welcher Eriks Datensatz veranschaulicht, mit einem Linksklick ausgewählt.

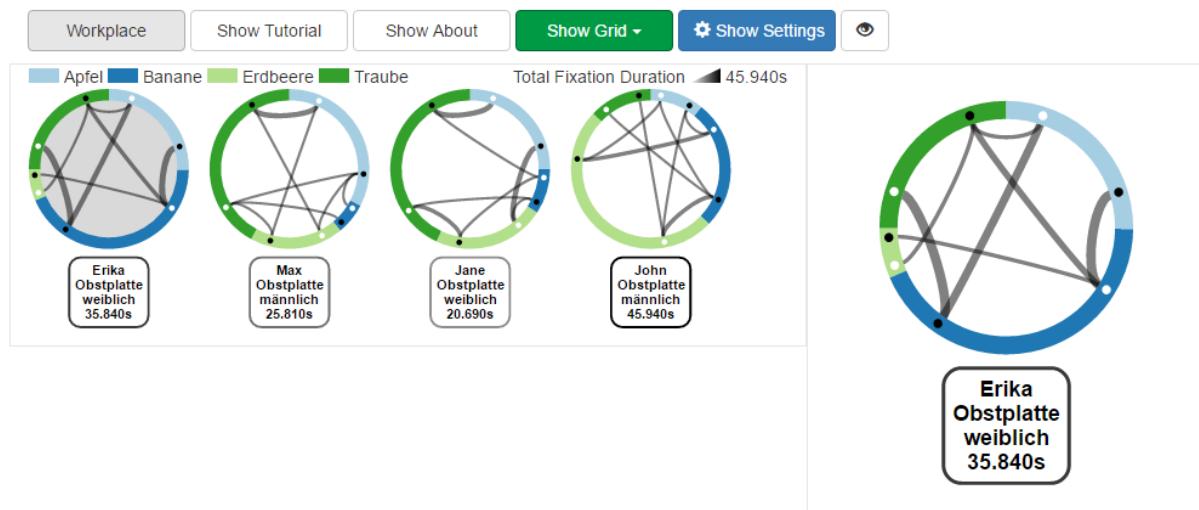


Abbildung 4.1: Zu sehen ist die Übersicht, in der alle Transitionsgraphen nebeneinander dargestellt werden. In Abhängigkeit vom Datensatz und der Bildschirmgröße können dabei mehrere Reihen entstehen. Zur genaueren Inspektion wurde der Graph von Erika ausgewählt.

Zur Übersichtlichkeit werden die Namen der AOIs nicht im Graph selbst, sondern lediglich oben links in der Legende angezeigt (vgl. Abbildung 4.1). Mit Hilfe dieser Legende ist erkennbar, durch welche Segmentfarbe eine AOI repräsentiert wird (vgl. Abbildung 4.2). Zur Farbwahl später mehr unter Abschnitt 4.6.



Abbildung 4.2: Legende

4.3 Der radiale Transitionsgraph im Detail

Wie in Abschnitt 4.1 bereits erwähnt wurde, handelt es sich bei einem radialen Transitionsgraph um ein Donut-Chart. Zusätzlich werden im Transitionsgraph jedoch noch Transitionen veranschaulicht. Unter jedem der Transitionsgraphen wird auf der Übersichtsseite eine Zusatzinformation eingeblendet, welche optional ausgeblendet werden kann. Diese Information hilft, die Datensätze anhand der gegebenen Informationen zu unterscheiden. In diesem Fall haben sich alle Teilnehmer (Erika, Max, Jane und John) den selben Stimulus, die Obstplatte, angeschaut. Die Umrandung dieser textuellen Information gibt Auskunft darüber, wie viel Zeit in diesem Fall der Teilnehmer zum Lösen der Aufgabe gebraucht hat im Vergleich zu den anderen. Je schneller die Aufgabe gelöst wurde im Vergleich zur am längsten gebrauchten Dauer, desto weniger Deckkraft hat der Rahmen (vgl. Abbildung 4.3). Dies ermöglicht einen visuellen Vergleich der gesamt benötigten Zeit zum Absolvieren der Aufgabe. Der Höchstwert ist rechts neben der Legende ablesbar.



Abbildung 4.3: Zu jedem Transitionsgraph gibt es eine textuelle Informationen, um die Graphen anhand der gegebenen Informationen zu unterscheiden. Je dunkler die Umrandung, desto länger wurde zum Lösen der Aufgabe gebraucht.

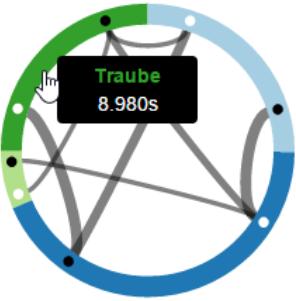
AOI-Segmente

Die einzelnen Ring-Segmente, ab jetzt AOI-Segmente genannt, repräsentieren dabei die Beobachtungsdauer der einzelnen AOIs. Je länger eine AOI angeschaut wurde, im Vergleich zu den anderen, desto größer wird ihr entsprechendes Segment dargestellt. So ist es möglich zu erkennen, auf welchen AOIs der Fokus lag oder ob alle in etwa gleich lang betrachtet worden sind. Fährt man mit dem Mauszeiger über ein solches Element, erhält man genaue Auskunft über die Betrachtungszeit dieser AOI (vgl. Abb. 4.4a).

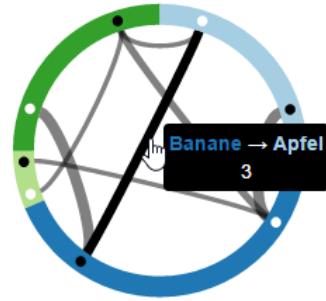
Transitionen

Die Linien innerhalb der AOI-Segmente geben Auskunft über die getätigten Transitionen. Existiert mindestens eine Transition zwischen zwei AOIs, wird dies mit einer Verbindung zwischen diesen veranschaulicht. Da Transitionen in beide Richtungen möglich sind, besitzt jedes AOI-Segment zwei ausgefüllte Kreise: Ein schwarzer Kreis symbolisiert eine ausgehende Kante, ein weißer Kreis eine eingehende. In dieser Arbeit wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Nutzung von Pfeilspitzen verzichtet. Aus Design- und Übersichtsgründen

sind die Transitionslinien etwas zum Mittelpunkt hin gekrümmmt. Je breiter eine Linie, desto mehr Transitionen wurden dort getätigter. Auch hier ist es möglich, mit dem Mauszeiger über eine Transitionslinie zu fahren, um genaue Informationen über die Anzahl der getätigten Transitionen zu erfahren (vgl. Abb. 4.4b).



(a) Mauszeiger über einem AOI Element.



(b) Mauszeiger über einer Transitionslinie.

Abbildung 4.4: Fährt man mit dem Mauszeiger über einzelne Elemente des Graphens, erhält man entsprechende Detailinformationen.

4.4 Der fusionierte radiale Transitionsgraph

Sofern dies in den Einstellungen nicht deaktiviert wurde, ist es möglich, einen beliebigen Transitionsgraphen auszuwählen und per *Drag and Drop* über einem anderen Transitionsgraphen abzulegen. Befindet sich der gezogene Transitionsgraph über einem weiteren, werden beide leicht durchsichtig - lässt man die Maustaste daraufhin los, entsteht aus diesen zwei Transitionsgraphen ein fusionierter Transitionsgraph (vgl. Abbildung 4.5).

Abbildung 4.5b zeigt den fusionierten Transitionsgraph der beiden Graphen von Jane und John. Der Vergleich dieser beiden Graphen wäre interessant, da Jane die schnellste Teilnehmerin beim Lösen der Aufgabe und John der langsamste Teilnehmer war. Da der fusionierte Transitionsgraph mehr Elemente besitzt als ein normaler Transitionsgraph, welcher nur einen Datensatz veranschaulicht, wird dieser nun ebenfalls im Detail erklärt. Bei diesem Graph ist es ebenfalls möglich, mit dem Mauszeiger über entsprechende Element zu fahren, um genauere Informationen über die Betrachtungszeiten von AOIs sowie getätigter Transitionen beider Ausgangsgraphen zu bekommen.

AOI-Segmente

Beim Fusionieren zweier Transitionsgraphen wird die Länge der AOI-Segmente des fusionierten Transitionsgraphen wie folgt berechnet: Beinhaltet nur einer der beiden Ausgangsgraphen Informationen über die Betrachtungsdauer von AOI 1, so entspricht die Länge des Segments,



(a) Sobald ein Graph über einen anderen gezogen wird, kann man sich den entsprechenden fusionierten Transitionsgraph anzeigen lassen.

(b) Der fusionierte Transitionsgraph der Graphen von Jane und John. In diesem Fall wurde der Graph von Jane über den von John gezogen.

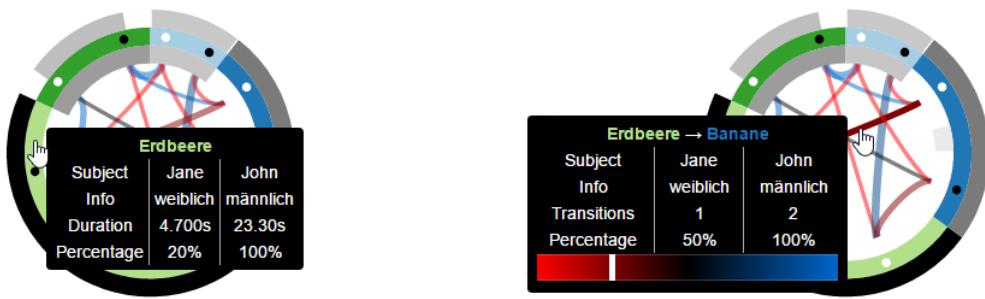
Abbildung 4.5: Veranschaulichung des *Drag and Drop* Vorganges (links) und dem Ergebnis (rechts). Der fusionierte Transitionsgraph wird rechts neben der Übersicht in der Inspektionsfläche angezeigt.

welches die Betrachtungsdauer von AOI 1 veranschaulicht, genau diesem Wert. Beinhaltet beide Ausgangsgraphen die Betrachtungsdauer einer AOI, so wird davon der Maximalwert genommen. Damit man jedoch noch einen Vergleich beider Ausgangsgraphen hat kommen zwei weitere Donut-Ringe hinzu. Diese erweitern den farbigen Ring sowohl von innen als auch von außen. Der Transitionsgraph, welcher gezogen wurde wird durch die inneren Ring-Segmente repräsentiert, der andere, auf den gezogen wurde, durch die äußeren Ring-Segmente. Eines der beiden Ring-Segmente um ein farbiges Ring-Segment entspricht in der Länge immer dem farbigem. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sich das farbige Segment immer am Maximalwert der zwei Ausgangswerte orientiert. Dementsprechend ist das gegenüberliegende Segment prozentual so gekürzt, dass seine Betrachtungszeit in Korrelation zur maximalen Betrachtungszeit dieser AOI beider Ausgangsgraphen steht. Zusätzlich sind diese Segmente farblich noch codiert. Orientiert wird sich dabei an der höchsten Betrachtungszeit (schwarz) und geht in ein hellgrau über – je weniger Betrachtungszeit, desto heller das Segment. In diesem Fall wird die höchste Betrachtungszeit lokal berechnet, es zählt der höchste vorkommende Wert der Betrachtungsdauer einer AOI aus einem der beiden Ausgangsgraphen. Dies spielt später beim Vergleich mehrerer Transitionsgraphen eine wichtige Rolle.

Transitionen

Bei den Transitionenlinien wird ebenfalls wie bei den AOI-Segmenten jeweils der Höchstwert genommen, welcher die Breite der Linie angibt. Die farbliche Codierung der Linien hängt dabei davon ab, welcher der beiden Graphen der gezogene war. Im Falle von Abbildung 4.5b wurde

der Graph von Jane auf John gezogen. Überall dort, wo Jane weniger Transitionen als John getätigt hat, ist die Linie rot. Bei blauen Transitionslinien hat Jane dementsprechend mehr Transitionen getätigt als John. Ist die Anzahl der getätigten Transitionen gleich, ist die Linie schwarz. Zur besseren Unterscheidung zwischen kleinen und großen Unterschieden kommt ein Farbverlauf zum Einsatz, wie es in 4.6b zu sehen ist. Der maximale (lokale) Transitionswert dieser Transition beider Datensätze entspricht dabei 100% Rot bzw. Blau. Entsprechend des zweiten Wertes wird der Farbwert relativ zu den 100% dann berechnet. Durch diesen Farbverlauf lässt sich erkennen, wie stark sich die Anzahl der getätigten Transitionen dort unterscheidet.



(a) Mauszeiger über einem AOI Element.

(b) Mauszeiger über einer Transitionslinie.

Abbildung 4.6: Zu sehen ist jeweils ein fusionierter Transitionsgraph. Fährt man mit dem Mauszeiger über einzelne Elemente des Graphens, erhält man entsprechende Detailinformationen. (a) zeigt die Informationen zu einem AOI-Segment, (b) die Informationen zu einer Transition.

4.5 Vergleich im Grid

Die Inspektionsfläche bietet die Möglichkeit, einen Graph genauer und größer zu betrachten. Möchte der Nutzer jedoch mehrere fusionierte Transitionsgraphen betrachten, hat er die Möglichkeit, dies über das Grid zu tun. Das Grid (siehe Abbildung 4.7a) kann genutzt werden, um mehrere Transitionsgraphen je paarweise zu vergleichen. Nach Auswahl des entsprechenden Buttons und dem dazugehörigen Dropdown-Menü wird ein Gitter erstellt, in welchem links und oben die einzelnen normalen Transitionsgraphen stehen, während im restlichen Gitter die fusionierten Graphen aller möglichen Paarungen angezeigt werden. Die Diagonale, an der jeder Transitionsgraph auf sich selbst treffen würde, bleibt dabei leer. Auch hier ist es möglich, per Klick einen gewünschten Graphen in der Inspektionsfläche genauer zu betrachten.

Bevor man das Grid aufruft hat man die Möglichkeit auszuwählen, ob man alle Transitionsgraphen oder nur einen Teil davon im Grid betrachten möchte. Entscheidet man sich für eine kleinere Auswahl startet ein Modus, bei dem das *Drag and Merge* Feature, welches für die *Drag and Drop* Funktion zum Fusionieren zweier Graphen benötigt wird, automatisch deaktiviert wird. Daraufhin ist es möglich, einzelne Transitionsgraphen auswählen zu können, ohne dass

4.5 Vergleich im Grid

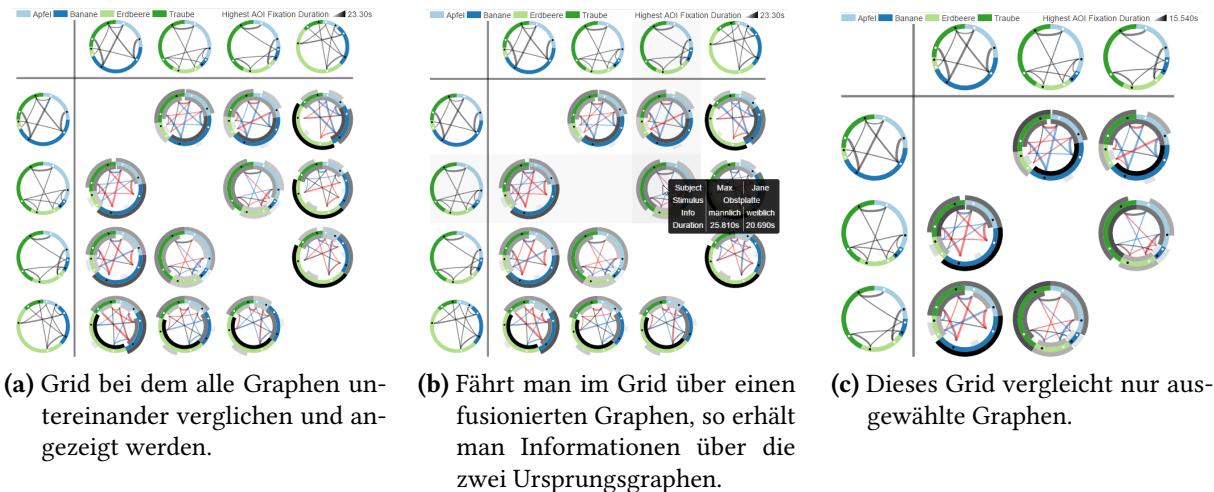


Abbildung 4.7: Übersicht über das Grid. Zusehen ist das Grid mit allen Transitionsgraphen und deren fusionierten Graphen (a) sowie einer Auswahl der Ausgangsgraphen (c). Auch im Grid gibt es Zusatzinformationen beim Überfahren eines Graphen mit der Maus (b).

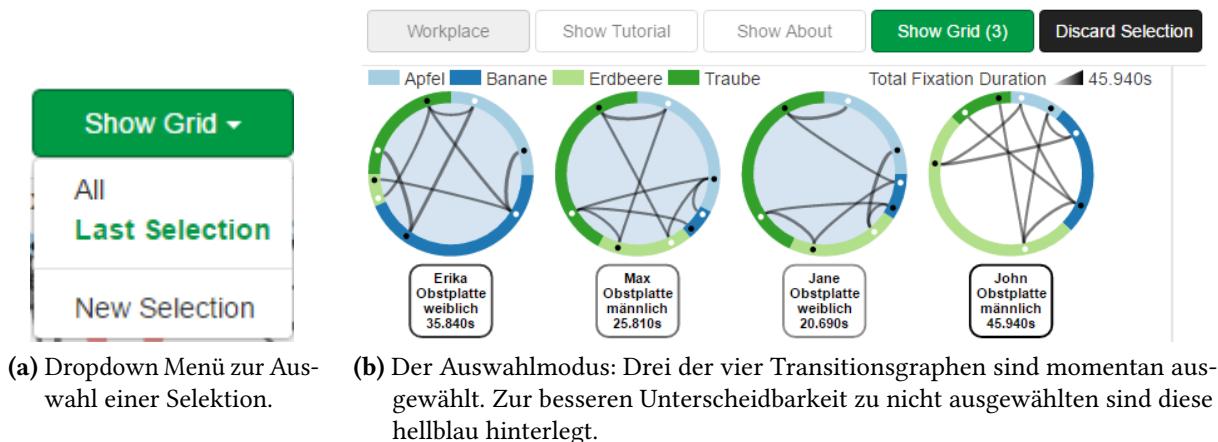


Abbildung 4.8: Es ist möglich, das Grid entweder mit allen oder nur einer Auswahl an Graphen zu betrachten (a). Bei Auswahl aller Kreise startet das Grid direkt, ansonsten gibt es einen Auswahlmodus (b).

dabei ein *drag* ausgelöst wird. Die ausgewählten Transitionsgraphen werden farblich markiert, so dass man sehen kann, welche Graphen in der Auswahl sind. Hat man sich dafür entschieden, solch einen Teil zu betrachten, so steht bei einem zukünftigen erneuten Aufruf des Grids die Möglichkeit zur Verfügung, die zuletzt genutzte Auswahl ohne das Aufrufen des Auswahlmodus, nochmal zu betrachten, so dass ein erneutes Auswählen der Transitionsgraphen erspart bleibt (vgl. Abbildung 4.8a). Die farbliche Codierung der inneren und äußeren Ring-Segmente

orientiert sich im Grid am globalen Maximum. Der höchste Betrachtungswert einer AOI von allen zur Schau gestellten Ausgangsgraphen wird komplett schwarz dargestellt, der Rest orientiert sich an diesem Richtwert und wird entsprechend heller. Dadurch soll ermöglicht werden, Ausreißer schneller wahrzunehmen.

4.6 Farbauswahl

Die einzelnen AOI Segmente eines Transitionsgraphens werden ihrer Sortierung nach gefärbt. Als Farbpalette dient dafür ein qualitatives Farbschema mit 12 Farbtönen von *colorbrewer* [HB03]. Um das ganze etwas freundlicher für Menschen mit einer Rot-Grün-Sehschwäche zu gestalten, wurde in dieser Arbeit entschieden, die Rottöne, welche in der Palette direkt nach den Grüntönen auftauchen, ganz nach hinten zu verschieben, so dass unter den ersten Farbkombinationen kein direktes Aufeinandertreffen von Rot und Grün stattfindet. Für die Transitionen wurden drei verschiedene Farbtöne auf Rotblindheit und Grünblindheit getestet (vgl. Tabelle 4.1). Am deutlichsten zu unterscheiden ist demnach der orangene Farbton. Aus ästhetischen Gründen hat sich der Verfasser standardmäßig für den roten Farbton entschieden, da der Kontrast von blau zu rot oft im Alltag genutzt wird. Allerdings ist es möglich, über die Einstellungen in den *Colorblind Mode* zu wechseln, wodurch der rote Farbverlauf durch den orangenen Farbverlauf ersetzt wird.

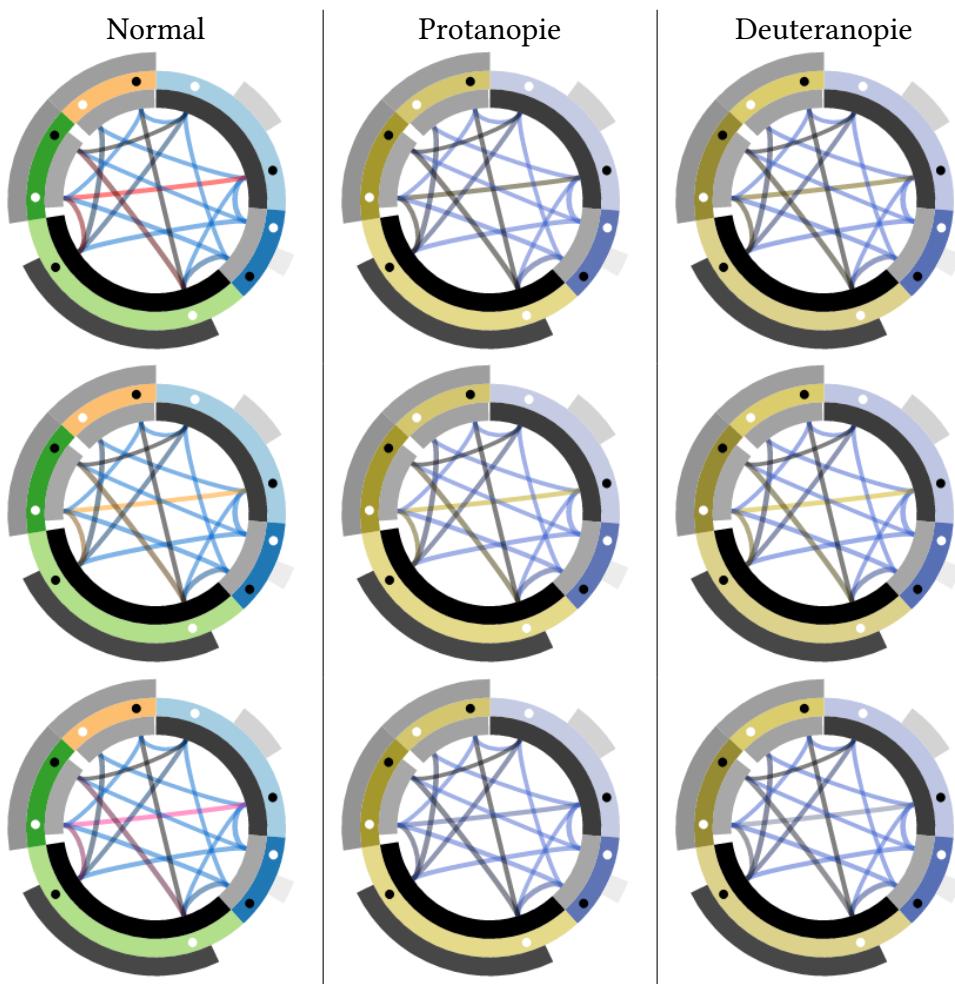


Tabelle 4.1: Vergleich verschiedener Transitionssfarben in Bezug auf Rotblindheit (Protanopie) und Grünblindheit (Deutanopie).

5 Implementierung

In diesem Kapitel wird auf weitere Details der Implementierung eingegangen. Dies beinhaltet zum einen die genutzten Programmiersprachen, Bibliotheken sowie *Frameworks*. Weiterhin geht es auf die genauen Details ein, wie ein Datensatz auszusehen hat mit all seinen optionalen Möglichkeiten. Auch gibt es ein Tutorial, welches kurz beschrieben wird. Am Ende werden dann noch die Einstellungsmöglichkeiten, die der Nutzer von RTGCT hat, genauer beleuchtet.

5.1 Verwendete Programmiersprachen und Bibliotheken

Die Homepage selbst ist im Single-Page-Design gehalten, somit werden jegliche Inhalte direkt beim Seitenaufruf geladen. Entwickelt wurde die Seite und all ihre Funktionen in den Sprachen HTML5, CSS und JavaScript. Dadurch ist es möglich, jegliche Funktionen des Tools ohne Verwendung eines Servers zu nutzen.

Zusätzlich wurden folgende Bibliotheken und *Frameworks* genutzt:

D3.js: Data-Driven Documents (D3¹) erlaubt eine direkte Inspektion und Manipulation von Daten [BOH11]. Diese Bibliothek ist elementar für die Erstellung der Transitionsgraphen mit seinen sämtlichen Interaktions-Möglichkeiten. Im Laufe der Implementierung wurde für eine bessere Wartbarkeit und eventuelle Ausbaumöglichkeiten in Zukunft von Version 3 auf Version 4 umgestiegen. Die neue Version wurde während der Entwicklungsphase von RTGCT zur öffentlichen Verfügung gestellt.

Bootstrap: Dieses *Framework*² bietet Gestaltungsvorlagen von Elementen wie Buttons an und wurde in Version 3 genutzt, um ein möglichst ansprechendes Design der Webseite rund um das Tool zu gewährleisten.

jQuery: Genutzt wurde die JavaScript Bibliothek v2 von jQuery³ für *event handling* von beispielsweise Buttons sowie jQuery UI v1, zur Nutzung von Schieberegbern, wie sie in den Einstellungen vorkommen.

¹<https://d3js.org/>

²<http://getbootstrap.com/>

³<https://jquery.com/>

jQuery UI Touch Punch: Ermöglicht die Nutzung von jQuery UI Elementen durch *touch events*⁴, wie sie bei Touch-Displays zum Einsatz kommen. Dadurch ist RTGCT nahezu komplett auf Smartphones u.ä. nutzbar. Die extra Informationen, welche als *Tooltip* beim Zeigen auf ein Element eingeblendet werden, funktionieren dort jedoch nur in der Inspektionsfläche.

spin.js: Stellt ein einfaches Verfahren bereit, um einen Ladevorgang zu veranschaulichen⁵. Genutzt wird dies beispielsweise beim Einlesen großer Datenmengen.

5.2 Datensatz

Der zu betrachtende Datensatz muss in einer Comma-Separated Values (.csv) Datei vorliegen. Dabei kann der Datensatz entweder per Komma (,) oder per Semikolon (;) getrennt sein. Wichtig ist dabei die erste Zeile der Datei, in welcher die entsprechenden Spaltenbezeichner stehen müssen. Ein Beispiel eines korrekten Datensatzes wird in Listing 5.1 veranschaulicht, zur besseren Übersicht folgt dasselbe Beispiel in Tabelle 5.1.

Listing 5.1 So könnte eine entsprechende .csv Datei aussehen

```
AOIName,FixationDuration,Stimulus,Subject
Gelbes Auto,2300,Automagazin,Proband1
Rotes Auto,1250,Automagazin,Proband1
...
Gelbes Auto,800,Automagazin,Proband1
Schwarzes Auto,1430,Automagazin,Proband2
...
```

AOIName	FixationDuration	Stimulus	Subject
Gelbes Auto	2300	Automagazin	Proband1
Rotes Auto	1250	Automagazin	Proband1
:			
Gelbes Auto	800	Automagazin	Proband1
Schwarzes Auto	1430	Automagazin	Proband2
:			

Tabelle 5.1: Veranschaulichung der Daten aus 5.1 in einer Tabelle

⁴<http://touchpunch.furf.com/>

⁵<http://spin.js.org/>

Es folgt eine Erklärung aller möglichen Spaltenbezeichner der Form:

Spaltenbezeichner: [Info darüber, ob es um numerische oder textuelle Inhalte geht] Hier wird der Spaltenbezeichner erklärt.

In diesen Erklärungen taucht unter anderem der Begriff *Splitpoint* auf: Sollte beim Einlesen einer neuen Zeile der Wert eines solchen Splitpoints mit dem vorher eingelesen nicht übereinstimmen, so wird ab dieser Zeile ein neuer Datensatz aggregiert. Jeder aggregierte Datensatz wird visuell durch einen eigenen Transitionsgraph dargestellt.

AOIName: [Text] Identifiziert die betrachtete AOI. Standardmäßig werden die Segmente hiernach sortiert.

FixationDuration: [Ganzzahl] Gibt an, wie lange die AOI betrachtet wurde (in Millisekunden).

Stimulus: [Text] Identifiziert den genutzten Stimulus und dient als Splitpoint.

Subject: [Text] Identifiziert die Person, zu der dieser Datensatz gehört und ist ebenfalls ein Splitpoint.

AOId: [Ganzzahl] Möchte man eine andere Sortierung der AOIs ist dies hiermit möglich. Es wird aufsteigend sortiert, so dass niedrigere Werte vor höheren gelistet sind.

AdditionalInfo: [Text] Sollte das Teilen der Daten durch ‚Stimulus‘ und ‚Subject‘ nicht genug sein, kann hiermit ein weiterer ‚Split‘ der Daten erzwungen werden. Im Beispieldatensatz aus Kapitel 4 wurde hier das Geschlecht eingetragen.

Die Spalten ‚AOIName‘ sowie ‚FixationDuration‘ müssen angegeben sein, ‚Stimulus‘, ‚Subject‘, ‚AOId‘ und ‚AdditionalInfo‘ dagegen sind optional. Der Nutzer sollte jedoch darauf achten, dass alle Zellen ausgefüllt sind, wenn die entsprechende Spalte vorhanden ist, um ein fehlerfreies Arbeiten zu gewährleisten (vgl. der beiden Listings 5.1 und 5.2). Alle weiteren Spaltenbezeichner werden vom Programm ignoriert.

Ändert sich nur der Wert von ‚AOIName‘ und ggf. von ‚FixationDuration‘ so bleibt man innerhalb des selben aggregierten Datensatzes und der Transitionszähler zwischen diesen beiden AOIs wird um eins erhöht. Kommt die selbe AOI im selben aggregierten Datensatz öfters vor, wird ihre gesamte Betrachtungszeit um den entsprechenden Wert erhöht.

Listing 5.2 Dieser Dateiinhalt ist unvollständig, es fehlen teilweise Angaben über den Stimulus und Teilnehmer.

```
AOIName,FixationDuration,Stimulus,Subject
Gelbes Auto,2300,,Proband1
Rotes Auto,1250,Automagazin,
...
Gelbes Auto,800,,Proband1
Schwarzes Auto,1430,Automagazin,Proband2
...
```

5.3 Einlesen der Daten

Damit der vorhandene Datensatz dargestellt werden kann, muss RTGCT zuerst einmal die Daten einlesen. Dafür müssen die Daten im richtigen Format vorliegen (vgl. Kapitel 5.2). Sobald die Daten entsprechend vorliegen, kann die Datei entweder per *Drag and Drop* in das Tool gezogen oder mit wenigen Klicks über einen Dateiauswahl-Dialog eingelesen werden. Die entsprechende Fläche zum Auswählen der Datei ist auf der Startseite von RTGCT direkt zu sehen (vgl. Abbildung 5.1). Sobald die Datei eingelesen wurde, werden die Daten entsprechend aggregiert. Ist dieser Prozess fertig ist, werden die Transitionsgraphen dargestellt.

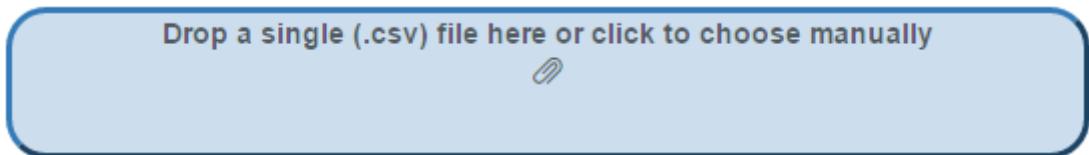


Abbildung 5.1: Mit Hilfe dieser Fläche ist es möglich, einen Datensatz einzulesen, sofern er im richtigen Format vorliegt.

5.4 Filterfunktion

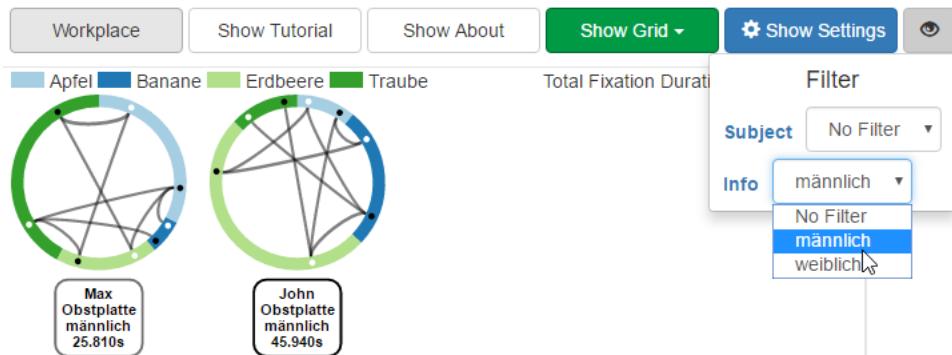


Abbildung 5.2: Gefiltert wurde hier nach dem männlichen Geschlecht, dementsprechend werden die Transitionsgraphen von Erika und Jane ausgeblendet.

Gerade bei großen Datensätzen kann es vorkommen, dass der Nutzer nur einen kleinen Teil aller Graphen betrachten möchte. Denkbar wäre es, dass der Datensatz beispielsweise sechs Nutzer mit je fünf Stimuli beinhaltet. Das ergäbe demnach 30 Transitionsgraphen. Mit der Filterfunktion ist es möglich, daraufhin nur die Transitionsgraphen eines Nutzers oder die Graphen aller Nutzer über demselben Stimulus anzeigen zu lassen. Aufgerufen wird die Filterfunktion über den Button, der ein Augensymbol abbildet. Der Datensatz, welcher in Kapitel 4 durchgehend veranschaulicht wurde, enthält zusätzlich eine Information über das

Geschlecht der Probanden. Nach dieser Information wurde in Abbildung 5.2 gefiltert. Gefiltert werden kann nach ‚Subject‘, ‚Stimulus‘ und ‚AdditionalInfo‘, sofern gegeben.

5.5 Tutorial

Für Nutzer, die mit RTGCT zum ersten Mal arbeiten oder auch bereits erfahrene Nutzer, die noch einmal eine Schritt für Schritt Anleitung durchgehen möchten, steht das Tutorial auf der Webseite zur Verfügung. In wenigen Schritten wird dort auf den Datensatz, das Einlesen der Daten und die einzelnen Graphen im Detail eingegangen. Das Ganze ist interaktiv und animiert – so kann der Nutzer bereits dort über die Graphen fahren, um entsprechende Informationen über AOIs und Transitionen zu bekommen. Ebenfalls wird das *Drag and Merge* Feature animiert in einer Dauerschleife visualisiert.

5.6 Einstellungsmöglichkeiten

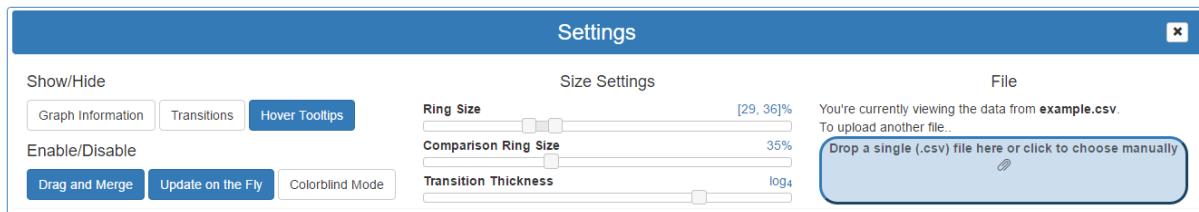


Abbildung 5.3: Der Nutzer hat die Möglichkeit, Einstellungen entsprechend seinen Vorlieben zu treffen.

Per Klick auf den *Show Settings* Knopf oder per Tastendruck der Taste S, erscheint das Einstellungsmenü, wie es in Abbildung 5.3 zu sehen ist. Dabei ist das Menü dreigeteilt. Ganz rechts findet der Nutzer Angaben über die momentan eingelesene Datei und hat jederzeit die Möglichkeit, eine neue Datei einzulesen. Links davon gibt es drei Schieberegler und ganz links einige Knöpfe. Auf deren Bedeutungen wird nun eingegangen.

Nachfolgend werden die Funktionen der Knöpfe beschrieben, sollten diese aktiviert sein. Ein blauer Knopf steht für die aktivierte Funktion, ein weißer Knopf dagegen bedeutet, dass die Funktion deaktiviert wurde. Im oben dargestellten Fall wären drei der sechs Funktionen also deaktiviert. Standardmäßig sind fünf der sechs Funktionen aktiviert: der Modus für Menschen mit einer Farb-Sehschwäche ist beim Starten des Tools deaktiviert.

Graph Information: Blendet die textuellen Zusatzinformationen eines jeden Graphens in der Übersicht ein.

Transitions: Blendet die Transitionenlinien zwischen den AOIs ein.

Hover Tooltips: Fährt man mit dem Mauszeiger über ein Element des Graphens, erhält man weitere Informationen darüber.

Drag and Merge: Ermöglicht das Fusionieren zweier Graphen per *Drag and Drop*.

Update on the Fly: Animationen werden angezeigt. Bei großen Datensätzen kann dies viel Leistung kosten.

Colorblind Mode: Ändert den Farbverlauf der Transitionen, so dass Nutzer mit einer Rot-Grün-Sehschwäche Unterschiede besser erkennen können (vgl. Abschnitt 4.6). Dieser ist standardmäßig deaktiviert.

Nun werden die Schieberegler beschrieben. Abbildung 5.4 zeigt eine individualisierte Einstellung mittels Hilfe der Schieberegler.

Ring Size: Hier gibt es zwei Regler, da ein Donut-Chart durch zwei Radien beschränkt ist. Der linke Regler stellt den inneren Radius ein, der rechte Regler den äußeren.

Comparison Ring Size: Bei einem fusionierten Transitionsgraph kommen noch innere und äußere Ring-Segmente hinzu. Deren Breite wird hiermit geregelt.

Transition Thickness: Logarithmische Funktion zum Verändern der Transitionenlinienbreite. Entschieden wurde sich für eine logarithmische Funktion, anstatt für eine lineare, damit es selbst bei großen Transitionswerten zu keinem Überlappen von Elementen kommt. Konkret sieht die Funktion wie folgt aus: Breite = $\log_L (x - 1 + L)$. L steht dabei für den ausgewählten Wert für die Logarithmusfunktion, x für die Anzahl der Transitionen. Dadurch ist gewährleistet, dass ein Transitionswert von einer getätigten Transition mit der Breite 1 veranschaulicht und alles weiter nach oben logarithmisch gestaucht wird. Der Wert wird am Ende noch mit einem statischen Wert multipliziert, da eine Linie mit der Breite von einem Pixel kaum auffallen würde.

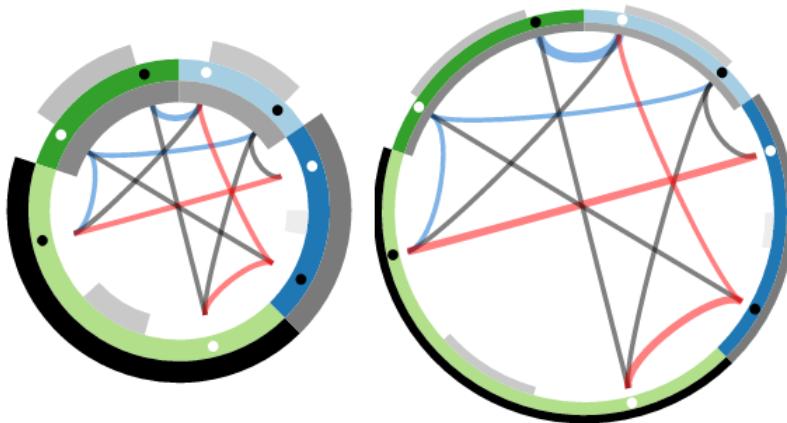


Abbildung 5.4: Rechts zu sehen ist der selbe Graph wie links, jedoch mit verstellten Werten in den Einstellungen. Verändert wurden die Breiten und Räume der Ring-Segmente sowie die Breiten der Transitionen.

6 Fallstudie

Zur Evaluation der Arbeit wurde noch eine Fallstudie zu RTGCT mit zwei Experten aus dem Eye-Tracking Bereich durchgeführt. Die genutzten Datensätze, die Durchführung sowie die gewonnenen Erkenntnisse werden hier vorgestellt.

6.1 Evaluationstools

Die Ergebnisse werden größtenteils zusammengefasst dargelegt, allerdings gab es aufgaben-spezifische Erkenntnisse, so dass die beiden Projekte nun kurz vorgestellt werden. Bei der Studie von Experte 1 ging es um die Leistungen der Probanden und Lesestrategien von Metro-Netzkarten. Die Aufgabe war es, einen Route von der Start- zur Endhaltestelle zu finden und daraufhin anzugeben, wie oft auf diesem Weg umgestiegen werden muss. AOIs waren dabei jeweils die markierte Start und Endhaltestelle sowie wichtige Umsteigepunkte [NOK+16]. Für die Fallstudie wurde der Datensatz von genau einer Karte genommen.

Experte 2 war beteiligt an einer Eye-Tracking Studie über den *VarifocalReader* [BJK+16; KJW+14]. Mit diesem Tool ist es möglich, Texte auf Abstraktionslevel variierender Detailgenauigkeit parallel zu untersuchen. Dabei werden die Abstraktionslevel Kapitel, Unterkapitel, Seite, Paragraph und Text genutzt. Diesen Abstraktionsleveln können *Word Clouds*, Balkendiagramme und Piktogramme hinzugefügt werden. *Word Clouds* geben jeweils einen Überblick über den Inhalt des Textes, so dass eine Analyse von interessanten Themen ermöglicht wird. Durch ein Anklicken eines Wortes aus einer *Word Cloud* wird dieses überall im Text rot hervorgehoben. Ebenfalls kann nach beliebigen Wörtern gesucht werden. Horizontale Balkendiagramme veranschaulichen die Anzahl der gefundenen Treffer sowie die Anzahl von Anmerkungen auf den Abstraktionsleveln. Anmerkungen könnten etwa Zitate und Personen sein. Piktogramme heben die Treffer der Suchen im Text bzw. einer Textvorschau auf höheren Abstraktionsleveln hervor. Jedes dieser Abstraktionslevel wurde als AOI betrachtet, so dass es insgesamt fünf AOIs gab. Eine Aufgabe der Studie war es dann, folgende Frage zu beantworten: „Was ist die höchste Instanz, die in Schillers Wallenstein über die Frage ‚Worumwillen?‘ entscheidet?“

6.2 Durchführung

Der Ablauf der Studie war bei beiden Experten gleich und wurde unabhängig von einander durchgeführt. Während die Experten mit dem Tool RTGCT arbeiteten, füllten sie nebenher einen Fragebogen aus. Zum Erstellen und Nutzen des Fragebogens wurde Google Formulare¹ verwendet. Der komplette Fragebogen befindet sich im Anhang unter Abschnitt A.1.

Beide Experten untersuchten jeweils einen Datensatz, an deren Studie sie maßgeblich mitgearbeitet haben. Sie kannten ihren Datensatz also bereits gut und konnten sich auf die neue Visualisierung, den radialen Transitionsgraphen, einlassen und die Daten aus einer neuen Perspektive betrachten. Der entsprechende Datensatz wurde am Anfang der Studie in das Tool eingelesen. Daraufhin wurde die Übersicht (vgl. Abbildung 4.1) sowie der Transitionsgraph mündlich vom Verfasser dieser Arbeit erklärt. Die Experten bekamen dann die Aufgabe, die Datensätze mit dieser Veranschaulichung zu analysieren. Auf einem weiteren Bildschirm hatten sie die entsprechenden Fragen mit Fragefeldern parat. „Fallen Ihnen mit dieser Darstellung Muster und/oder Unterschiede zwischen den Graphen auf? Falls ja, welche?“. Sobald sie damit fertig waren, wurde das *Drag and Merge* Feature erklärt sowie der fusionierte Transitionsgraph. Daraufhin wurden die Experten erneut gebeten, die Datensätze mit der Erweiterung um den fusionierten Transitionsgraphen zu analysieren und neue Erkenntnisse zu dokumentieren. Anschließend wurde das Grid vorgestellt mit selbiger Aufgabe.

Im Anschluss gab es im Fragebogen ein Freitext-Feld, in welchem über die Vor- und Nachteile zwischen der Übersicht (inkl. dem *Drag and Merge* Feature) sowie dem Grid diskutiert werden sollte. Abschließend gab es weitere Fragen zur Visualisierung, also dem Transitionsgraph an sich, sowie zum Tool als gesamtes:

- Gut/Schlecht finde ich an dieser Visualisierung..
- Empfinden Sie den Transitionsgraph als intuitiv verständlich? Falls nein, was könnte verbessert werden?
- Den Aufbau und das Design des Tools finde ich..
- Gibt es Gründe, weshalb Sie das Tool nicht weiterempfehlen würden? Falls ja, welche?

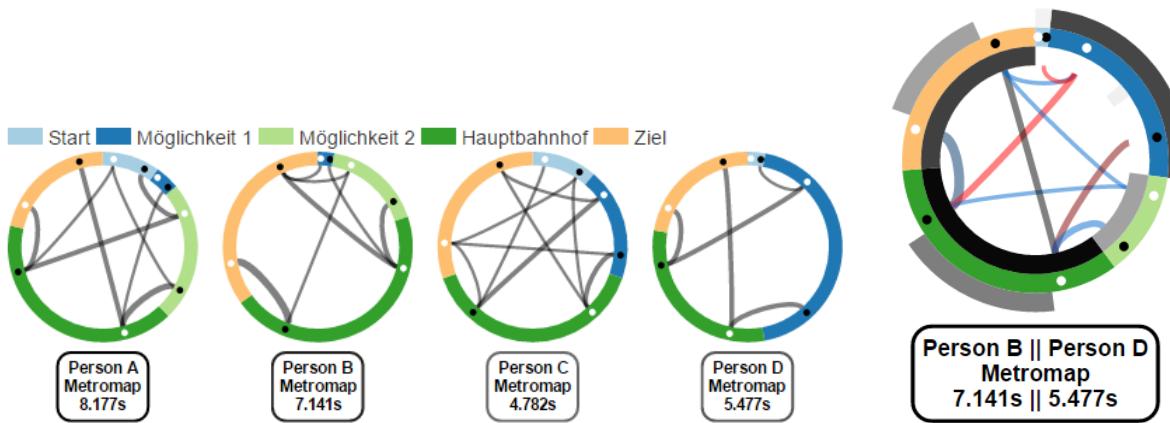
6.3 Ergebnis

Die Antworten der Diskussionsfragen waren größtenteils positiv und werden nachfolgend zusammengefasst repräsentiert. Angesprochene Verbesserungsvorschläge werden hier unkommentiert gelistet und später in Abschnitt 7 unter Ausblick diskutiert.

¹https://www.google.com/intl/de_de/forms/about/

Beide Experten empfanden die Visualisierung und das Tool als optisch ansprechend. Auch das Arbeiten mit den radialen Transitionsgraphen, insbesondere den fusionierten Graphen, ermöglichte den Experten eine gute Einsicht in die Daten. Beide Experten jedoch haben eine kleine Vorlaufzeit von 3-5 Minuten benötigt, um die Visualisierung zu verinnerlichen und sprachen von einer benötigten Trainingseinheit, insbesondere um den fusionierten Graphen zu verstehen. So kam auch der Wunsch auf, die weißen und schwarzen Punkte innerhalb der Ring-Segmente, welche eingehende und ausgehende Kanten symbolisieren, mit in die Legende zu nehmen. Nach einem kurzem Arbeiten mit den Transitionsgraphen war das Verstehen dieser Visualisierung jedoch kein Problem mehr für sie, woraufhin sie begonnen haben, ihre Datensätze genauer zu untersuchen.

Gegen Ende der Studie nutzten die Experten abwechselnd die Übersicht und das Grid. Oftmals suchten sie dabei ähnliche Muster in den Graphen in der Übersicht, welche sie dann im Grid verglichen. Im Grid fielen dann teilweise wieder Ausreißer auf, da diese im Vergleich mit den anderen Transitionsgraphen beispielsweise nur blaue bzw. rote Transitionen hatten. Die Möglichkeit, nur einen Teil aller Graphen für das Grid auszuwählen, wurde positiv kommentiert, da dies eine flexible Analyse gewährleistet.



(a) Zu sehen sind vier Datensätze bei denen die Unterschiede der genommenen Wege schnell klar werden: Die Probanden A und B haben sich mehr auf Möglichkeit 2 (hellgrünes Ring-Segment) fokussiert, die Probanden C und D auf Möglichkeit 1 (dunkelblau). Über den Hauptbahnhof führten beide Wege.

(b) Der fusionierte Transitionsgraph der Probanden B und D. Die unterschiedliche Wegfindung wird hier verdeutlicht: Proband B tätigt mehr Transitionen von und zu Möglichkeit 2, während Proband D Möglichkeit 1 öfters fokussiert hat.

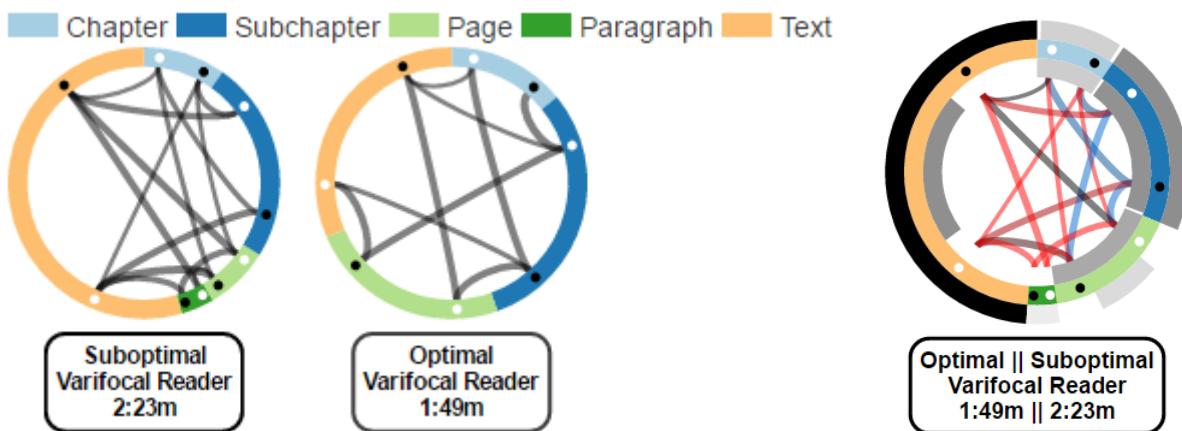
Abbildung 6.1: Beim Vergleich der Datensätzen der Metro-Netzkarten Studie fiel dem Experten schnell auf, für welchen der beiden möglichen Wege sich die Teilnehmer entschieden haben.

Nach dem erstmaligen Nutzen der Übersicht antwortete Experte 1 (Metro-Netzkarten):

„Der Weg[,] den die Teilnehmer genommen haben[,] lässt sich unter Zuhilfenahme der [in der Aufgabe gezeigten Netz-]Karte sehr schnell eingrenzen.“

Dies lässt sich in Abbildung 6.1 anhand der Betrachtungsdauern beider möglichen Wege erkennen. Im Zusammenhang dazu kam jedoch der Wunsch, „dass die erste ausgehende sowie die letzte eingehende Kante markiert werden. Zusätzlich wäre es wünschenswert, den kompletten Verlauf nachvollziehen zu können“. Denn gerade das Nachvollziehen der Reihenfolge des Aufsuchen eines möglichen Weges geht verloren. Experte 2 äußerte sich ähnlich bei der Frage, was er an der Visualisierung nicht gut findet:

„[Die] Reihenfolge geht verloren[,] um [Verlaufs-]Muster zu erkennen. [Eventuell eine] Animation einbauen um [den] Verlauf sichtbar zu machen oder Regler[,] um [die] Zeitspanne einzuschränken.“



(a) Die Nebeneinanderstellung der Datensätze zweier Lösungswege. Der Transitionsgraph rechts zeigt einen laut Hypothese optimalen Lösungsweg.

(b) Der fusionierte Transitionsgraph beider Lösungswege.

Abbildung 6.2: Vergleich zweier Transitionsgraphen zum Überprüfen einer Hypothese. Links zu sehen sind die Ausgangsgraphen, rechts der fusionierte Graph, bei dem der laut Hypothese optimale Transitionsgraph auf den suboptimalen Transitionsgraph gezogen wurde.

Experte 2 (*VarifocalReader*) nutzte die Übersicht insbesondere, um einen Teil der Hypothesen, welche vor der Studie aufgestellt wurde, zu bestätigen. Eine Hypothese war es beispielsweise, dass Nutzer, die länger auf den Text schauen und weniger mit den Abstraktionsleveln von Kapitel, Unterkapitel und Seite arbeiten, länger zum Lösen der Aufgabe brauchen. Dies wurde anhand dieser Ansicht verdeutlicht. Abbildung 6.2 schildert den entsprechenden Fall: Die Aufgabe wurde schneller gelöst durch den Teilnehmer, welcher die nach der Hypothese optimale Lösungsstrategie verwendet hat. Die optimale Lösung betrachtet dabei mehr die höheren Abstraktionslevel. Auch der fusionierte Transitionsgraph, bei dem der optimale Datensatz auf den suboptimalen Datensatz gezogen wurde, unterstützt diese Hypothese: Der optimale Datensatz hat wesentlich weniger Blickbewegungen zwischen den Abstraktionsleveln Text und Paragraph, dafür deutlich mehr zwischen Kapitel, Unterkapitel und Seite. Leider fehlt

dem Experten ein zeitlicher Verlauf. Dadurch konnte er Hypothesen, bei denen es um Muster wie ‚anfangs wird viel zwischen diesen oder jenen AOI hin und her geschaut, später dagegen wechselt dieser Fokus‘ nicht untersuchen.

Neben einer Trainingseinheit und dem zeitlichen Verlauf kam noch der Wunsch auf, einen Schwellenwert im Grid einzubauen. Dieser soll ermöglichen, dass sich die schwarze Codierung der inneren und äußeren Ringsegmente der fusionierten Graphen nicht am global höchsten Betrachtungswert einer AOI orientiert, sondern flexibel einstellbar ist.

Neben viel positivem Feedback kamen in der Fallstudie auch Wünsche und Anregungen zur Verbesserung der Visualisierung. Insbesondere bestand der Wunsch nach einer Trainingseinheit sowie dem Nachvollziehen eines zeitlichen Verlaufs der getätigten Blickbewegungen. Diese und weitere Möglichkeiten, die Visualisierung zu optimieren und die Funktionalität des Tools zu erweitern, werden im nächsten Kapitel besprochen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dieser Arbeit wurde eine neue Visualisierung entwickelt, welche Augenmerk auf den Vergleich von Transitionen zwischen Eye-Tracking Datensätzen legt. Diese Visualisierung kann einzelne Datensätze sowie fusionierte Datensätze veranschaulichen, wobei die Unterschiede der Ausgangsgraphen bei einem fusionierten Graphen hervorgehoben werden. Zusätzlich dazu wurde eine Webseite entwickelt und bereitgestellt, welche eine interaktive Verwendung der Visualisierung mit eigenen Datensätzen erlaubt. Dieses Webseite bietet auch die Möglichkeit, mehrere fusionierte Transitionsgraphen nebeneinander in Form eines Gitters zu betrachten.

Nach einem Erläutern wichtiger grundlegender Begriffe gab es einen Überblick über verwandte Arbeiten mit besonderem Blick auf Transitionsdiagramme. Aufbauend auf den Erkenntnissen existierender Arbeiten wurde eine Visualisierung entwickelt, welche einen Vergleich von Transitionen ermöglicht. Diese Visualisierung sowie das Tool (RTGCT), welches die Visualisierung nutzt und jedem zugänglich zur Verfügung steht, wurde daraufhin genauer beschrieben. Im Anschluss wurde auf weitere Details über RTGCT eingegangen, wie beispielsweise den verwendeten Programmiersprachen, wie ein Datensatz auszusehen hat, um eingelesen werden zu können, oder auch die Einstellungsmöglichkeiten, welche ein Nutzer hat. Abschließend wurde eine Fallstudie durchgeführt. Anhand des Feedbacks der Experten, welche an dieser Studie teilgenommen haben, gab es Anregungen und Wünsche, um das Tool sowie die Visualisierung selbst zu optimieren.

Ausblick

Durch das Feedback der Experten in der Fallstudie haben sich Möglichkeiten aufgetan, die Visualisierung zu verbessern. Des Weiteren gibt es Konzepte, welche den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätten. An diesen Verbesserungsmöglichkeiten und Konzepten kann man anknüpfen, um das Tool sowie die Visualisierung zu erweitern.

Zeitlicher Verlauf. Bisher gibt es noch keine Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf eines Datensatzes bzw. eines fusionierten Datensatzes nachzuvollziehen. Denkbar wäre es bei einem fusionierten Transitionsgraphen, unter der Inspektionsfläche zwei Schieberegler mit jeweils zwei Reglern einzublenden. Damit wäre es möglich, für beide Ausgangsgraphen einen beliebigen Zeitraum festzulegen, welcher verglichen werden soll. Damit könnten Unterschiede in den Abläufen der Aufgabenbewältigung durch Phasen wie der Start- und Endphase eingegrenzt

werden. Zusätzlich könnten diese untereinander, beispielsweise die Startphase von Proband 1 mit der Endphase von Proband 2 verglichen werden. Einer dieser Schieberegler alleine würde reichen, um selbigen Effekt für nur einen Transitionsgraphen zu erzielen, welcher gerade genauer betrachtet wird. Optional könnte man auf einen zweiten Regler verzichten, um mit nur einem Regler die Transitionen eines normalen Transitionsgraphen nach und nach aufleuchten zu lassen, so dass die Reihenfolge der getätigten Transitionen erkennbar wird.

Zur Veranschaulichung der ersten sowie letzten getätigten Transition ist ein Verändern der Symbole in den AOI Segmenten denkbar. Momentan werden nur Kreise genutzt, wobei ein schwarzer Kreis ausgehende und ein weißer Kreis eingehende Kanten symbolisiert. Somit wäre es denkbar, die Symbol der ersten und letzten Kante zu verändern, beispielsweise in ein Dreieck oder Quadrat. Dadurch ist es möglich nachzuvollziehen, bei welcher AOI das Lösen einer Aufgabe begonnen und beendet wurde.

Sortierung der AOI Ring-Segmente. In der aktuellen Version werden die AOIs entweder alphabetisch sortiert, oder durch Beigabe des Wertes AOId, welcher die Anordnung der AOIs noch vor Einlesen der Daten angibt. In manchen Fällen wäre es sinnvoller, wenn der Nutzer die Sortierung der AOIs beispielsweise mittels *Drag and Drop* in einer Liste umändern kann, ohne dabei den Datensatz neu einlesen zu müssen.

Graphvergleich basierend auf einem Algorithmus. Mit Hilfe eines entsprechenden Algorithmus wäre es möglich, bei Klick auf einen Transitionsgraphen alle weiteren Graphen nach Ähnlichkeit farblich zu hinterlegen. Dieser Algorithmus sollte nach ähnlichen Mustern anhand von den Anzahlen getätigter Transitionen sowie den jeweiligen Beobachtungsdauern von AOIs suchen. Daraufhin wäre in der Übersicht bei vielen Graphen schneller erkennbar, welche Datensätze sich ähneln.

Vergleich von mehr als zwei Graphen. Denkbar wäre es auch, mehr als nur zwei Graphen zu fusionieren, in dem man auf einen bereits fusionierten Graph noch weitere ziehen kann. Zur Unterscheidung der Anzahl getätigter Transitionen wäre es möglich, nicht zwei Farben zur Codierung von ‚mehr/weniger‘ zu nutzen, sondern vielmehr jedem Ausgangsgraphen eine Farbe zuzuweisen. Eine Transitionslinie bekommt dann jeweils die Farbe des Graphen, welcher dort am meisten Transitionen veranschaulicht. Haben mehrere Ausgangsgraphen den selben Wert, bekommt die Transitionslinie einen Farbverlauf. Fährt man mit dem Mauszeiger über die Linie, so könnte man Detailinformationen sortiert nach der Anzahl der getätigten Transitionen der Ausgangsgraphen bekommen. Aus den zwei inneren und äußeren Ringpartien könnten entsprechend viele äußere erstellt werden, wobei der Farbverlauf von grau über schwarz komplett durch die Farbe ersetzt werden würde, welche bereits den Ausgangsgraphen in den Transitionen repräsentiert.

Skalierbarkeit. Ein Nachteil dieser Visualisierung ist es, dass es schnell zum Überlappen vieler Transitionslinien kommt, sollte es sich um viele betrachtete AOIs handeln. Möglich wäre es, durch Aufzeigen mit dem Mauszeiger auf ein Symbol, welches eingehende oder ausgehende Transitionen einer AOI symbolisiert, diese Transitionen hervorhebt und alle weiteren verblassen lässt – optional parallel für alle weiteren Graphen in der Übersicht. Dadurch ist es möglich, sich auf die eingehenden bzw. ausgehenden Kanten von nur einer AOI zu fokussieren und diese mit anderen Graphen bereits in der Übersicht zu vergleichen.

Hinzunehmen des Stimulus. Der Vorteil eines radialen Transitionsgraphen ist, dass dieser genutzt werden kann, unabhängig, ob es sich um Daten über einen statischen oder dynamischen Stimulus handelt. Allerdings geht jedoch der direkte Bezug zum Stimulus verloren und es wird mit einer abstrakteren Darstellung der Daten gearbeitet. Ein Ansatz wäre, optional den Stimulus einblenden zu lassen und eine Art *brushing and linking* anzuwenden: Der Stimulus könnte dahingehend bearbeitet werden, dass die AOIs auf dem Stimulus farblich umrandet werden. Die Farbe der Umrandung entspricht dann der Farben, durch die die AOIs im Transitionsgraph repräsentiert werden. Zusätzlich könnte man diese Umrandung durch Anklicken des entsprechenden AOI-Segmentes im Graph auf dem Stimulus aufblenden lassen.

Video-Anleitung und Erweiterung der Legende. Die Fallstudie hat gezeigt, dass insbesondere der fusionierte radiale Transitionsgraph erst nach einer Einführung verständlich ist. Auf der Webseite wird bisher eine interaktive Anleitung angeboten. Diese könnte man durch ein Video mit einer Anleitung erweitern. Auch die Legende kann um die weißen und schwarzen Punkte, welche eingehende und ausgehende Kanten der AOI-Segmente symbolisieren, erweitert werden um die Lesbarkeit eines Transitionsgraphens zu erleichtern.

A Anhang

A.1 Fragebogen Fallstudie

Auf den nächsten Seiten folgt der Fragebogen, welcher zur Expertenevaluation eingesetzt worden ist.

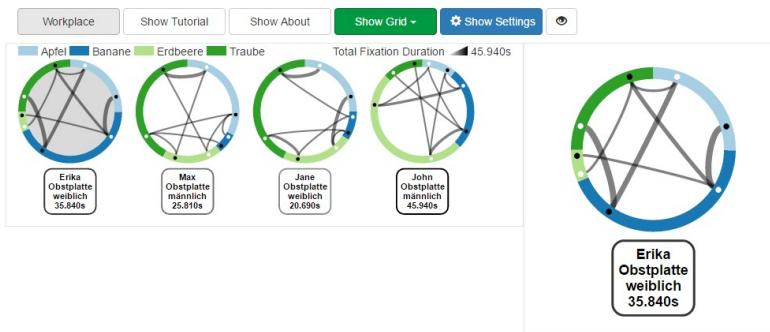
Fallstudie BA - Vergleich von Transitionsgraphen

Alle Erklärungen und Instruktionen erfolgen mündlich.

Übersicht

...kurze Einführung...

Bild dient als Vergleich.



1. Fallen Ihnen mit dieser Darstellung Muster und/oder Unterschiede zwischen den Graphen auf?
Falls ja, welche?

Das Drag and Merge Feature

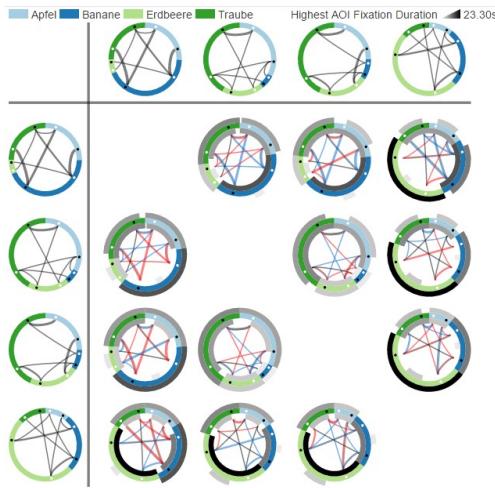
...kurze Einführung...

2. Fallen Ihnen mit dieser erweiterten Darstellung neue Muster und/oder Unterschiede zwischen den Graphen auf? Falls ja, welche?

Das Grid

...kurze Einführung...

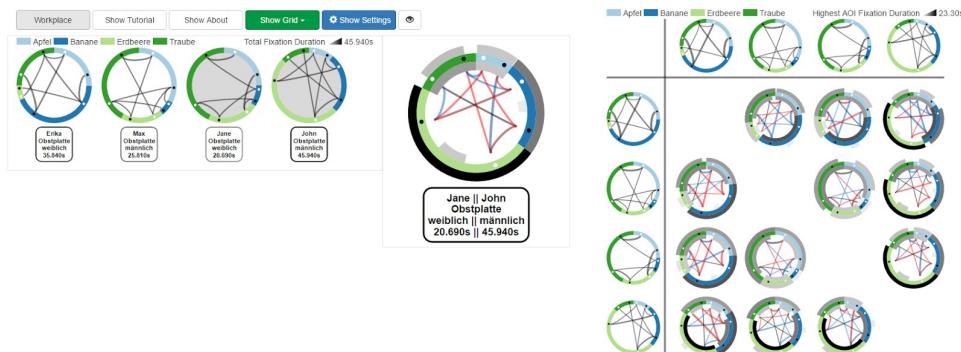
Bild dient als Vergleich.



3. Fallen Ihnen mit dieser Darstellung Muster und/oder Unterschiede zwischen den Graphen auf?
Falls ja, welche?

Diskussionsfragen

Reminder: Übersicht und Grid



4. Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile, die sie zwischen der Übersicht (inkl. Drag and Merge) und dem Grid sehen

Es folgen Fragen zur Visualisierung selbst.

Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Visualisierung eines Datensatzes an sich - also den Transitionsgraph für sich.

5. Gut finde ich an dieser Visualisierung...

6. Schlecht finde ich an dieser Visualisierung...

7. Empfinden Sie den (normalen/fusionierten) Transitionsgraph als intuitiv verständlich? Falls nein, was könnte verbessert werden?

Es folgen Fragen zum Tool/der Webseite

Die folgenden Fragen beziehen sich auf das Tool/die Webseite, welche es ermöglicht, mit den Transitionsgraphen zu arbeiten.

8. Den Aufbau und das Design des Tools finde ich:

9. Gibt es Gründe, weshalb Sie das Tool nicht weiterempfehlen würden? Falls ja, welche?

Literaturverzeichnis

- [AABW12] G. Andrienko, N. Andrienko, M. Burch, D. Weiskopf. „Visual Analytics Methodology for Eye Movement Studies“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18.12 (Dez. 2012), S. 2889–2898. ISSN: 1077-2626. DOI: [10.1109/TVCG.2012.276](https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.276) (zitiert auf S. 17, 21, 22).
- [BJK+16] T. Blascheck, M. John, K. Kurzhals, S. Koch, T. Ertl. „VA2: A Visual Analytics Approach for Evaluating Visual Analytics Applications“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22.1 (Jan. 2016), S. 61–70. DOI: [10.1109/tvcg.2015.2467871](https://doi.org/10.1109/tvcg.2015.2467871) (zitiert auf S. 39).
- [BKR+14] T. Blascheck, K. Kurzhals, M. Raschke, M. Burch, D. Weiskopf, T. Ertl. „State-of-the-art of visualization for eye tracking data“. In: *Proceedings of EuroVis*. Bd. 2014. 2014, S. 63–82 (zitiert auf S. 11–13, 15).
- [BOH11] M. Bostock, V. Ogievetsky, J. Heer. „D³ Data-Driven Documents“. In: *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics* 17.12 (Dez. 2011), S. 2301–2309. DOI: [10.1109/tvcg.2011.185](https://doi.org/10.1109/tvcg.2011.185) (zitiert auf S. 33).
- [Boj09] A. Bojko. „Informative or Misleading? Heatmaps Deconstructed“. In: *Human-Computer Interaction. New Trends*. Springer Science+Business Media, 2009, S. 30–39. DOI: [10.1007/978-3-642-02574-7_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02574-7_4) (zitiert auf S. 15).
- [BRE13] T. Blascheck, M. Raschke, T. Ertl. „Circular heat map transition diagram“. In: *Proceedings of the 2013 Conference on Eye Tracking South Africa*. ACM. 2013, S. 58–61 (zitiert auf S. 9, 19, 20, 23).
- [Die11] R. Diestel. *Graphentheorie*. Springer-Verlag GmbH, 11. Feb. 2011. XVIII355 S. ISBN: 3642149111 (zitiert auf S. 13, 14).
- [ES86] S. R. Ellis, L. Stark. „Statistical Dependency in Visual Scanning“. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 28.4 (1986), S. 421–438 (zitiert auf S. 16).
- [GAW+11] M. Gleicher, D. Albers, R. Walker, I. Jusufi, C. D. Hansen, J. C. Roberts. „Visual comparison for information visualization“. In: *Information Visualization* 10.4 (Sep. 2011), S. 289–309. DOI: [10.1177/1473871611416549](https://doi.org/10.1177/1473871611416549) (zitiert auf S. 20).
- [GK99] J. H. Goldberg, X. P. Kotval. „Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs“. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 24.6 (Okt. 1999), S. 631–645. DOI: [10.1016/s0169-8141\(98\)00068-7](https://doi.org/10.1016/s0169-8141(98)00068-7) (zitiert auf S. 16).

- [HB03] M. Harrower, C. A. Brewer. „ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps“. In: *The Cartographic Journal* 40.1 (Juni 2003), S. 27–37. doi: [10.1179/000870403235002042](https://doi.org/10.1179/000870403235002042) (zitiert auf S. 30).
- [HNA+11] K. Holmqvist, M. Nyström, R. Andersson, R. Dewhurst, H. Jarodzka, J. van de Weijer. *Eye Tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford, 22. Sep. 2011. 560 Seiten (zitiert auf S. 12).
- [ITS00] K. Itoh, H. Tanaka, M. Seki. „Eye-Movement Analysis of Track Monitoring Patterns of Night Train Operators: Effects of Geographic Knowledge and Fatigue“. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 44.27 (Juli 2000), S. 360–363. doi: [10.1177/154193120004402721](https://doi.org/10.1177/154193120004402721) (zitiert auf S. 17).
- [Jon05] J. Y. Jonathan L. Gross. *Graph Theory and Its Applications*. 2. Aufl. 2005 (zitiert auf S. 14).
- [KBB+15] K. Kurzhals, M. Burch, T. Blascheck, G. Andrienko, N. Andrienko, D. Weiskopf. „A Task-Based View on the Visual Analysis of Eye Tracking Data“. In: *Extended Papers of ETVIS 2016* (2015) (zitiert auf S. 15).
- [KJW+14] S. Koch, M. John, M. Worner, A. Muller, T. Ertl. „VarifocalReader – In-Depth Visual Analysis of Large Text Documents“. In: *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics* 20.12 (Dez. 2014), S. 1723–1732. doi: [10.1109/tvcg.2014.2346677](https://doi.org/10.1109/tvcg.2014.2346677) (zitiert auf S. 39).
- [KSB+16] R. Krueger, G. Sun, F. Beck, R. Liang, T. Ertl. „TravelDiff: Visual comparison analytics for massive movement patterns derived from Twitter“. In: *2016 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)*. Institute of Electrical und Electronics Engineers (IEEE), Apr. 2016. doi: [10.1109/pacificvis.2016.7465266](https://doi.org/10.1109/pacificvis.2016.7465266) (zitiert auf S. 22).
- [LBR+16] T. von Landesberger, F. Brodkorb, P. Roskosch, N. Andrienko, G. Andrienko, A. Kerren. „MobilityGraphs: Visual Analysis of Mass Mobility Dynamics via Spatio-Temporal Graphs and Clustering“. In: *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics* 22.1 (Jan. 2016), S. 11–20. doi: [10.1109/tvcg.2015.2468111](https://doi.org/10.1109/tvcg.2015.2468111) (zitiert auf S. 21).
- [LKS+11] T. von Landesberger, A. Kuijper, T. Schreck, J. Kohlhammer, J. van Wijk, J.-D. Fekete, D. Fellner. „Visual Analysis of Large Graphs: State-of-the-Art and Future Research Challenges“. In: *Computer Graphics Forum* 30.6 (Apr. 2011), S. 1719–1749. doi: [10.1111/j.1467-8659.2011.01898.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2011.01898.x) (zitiert auf S. 13).
- [LL02] S. Lessing, L. Linge. *IICap ? A New Environment for Eye Tracking Data Analysis*. eng. Student Paper. 2002 (zitiert auf S. 17).
- [MMH04] S. Martinez-Conde, S. L. Macknik, D. H. Hubel. „The role of fixational eye movements in visual perception“. In: *Nature Reviews Neuroscience* 5.3 (März 2004), S. 229–240. doi: [10.1038/nrn1348](https://doi.org/10.1038/nrn1348) (zitiert auf S. 12).
- [MZ05] M. Manhartsberger, N. Zellhofer. „Eye tracking in usability research: What users really see“. In: *Usability Symposium*. Bd. 198. 2. Citeseer. 2005, S. 141–152 (zitiert auf S. 15).

- [NOK+16] R. Netzel, B. Ohlhausen, K. Kurzhals, R. Woods, M. Burch, D. Weiskopf. „User Performance and Reading Strategies for Metro Maps: An Eye Tracking Study“. In: *Spatial Cognition & Computation* (Sep. 2016), S. 1–28. doi: [10.1080/13875868.2016.12226839](https://doi.org/10.1080/13875868.2016.12226839) (zitiert auf S. 39).
- [OGF13] T. Opach, I. Gołębiewska, S. I. Fabrikant. „How Do People View Multi-Component Animated Maps?“ In: *The Cartographic Journal* 51.4 (Dez. 2013), S. 330–342. doi: [10.1179/1743277413y.0000000049](https://doi.org/10.1179/1743277413y.0000000049) (zitiert auf S. 17).
- [SSF+11] C. M. Schulz, E. Schneider, L. Fritz, J. Vockeroth, A. Hapfelmeier, T. Brandt, E. F. Kochs, G. Schneider. „Visual attention of anaesthetists during simulated critical incidents“. In: *British Journal of Anaesthesia* 106.6 (Apr. 2011), S. 807–813. doi: [10.1093/bja/aer087](https://doi.org/10.1093/bja/aer087) (zitiert auf S. 18, 23).
- [TAK+05] M. Tory, M. Atkins, A. Kirkpatrick, M. Nicolaou, G.-Z. Yang. „Eyegaze Analysis of Displays With Combined 2D and 3D Views“. In: *VIS 05. IEEE Visualization, 2005*. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2005. doi: [10.1109/visual.2005.1532837](https://doi.org/10.1109/visual.2005.1532837) (zitiert auf S. 17).
- [Tob16] Tobii AB. *This is Eye Tracking*. 19. Sep. 2016. URL: <http://www.tobii.com/group/about/this-is-eye-tracking/> (zitiert auf S. 11).

Alle im Dokument vorkommenden URLs wurden zuletzt am 05. 10. 2016 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