

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme
Abteilung Mensch-Computer-Interaktion

Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 5a
D-70569 Stuttgart

Bachelorarbeit Nr. 79

Unterstützung adaptiver Benutzungsschnittstellen mittels Eye-Tracking zur Erkennung von Expertise oder Verstehen

Alexander Foril

Studiengang:	Informatik
Prüfer/in:	Prof. Dr. Albrecht Schmidt
Betreuer/in:	Dipl.-Inf. Bastian Pfleging, Dipl.-Phys. Michael Raschke
Beginn am:	2013-03-06
Beendet am:	2013-03-12
CR-Nummer:	H.5.2

Kurzfassung

Studien zeigen, dass Erledigen von Aufgaben am Computer von der Wahrnehmungsfähigkeit des Anwenders abhängt. Die Kommunikation zwischen Anwender und Computersystemen erfordert hohe Anforderungen an die Benutzerschnittstelle, die für eine Interaktion zwischen Benutzer und Software verantwortlich ist. Eine adaptive Benutzerschnittstelle vereinfacht und verbessert die Interaktionsmöglichkeit und passt sich automatisch an die Bedürfnisse und Fähigkeiten des Anwenders. Ein wichtiger Schritt zur Realisierung von adaptiven Systemen, ist die automatische Erkennung der Benutzerfähigkeiten, um eine Anpassung der Benutzungsschnittstelle an den Benutzer vornehmen zu können.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, festzustellen, ob bzw. wie sich die Analyse der Augenbewegung (Eye-Tracking) dazu eignet, die Fähigkeiten des Anwenders bezüglich Verständnis und Expertise anhand des jeweiligen Blickverhaltens zu erkennen, um diese Information für eine adaptive Benutzungsschnittstelle verwenden zu können.

In dieser Arbeit werden Experimente zur Erkennung von Benutzerfähigkeiten anhand der Blickdaten analysiert und Erkenntnisse für eine adaptive Benutzerschnittstelle ermittelt. Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass keine Unterschiede zwischen Benutzern bezüglich der Augenbewegungsdaten erkannt werden.

Abstract

Studies showed that completing a task with a computer depends on the perception of the user. The communication between user and computer systems requires high demands to the user interface, which is responsible for interaction between users and software. An adaptive user interface simplifies and improves the interactions and automatically adapts to the needs and abilities of the user. An important step towards the realization of such adaptive systems is the automatic recognition of the user skills to adapt the user interface to the user.

The aim of this thesis is to determine whether and how the analysis of eye movements (Eye-Tracking) can be used, to recognize the skills of the user with respect to comprehension and expertise based on the respective eye gaze to use this information for an adaptive user interface.

In this work experiments for the detection of user skills based on the gaze data are analyzed and findings for an adaptive user interface are determined. The results of the studies show, that there are no differences between users with respect to the eye movement data.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1. Gliederung	4
2. Verwandte Arbeiten	5
2.1. Adaptive Visualisierung	5
2.2. Angewandte adaptive Visualisierung	6
2.2.1. Adaptierung der Inhalte einer Informationsdarstellung	6
2.2.2. Adaption durch Alternativdarstellungen	8
2.2.3. Strukturelle Adaption der Visualisierung	9
2.3. Grundlegende Metriken des Eye-Trackings	10
2.4. Adaptive Visualisierung mittels Eye-Tracking-Technologie	11
2.4.1. Allgemeine Vorgänge und Abhängigkeiten beim Erfassen von benutzerspezifischen Eye-Tracking-Daten	12
2.4.2. Unterschiede in den Augenbewegungsdaten zwischen Experten und Anfängern	13
2.4.3. Allgemeingültige Eye-Tracking-Parameter für die Erkennung von unterschiedlichen Blickmustern	17
2.5. Analyse von Eye-Tracking-Daten	19
2.5.1. Statistische Verfahren zur Auffassung der Eye-Tracking-Daten	19
2.5.2. Heat- und Focus-Map	20
2.5.3. Suchpfad	20
2.5.4. AOI Sequence Chart	21
2.5.5. Weitere Analysemöglichkeiten	21
3. Konzept für eine adaptive Benutzeroberfläche	25
3.1. Metriken und Komponente zur Erkennung von Expertise	25
3.2. Adaptive Benutzeroberfläche	25
3.3. Implementierungsentwurf	26
3.4. Beispielszenario	27
4. Vorstudie zur Erkennung von Expertise und Verstehen mittels Eye-Tracking	29
4.1. Methode	29
4.1.1. Design	29
4.1.2. Teilnehmer	31
4.1.3. Apparatur	31
4.1.4. Allgemeiner Ablauf	32
4.2. Ergebnis	34

4.3. Diskussion	34
5. Hauptstudie zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten	37
5.1. Methode	37
5.1.1. Design	37
5.1.2. Teilnehmer	38
5.1.3. Apparatur	39
5.1.4. Verfahren	40
5.2. Ergebnis	41
5.3. Diskussion	45
6. Implementierung	47
6.1. Anforderungen	47
6.2. Lösungen	48
6.3. Komponenten	48
6.3.1. Schnittstellen	48
6.3.2. Controller	49
6.3.3. Benutzeroberfläche	50
6.4. Demonstration der Benutzerschnittstelle	50
6.5. Verwendung und Erweiterung der Benutzerschnittstelle	50
7. Zusammenfassung	53
A. Anhang	55
Stichwortverzeichnis	55
Literaturverzeichnis	65

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Verfügbare adaptive Benutzerschnittstellen	7
2.2.	QuizVIBE - Eine adaptive Benutzerschnittstelle	8
2.3.	Adaptive Möglichkeiten des TVLand-Systems	9
2.4.	LightHous-System - Eine adaptive Benutzerschnittstelle	10
2.5.	Adaptionsbeispiel für das ERST-System	11
2.6.	WIVI - Eine adaptive Benutzerschnittstelle für Wikipedia Artikel	12
2.7.	Merkmalsmuster aus den Diagrammarten finden	13
2.8.	Optimaler Suchpfad für vier Diagrammarten	14
2.9.	Unterschiedliche Augenbewegungen beim Durchführen einer Websuche	15
2.10.	Visualisierungsmethode zur Darstellung von Suchpfaden	16
2.11.	Auswertung von Legenden- und Beschriftungs-Transitionen von Benutzern	18
2.12.	Auswertung von Transitionen zu den Datensätzen von Anfängern und Experten	19
2.13.	Visualisierung einer Heat- und Focus-Map	20
2.14.	Visualisierung eines Suchpfades	21
2.15.	Visualisierung eines AOI Sequence Charts	22
2.16.	Parallel Scan-Path Visualization - Eine visuelle Auswertemethode	23
3.1.	Netzwerkverbindung zwischen Eye-Tracker, Eye-Tracking Server und Klienten	26
3.2.	Komponenten der adaptiven Benutzerschnittstelle	27
4.1.	Auflistung der unabhängige Variable und abhängige Variablen der Vorstudie	30
4.2.	Studienumgebung mit angebrachten Eye-Tracker	31
4.3.	Ablauf der Vorstudie - Vier Bestandteile	32
4.4.	Erster Teil der Vorstudie mit den jeweiligen Stimuli	33
5.1.	Ablauf der Hautstudie - Vier Bestandteile	39
5.2.	Studienleitfaden der Hauptstudie	41
5.3.	AOI Sequence Chart für die Fehlersuche in einem Javacode	42
6.1.	Sprachauswahl-Adaption beim Lesen eines Textes	51
6.2.	Adaption durch Hilfestellung anhand eines Buttons	51
A.1.	Entwurfsmuster des Model-View-Controllers (oben) und Notenblatt (unten)	55
A.2.	Potentiometerschaltung	56
A.3.	Stimuli des ersten Teils der Hauptstudie (1: Suchverfahren im Baumgraphen; 2: Boxplot; 3: Java-Quellcode; 4: KV-Diagramm & Logikschaltung; 5: Netzdiagramm; 6: SQL-Anfrage; 7: Wahrscheinlichkeitsbaum).	57

A.4. Definierte AOIs für die Stimuli aus der Hauptstudie	58
A.5. Wahrscheinlichkeitsbaum (oben) und Balkendiagramm (unten)	59
A.6. Javaquellcode (oben) und KV-Diagramm & Logikschaltung (unten)	60
A.7. Suchverfahren im Baumgraphen (1), SQL-Anfrage (2), Netzdiagramm (3) und Boxplot (4)	61

1. Einleitung

Heutige Benutzerschnittstellen haben das Ziel, dem Anwender bei der Suche und Verwaltung von Informationen zu unterstützen. Sie spielt eine immer größere Rolle im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion und weisen eine immer bessere Handhabbarkeit, Nutzbarkeit und Benutzerfreundlichkeit auf. Die Anforderungen an eine Benutzeroberfläche steigen mit der rasant voranschreitenden Technik. Benutzerschnittstellen sind meist nur für eine Informationsdarstellungsart konzipiert und missachten die unterschiedlichen Fähigkeiten und Kenntnisse eines Benutzers. Selbst die momentane Befindlichkeit eines Benutzers kann beispielsweise in Stresssituationen einen Einfluss auf die Auffassungsgabe mit der jeweiligen Visualisierung haben.

Anwender können durch eine an ihren Fähigkeiten und Bedürfnissen angepasste Visualisierung profitieren. Tägliche Interaktionen mit Benutzerschnittstellen, ob Zuhause, im Auto oder in der Arbeit, erfordern unterschiedliche Anpassungen. Im Auto beispielsweise muss eine schnelle Interaktion möglich sein, die sich nur auf wichtige Funktionen beschränkt und irrelevante Informationen ausblendet, um beim Fahren nicht beeinträchtigt zu werden.

Bei der Vielzahl an unterschiedlichen Visualisierungsarten oder Benutzerfähigkeiten ist es nötig, allgemeine Parameter zum Erkennen von individuellen Bedürfnissen zu finden, um diese als ein Entscheidungsmerkmal für eine Adaption zu verwenden. Werden entscheidende Merkmale gefunden, kann im nächsten Schritt eine Adaption anhand der bestimmten Parameter erfolgen. Diese Anpassung bzw. Adaption soll die ursprüngliche Informationsaussage nicht verfälschen und automatisch, diskret und unmittelbar erfolgen.

Die in dieser Bachelorarbeit vorgestellten Ansätze versuchen anhand der Augenbewegungsdaten geeignete Merkmale zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten festzustellen. Dabei eignet sich die Verwendung eines Eye-Trackers, der Augenbewegungen des Anwenders erfassen kann. Inhalt dieser Arbeit ist damit die Überlegung, anhand welchen Metriken geeignete Erkenntnisse für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten gefunden werden können, um im nächsten Schritt eine Implementierung für eine adaptive Benutzerschnittstelle bereitzustellen. Damit die Umsetzung einer Implementierung möglich ist, liefern Recherchen zu verwandten Arbeiten, eine Auswertung einer Vorstudie und eine Analyse der Hauptstudie dieser Bachelorarbeit die benötigten Erkenntnisse.

1.1. Gliederung

Im nächsten **Kapitel 2 - Verwandte Arbeiten** werden einige vorhandene Publikationen und der heutige Fortschritt im Bereich der adaptiven Visualisierung erläutert.

Kapitel 3 - Konzept für eine adaptive Benutzeroberfläche beschreibt das Konzept einer adaptiven Benutzerschnittstelle mit dem zugehörigen Entwurfsmuster. Im darauf folgenden **Kapitel 4 - Vorstudie zur Erkennung von Expertise und Verstehen mittels Eye-Tracking** wird eine Vorstudie analysiert, um unterschiedliche Benutzerfähigkeiten herauszufinden. Anschließend wird in **Kapitel 5 - Hauptstudie zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten** die Hauptstudie dieser Bachelorarbeit beschrieben, die Erkenntnisse für individuelle Benutzerfähigkeiten finden soll. Im **Kapitel 6 - Implementierung** wird die Umsetzung einer Benutzerschnittstelle behandelt, die anhand der Augenbewegungsdaten eines Eye-Trackers auf einem Klienten-Rechner beim Lesen eines Textes eine Adaption vorschlägt. Das letzte **Kapitel 7 - Zusammenfassung** fasst die Kernpunkte und Ergebnisse dieser Bachelorarbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Arbeiten zu diesem Thema.

2. Verwandte Arbeiten

In Rahmen dieser Bachelorarbeit beschreibt dieses Kapitel die verwandten Arbeiten, die fundamentale Ansätze und Grundlagen für die Erstellung dieser Ausarbeitung beitragen. Dabei lassen sich die verwandten Arbeiten in vier Kategorien unterteilen. Der erste Teil ist die adaptive Visualisierung, bei der im Allgemeinen auf Unterschiede zwischen Benutzern eingegangen wird. Danach folgen Beispiele für adaptive Benutzerschnittstellen. Im dritten Teil werden die Arbeiten zu adaptiven Visualisierungen mittels Eye-Tracking Technologie beschrieben. Anschließend stellen Analyse- und Auswerteverfahren den Schluss der verwandten Arbeiten dar.

2.1. Adaptive Visualisierung

Der Abschnitt der adaptiven Visualisierungen beschreibt, wie unterschiedliche Benutzerfähigkeiten erkannt werden können und welche Einflüsse und Auswirkungen individuelle Fähigkeiten auf die Visualisierung haben.

Die Entwicklung und Forschung von adaptiven Systemen wurde in den vergangenen Jahren durch Studien vorangetrieben. Diese bestätigen die Notwendigkeit individuelle Bedürfnisse bei der Erstellung von visuellen Darstellungen zu berücksichtigen. Anfängliche Bemühungen, um persönliche Differenzen bei einer Suche durch einer virtuellen und räumlichen Umgebung zu finden, zeigen, dass es einen starken Zusammenhang zwischen der Assoziationsfähigkeit des menschlichen Gedächtnisses und der Informationensuche und Wiederauf-findung gibt [Chen, 2000]. Ähnliches stellt sich bei einer Anpassung der Systemkonfiguration für den jeweiligen Benutzer fest [Allen, 2000]. Durch die Anpassung der Konfiguration an die Benutzerfähigkeiten kann eine optimale und schnelle Suche von Informationen gewährleistet werden. Ebenso beschreibt [Dillon, 2000], dass die räumliche und semantische Wahrnehmungsfähigkeit, um Informationen abzurufen oder in komplexen Darstellungen zu navigieren, entscheidend für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten ist.

Erste umfassende Erkenntnisse für individuelle Benutzerfähigkeiten [Egan, 1988] inspiriert über Jahrzehnte nachfolgende Studien in diesem Gebiet. Hierbei werden relevante Benutze-reigenschaften analysiert, die einen positiven Effekt auf die Leistung des Anwenders haben können. Durch das Anzeigen verschiedener Visualisierungsarten für einen Anwender wird festgestellt, dass zwischen den Benutzern unterschiedliche Kenntnisse mit den einzelnen Darstellungen besteht [Wang Baldonado, Woodruff, and Kuchinsky, 2000]. Auch eine frühere Studie [Lewandowsky and Spence, 1989] kann anhand von Streudiagrammen ermitteln, dass

hohe Fachkenntnisse zu einer genaueren und beschleunigten Absolvierung der Aufgabe beitragen.

Es kann ein Zusammenhang zwischen der räumlichen Aufnahmefähigkeit und das Verstehen einer Visualisierung mit verschiedenen Aufgabenstellungen ermittelt werden [Velez, Silver, and Tremaine, 2005]. Die Wahrnehmungsgeschwindigkeit hat einen Einfluss auf die Effektivität des Benutzers, um eine Aufgabe zu absolvieren [Conati and Maclaren, 2008]. Sie untersuchen mit einfachen Aufgaben anhand zwei Visualisierungsformen (QuestVis und GB-Quest) die Leistungsfähigkeit der einzelnen Benutzer. Die Wahrnehmungsfähigkeit eines Benutzers wird zu Beginn mit einem Test [R. Ekstrom and Dermen, 1976] ermittelt. Psychometrische Tests zur Bestimmung von persönlichkeitspsychologischen Fähigkeiten zeigen [Green and Fisher, 2010; Green, Jeong, and Fisher, 2010], dass individuelle Unterschiede die Interaktion beeinflussen und eine Änderung der Visualisierung die Benutzerfähigkeit beeinträchtigen. Persönlichkeitsmerkmale haben einen Einfluss auf die Durchführungszeit und Genauigkeit beim Absolvieren einer Interaktion [Ziemkiewicz, Crouser, Yauilla, Su, Ribarsky, and Chang, 2011]. Hierbei wird die Kontrollüberzeugung, bei der eine Person glaubt, dass ein Ergebnis entweder abhängig (intern) oder unabhängig (extern) vom eigenen Verhalten ist, als persönliches Merkmal eines Benutzers verwendet. Durch Anpassung der Farben, Interaktionen und Beschriftungen der Visualisierung kann die Effektivität einer Interaktion gesteigert werden. Eine Adaption kann beispielsweise für die Desktopunterstützung, die Web-Suche, das computergestützte Lernen, die personalisierte Informationensuche oder für hypermediale Systeme eingesetzt werden [Steichen, Ashman, and Wade, 2012] [Jameson, 2008].

2.2. Angewandte adaptive Visualisierung

In diesem Abschnitt werden Beispiele für implementierte, adaptive Visualisierungen beschrieben, die sich in drei unterschiedliche Bereiche einteilen [wook Ahn, 2010]. Die erste Möglichkeit für eine Adaption ist die *Anpassung der Inhalte einer Informationsdarstellung*. Hierbei werden Symbole, Farben oder Annotationen in der Darstellung verändert, um Elemente in der Visualisierung hervorzuheben, zu verändern oder auszublenden. Die zweite Methode eine Adaption zu erstellen, besteht darin, *komplette visuelle Informationsdarstellungen auszutauschen*. Hierbei werden adaptiv Alternativdarstellungen gewählt, die den Bedürfnissen des Benutzers entsprechen. Die letzte Adoptionsform ist die *strukturelle Veränderung der Darstellung*. Die Struktur wird entweder zur leichteren Informationssuche oder zum besseren Verständnis mit der Visualisierung verändert. Abbildung 2.1 illustriert die drei Adoptionsmöglichkeiten mit den dazugehörigen Implementierungen.

2.2.1. Adaptierung der Inhalte einer Informationsdarstellung

Mit dem NavEx-(Navigation to Examples) und ADVISE-(ADaptive to VIualization for Education) System können adaptive Annotationen durch eine wissensbasierte Informationensammlung des Benutzers der Anwendung hinzugefügt werden [Brusilovsky, Ahn,

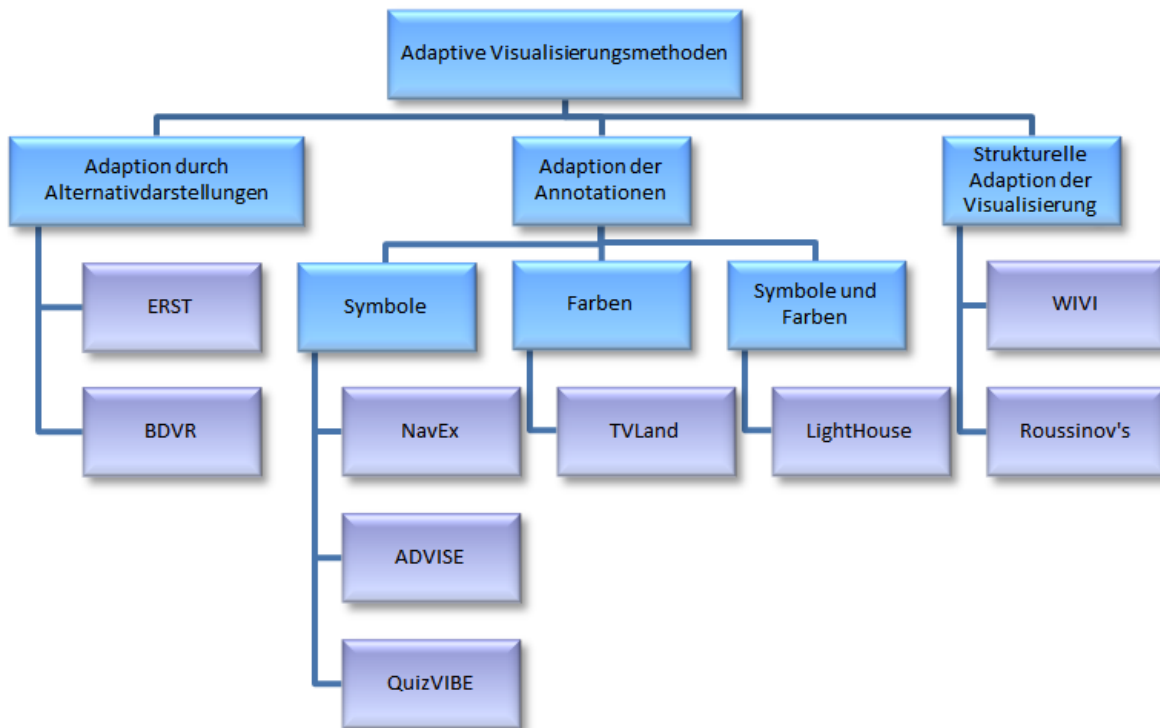


Abbildung 2.1.: Klassifizierungen von drei unterschiedlichen adaptiven Visualisierungsmöglichkeiten (Adaption durch Alternativdarstellungen, Adaption der Annotationen und eine strukturelle Adaption der Visualisierung) mit den dazugehörigen Implementierungen (lila) [wook Ahn, 2010].

Dumitriu, and Yudelso, 2006]. Dabei bestimmt das System, ob der Anwender für neue Aufgaben bereit ist und blendet neue Symbole ein. Ein weiteres Beispiel für eine Anpassung der Annotationen ist das QuizVIBE (Quiz Visual Information Browsing Environment) [wook Ahn, Brusilovsky, and Sosnovsky, 2006]. Ehin System, dass anhand des Lernwissens, der Lernziele und der Assoziationsfähigkeit eines Benutzers eine adaptive Hilfestellung in Form von Annotationen (Zoomen, Rotieren, Filtern oder Assoziationshinweise) durchführt, um schneller und effizienter die gegebenen Aufgaben zu erledigen. Ein Beispiel für QuizVIBE ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

Ein Ansatz um eine benutzerindividuelle Adaption mit Farbeindrücken zu erstellen, ist das TVLand-System [Gansner, Hu, Kobourov, and Volinsky, 2009]. Auf Eingabe eines Graphen, bei dem jeder Knoten eine Fernsehsendung darstellt und assoziative Elemente als Kanten dargestellt sind, wird eine benutzerspezifische Heatmap erstellt. Die unterschiedlichen Farben geben an, ob der Benutzer die Sendung uninteressant (Blau) oder interessant (Gelb) findet. Durch eine Adaption können für den Benutzer neue, interessante Alternativsendungen anhand einer Farbanpassung, wie in Abbildung 2.3 verdeutlicht ist, vorgeschlagen werden.

2. Verwandte Arbeiten

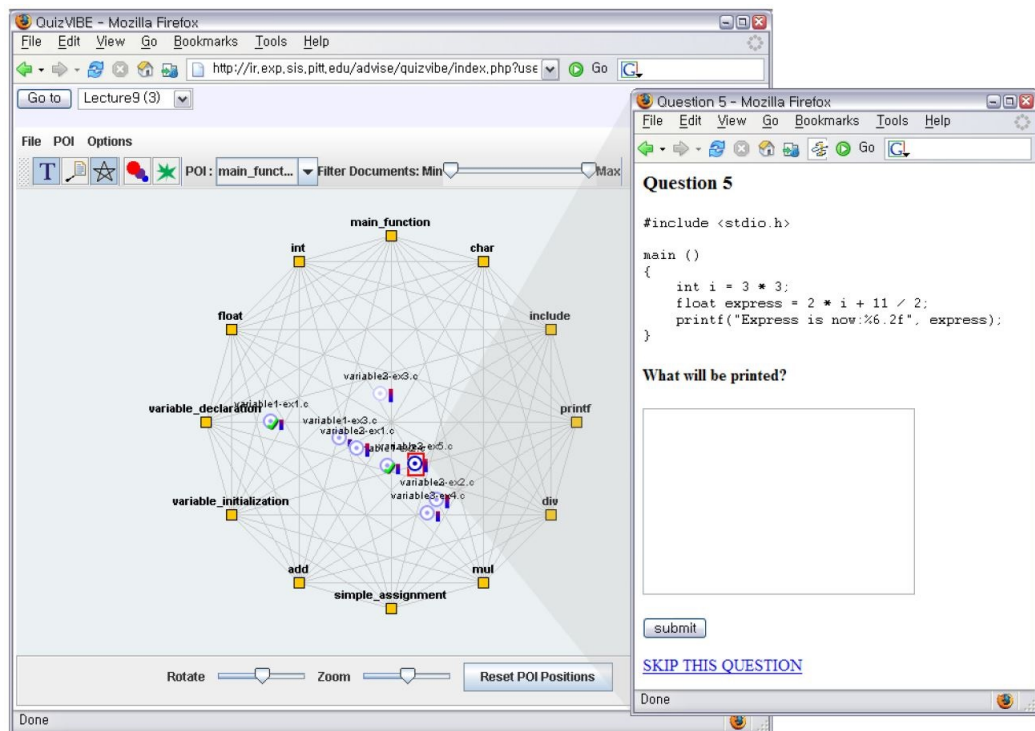


Abbildung 2.2.: Beispieldarstellung mit QuizVIBE, um eine schnellere Interaktion durch eine adaptive Einblendung von Annotationen zu absolvieren [wook Ahn, Brusilovsky, and Sosnovsky, 2006].

Mit dem LightHouse [Leuski and Allan, 2004] kann durch eine Adaption der Annotationen und Farben effektiver und schneller Information in einer webbasierten Suchanwendung aufgerufen werden. Je nach Benutzerbedürfnissen ist es möglich, relevante oder unbrauchbare Ergebnisse zu kennzeichnen, um nur benötigte Informationen für die Weiterverarbeitung zu nutzen. Bei einer weiteren Suche passt sich das System an die bestimmten Benutzerbedürfnisse an. Abbildung 2.4 zeigt eine Beispielanwendung des LightHouse-System, das je nach Benutzerbedürfnissen die relevanten Einträge visuell hervorhebt.

2.2.2. Adaption durch Alternativdarstellungen

Das External Representation Selection Tutor(ERST)- System [Grawemeyer, 2006] ist eine Benutzerschnittstelle, die für den Benutzer optimale Alternativdarstellungen anzeigt. Durch ein bayessches Benutzer-Model [Grawemeyer and Cox, 2005], das anhand gesammelter Daten die Benutzerfähigkeiten ermittelt, wird entschieden, welche Visualisierungen für den Anwender auszuschließen sind. Dabei werden dem Benutzer einzelne visuelle Darstellungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Hat der Benutzer kaum Erfahrung mit einer Visualisierung,

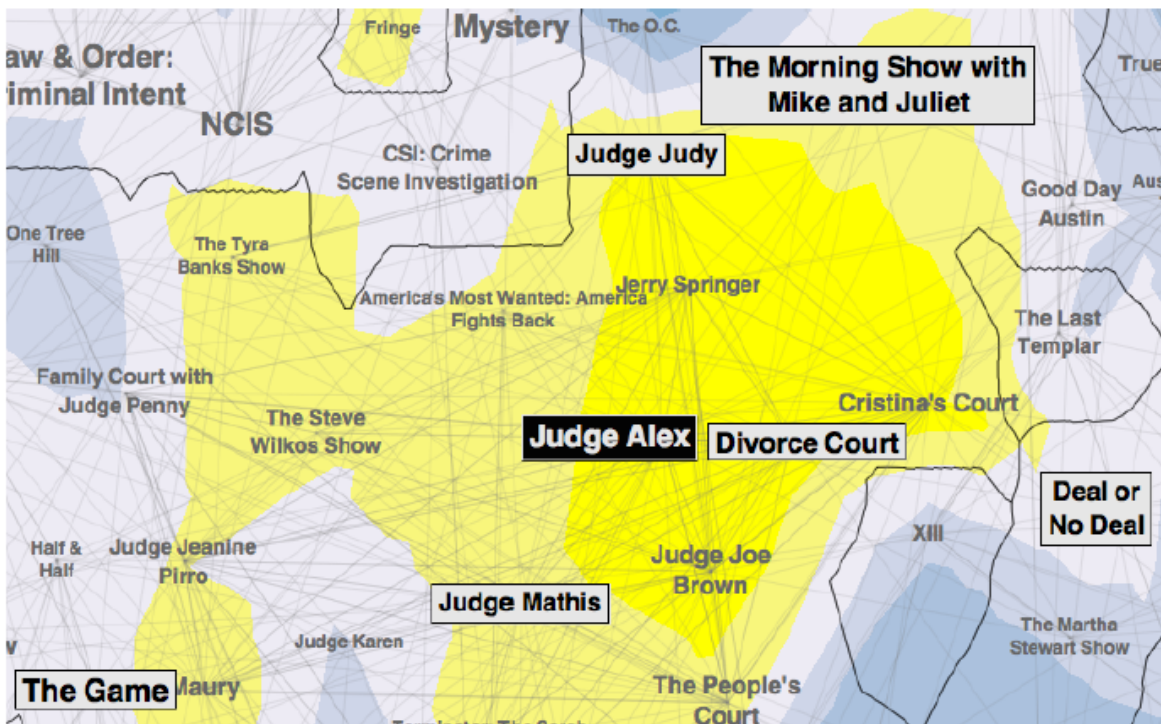


Abbildung 2.3.: Empfehlung einer neuen Fernsehsendung, die durch die zuvor betrachteten Sendungen bestimmt wurde. Die Adaption erfolgt durch eine Beschriftung mit Farben [Gansner, Hu, Kobourov, and Volinsky, 2009].

wird diese für weitere Interaktionen ausgeblendet. Abbildung 2.5 veranschaulicht aus allen verfügbaren Repräsentationen (links) die ausgeblendeten Darstellungen.

Das Behavior-driven Visualization Recommendation(BDVR)-System [Gotz and Wen, 2009] schlägt durch eine Analyse der Eingabemuster eine für den Benutzer angemessene Visualisierung vor. Die Eingabedaten eines Nutzers werden während der Interaktion bestimmt, sodass die Adaptionen in Echtzeit erfolgen.

2.2.3. Strukturelle Adaption der Visualisierung

Das WIVI kann aus den Dokumenten auf Wikipedia für den Benutzer relevante Artikel zusammenhängend visualisieren [Lehmann, Schwanecke, and Dörner, 2010]. Dabei wird für den Anwender, abhängig von den besuchten Wikipedia-Einträgen, einen Baumgraphen mit ähnlichen, verwandten oder relevanten Artikeln visualisiert. Abbildung 2.6 stellt einen Baumgraphen für einen Wikipedia Artikel dar. Mit dem WIVI-System ist eine einfachere Navigation durch relevante Themen möglich.

2. Verwandte Arbeiten

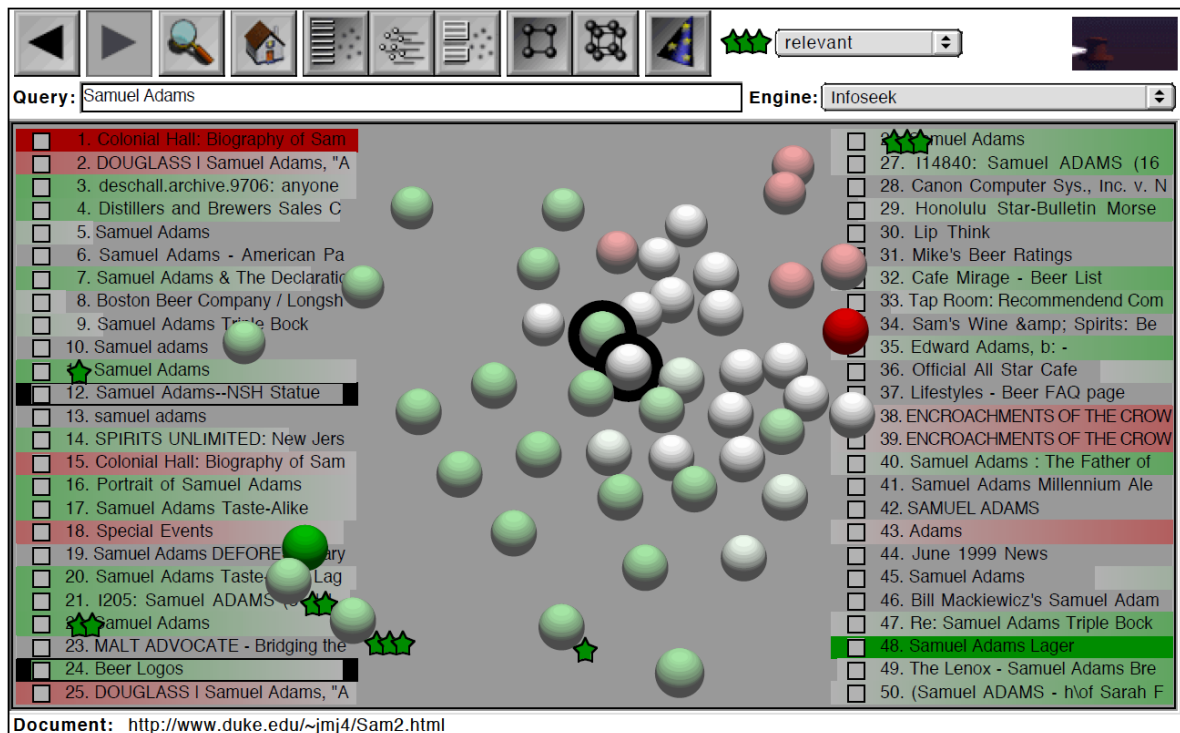


Abbildung 2.4.: Beispiel aus dem LightHouse-System zur adaptiven Visualisierung von Annotationen und Farben. Eine Liste mit relevanten Informationen wird bei einer Suchanfrage zurückgegeben. Der Benutzer legt in Form von Annotations- und Farbänderungen fest, welche Ergebnisse brauchbar sind, sodass sich das System bei einer weiteren Suche an die festgelegten Benutzerbedürfnissen anpasst. [Leuski and Allan, 2000].

Mit einer Implementierung [Roussinov and Ramsey, 1998] kann der Benutzer eine erstellte, selbstorganisierende Karte (Self Organizing Map) manipulieren, sodass beispielsweise unbrauchbare Ergebnisse ausgefiltert werden, um eine effektivere Informationensuche zu gewährleisten.

Ein individuelles für den Benutzer optimiertes Layout und eine effektivere Informationensuche können für ein adaptives System von hohem Nutzen sein. Das größte Problem mit strukturellen Adaptionen ist, dass diese an den Visualisierungsarten gebunden sind.

2.3. Grundlegende Metriken des Eye-Trackings

Beim Eye-Tracking werden die Augenbewegungen in einer statischen Umgebung durch Fixationen und Sakkaden bestimmt. Die momentane X- und Y-Positionen der Augen beim



Abbildung 2.5.: Alle darstellbaren Informationsrepräsentationen (links) und eine mögliche adaptive Anpassung durch das ERST-System (rechts). Sofern ein Benutzer schlechte Leistungsfähigkeitswerte für bestimmte Visualisierungen hat, werden diese in der Adaption für ihn ausgeblendet. Die bevorzugten Darstellungen werden farblich hervorgehoben. [Grawemeyer, 2006].

Erfassen des Blickverhaltens stellt ein Sampling dar. Pro Sekunde erkennt ein Eye-Tracker 50 bis 250 Samplings [Sen, 2009].

Ein Sampling repräsentiert grundsätzlich eine Fixation. Je nach Eye-Tracker werden Samplings in einem definierten Streuradius als Fixation zusammengefasst [Sen, 2009]. Eine Sakkade ist eine schnelle Bewegung der Augen und beschreibt die Strecke zwischen zwei Fixationen. Eine Area Of Interest (AOI) ist ein vom Benutzer fest gewählter Bereich auf dem Stimulus. Mit einer AOI besteht die Möglichkeit die Fixationsdauer der einzelnen Fixationen in einer Bereich zu bestimmen.

Im Zusammenhang mit Fixation und Sakkaden können unterschiedliche Parameter bestimmt werden, die für eine Erkennung von individuellen Benutzerfähigkeiten beitragen. Zu den relevanten Metriken für diese Ausarbeitung gehören neben der Fixations- und Sakkadenanzahl auch die Fixations- und Sakkadendauer und die Sakkadenlänge. Eine Übersicht über weitere Blickbewegungsparameter gibt es in [Jacob and Karn, 2003].

2.4. Adaptive Visualisierung mittels Eye-Tracking-Technologie

Durch die Möglichkeit die Augenbewegungen eines Benutzers zu erfassen, bieten sich neue grundlegende Verfahren zur Adaption einer Interaktion an. In diesem Abschnitt werden anhand von Beispielen unterschiedliche Augenbewegungsmuster zwischen Experten und Anfänger beschrieben. Im weiteren Verlauf sind allgemeine Parameter zum Erkennung von individuellen Benutzercharakteristiken aufgeführt. Zum Abschluss stellt sich die Frage, wann eine Adaption hilfreich ist, sofern zuvor geeignete Metriken zur Identifizierung von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten festgestellt sind.

zwischen Benutzer bezüglich des Blickverhaltens für unterschiedliche Diagrammartentypen (vgl. Abbildung 2.7) gesucht [Goldberg and Helfman, 2011].

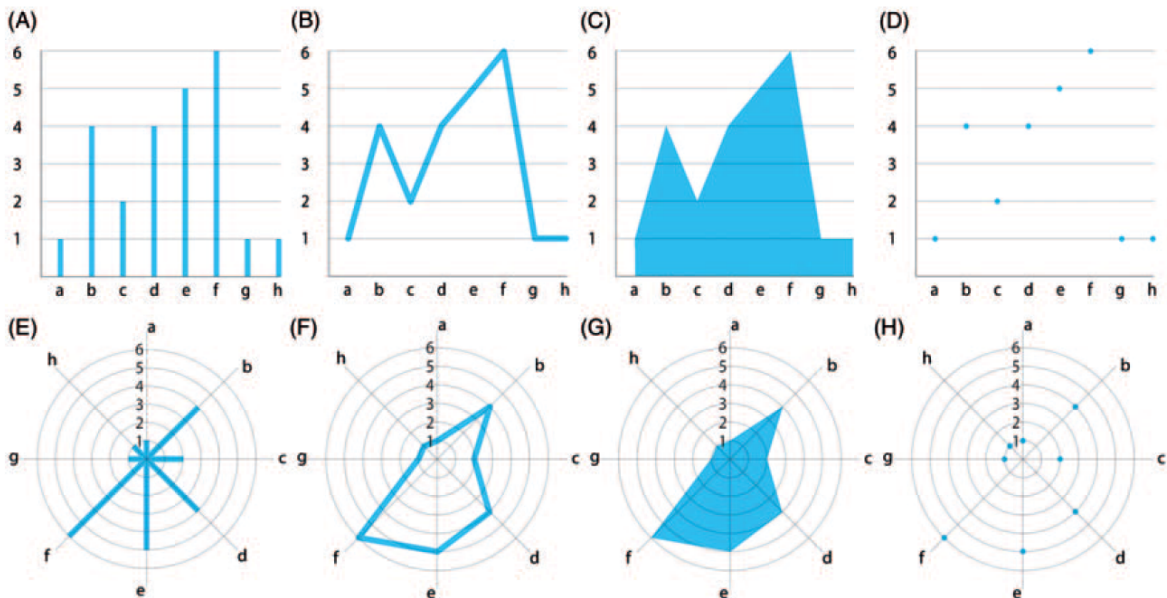


Abbildung 2.7.: Acht Diagrammartentypen, die dieselben Datensätze visualisieren. (A) Balken-, (B) Linien-, (C) Flächen- und (D) Streudiagramm werden als zweidimensionales kartesisches Koordinatensystem und (E) Balken-, (F) Linien-, (G) Flächen- und (H) Streudiagramm als Radardiagramm abgebildet. Es werden nach Erkennungen von Merkmalsmuster gesucht [Goldberg and Helfman, 2011].

Mit dem idealen Suchpfad (Mindestanzahl an benötigten Fixationen, um eine Interaktion durchzuführen) werden die benötigten Fixationspunkte bestimmt. Abbildung 2.8 zeigt einen möglichen idealen Suchpfad, um erfolgreich die gesuchten Informationen zuzuordnen. Abweichungen zum idealen Suchpfad geben Rückschlüsse für Verständnisprobleme. Treten bei einem Benutzer Abweichungen auf, kann sich die Visualisierung an die Bedürfnisse des Anwenders anpassen.

2.4.2. Unterschiede in den Augenbewegungsdaten zwischen Experten und Anfängern

Im Folgenden sind Beispiele für Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bezüglich der Augenbewegungen aufgeführt, die im Bereich der Websuche, der Medizin, der Biologie, der Chemie, der Physik, der Elektrotechnik, der Programmcode-Analyse, der Chirurgie und anderen Disziplinen gefunden werden.

Unterschiede bezüglich des Blickverhaltens können beim Durchführen einer Websuche in Google festgestellt werden [Aula, Majoranta, and Rähä, 2005]. Die unerfahrenen Probanden

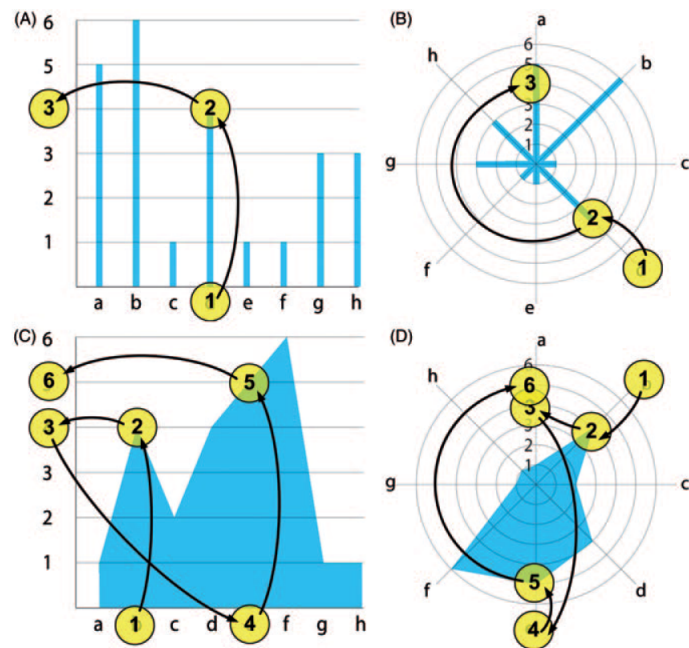


Abbildung 2.8.: Beispiele für minimal benötigte Fixationen, um bei (A) und (B) den zugehörigen Wert von d zu bestimmen und bei (C) und (D) die Werte von b und e zu vergleichen, entlang eines optimalen Suchpfades [Goldberg and Helfman, 2011].

lesen alle Ergebniseinträge und haben demnach eine längere Interaktionszeit als erfahrene Teilnehmer, die effizient einen Ergebniseintrag aussuchen. Abbildung 2.9 zeigt die Augenbewegungen für unerfahrene (User1) und erfahrene Benutzer (User2) für relevante (Task A) und ungeeignete (Task B) Ergebniseinträge.

Mit Hervorhebungen oder Ausblendungen von visuellen Elementen beim Interagieren mit einer Visualisierung können individuelle Unterschiede in den Augenbewegungen zwischen Benutzern ermittelt werden [Kruschke, Kappenman, and Hetrick, 2005]. Die Anwender reagieren individuell auf Hervorhebungen oder Ausblendungen.

Es können unterschiedliche Augenbewegungsmuster zwischen den Probanden beim Betrachten von dermatologischen Bildern erkannt werden [Li, Pelz, Shi, Alm, and Haake, 2012]. Sie stellen anhand von Fixationen und Sakkaden neun verschiedene Blickverhaltensmuster bei Experten fest. Eine mögliche Adaption könnte einem Anfänger Hilfestellungen geben, sofern keines der Muster erkannt wird.

In einer Studie [Tai, Loehr, and Brigham, 2006] werden sechs naturwissenschaftlichen Lehrern visuelle Aufgaben im Bereich der Biologie, Chemie und Physik gestellt. Die Probanden mit gleichen Kenntnissen in den einzelnen Bereichen, haben auch identische Augenbewegungsmuster.

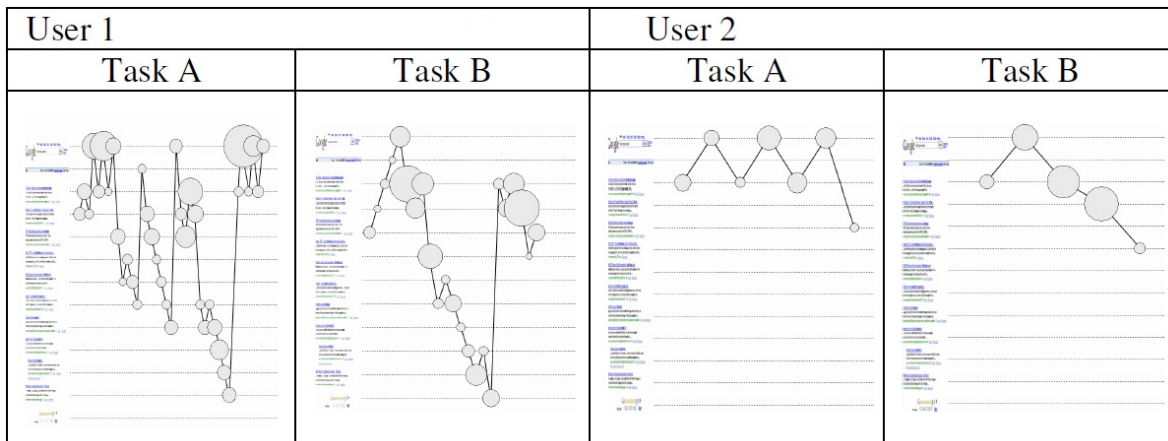


Abbildung 2.9.: Augenbewegungen bei einer Websuche mit relevanten (Task A) und ungeeignete (Task B) Ergebniseinträge für unerfahrene (User₁) und erfahrene Benutzer (User₂). Die X-Achse repräsentiert die Augenbewegungsreihenfolge der betrachtenden Einträge. Die Kreisgröße beschreibt die Fixationsdauer. Die Y-Achse stellt die vertikale Augenposition dar. [Aula, Majaranta, and Rähä, 2005].

Beim Beantworten von Fragen für elektrische Schaltkreise [Rosengrant, Thomson, and Mzoughi, 2009] kann mithilfe eines Blickanalyseverfahrens [Rosengrant, 2010] unterschiedliche Augenbewegungen zwischen Experten und Anfänger ermittelt werden. Bei dieser Analyse wird der Teilnehmer mit einem mobilen Eye-Tracker Video- und Audioüberwacht. Die Eingabe- und Augenbewegungsdaten zeigen, dass Experten beim Berechnen der Lösungen die benötigten Messwerte der Widerstände evaluieren.

Im chemischen Bereich kann mit dem Auswählen von Molekularstrukturen beim Betrachten von Kernspinresonanzen unterschiedliche Suchpfadmuster zwischen Experten und Anfänger erkannt werden [Tang, Topczewski, Topczewski, and Pienta, 2012]. Experten zeigen bei einer Auswertung mit der Analysesoftware namens eyePatterns [West, Haake, Rozanski, and Karn, 2006] effizientere Suchpfade als Anfänger, um die richtigen Molekularstrukturen auszuwählen.

Anhand Bilder von Wetterbedingungen können mit einer Methode zum Vergleichen der Suchpfade zwischen Experten (Piloten) und Anfänger (keine Piloten) unterschiedliche Blickmuster erkannt werden [Grindinger, Duchowski, and Sawyer, 2010]. Um die Stimuli auszuwerten, sollen die Teilnehmer einschätzen, ob diese anhand der Bilder die Wetterlage mit einem Flugzeug umfliegen würden. Die Methode zum Vergleichen der Suchpfade ist in Abbildung 2.10 zu sehen.

Bei einer Landephase in einer Flugsimulationsumgebung [Kasarskis, Stehwien, Hickox, Aretz, and Wickens, 2001] haben Experten kürzere Durchführungszeiten und eine präzisere Landung als Anfänger. Bezüglich des Blickverhaltens konzentrieren sich Experten

2. Verwandte Arbeiten

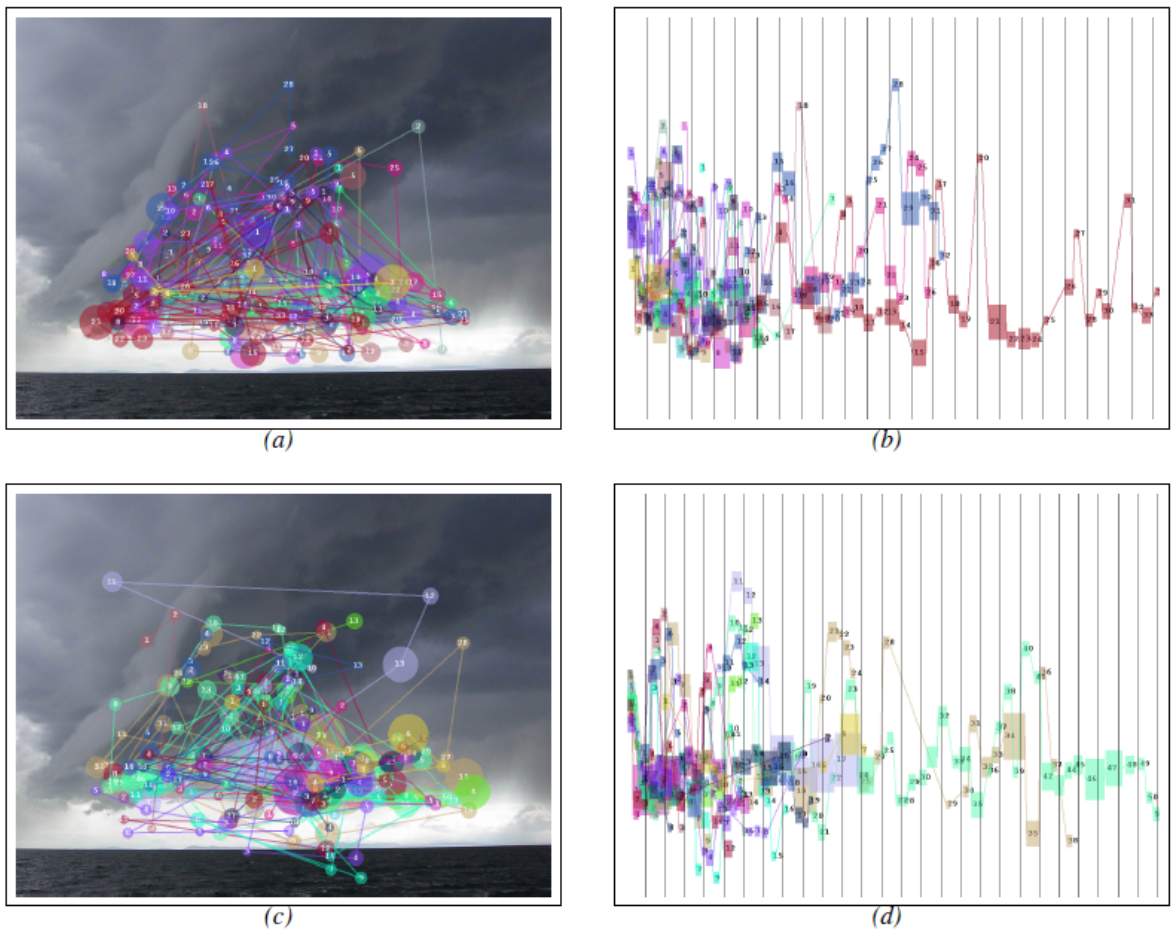


Abbildung 2.10.: Suchpfade von Experten (a) und Anfängern (c) beim Betrachten eines Bildes mit einer bestimmten Wetterlage. Die Probanden sollen entscheiden, ob sie mit einem Flugzeug weiter fliegen oder die Wetterlage umfliegen würden. Die Y-Achse stellt die Position der Suchpfade dar und die X-Achse repräsentiert die Zeit. Die Experten sind in (b) und Anfänger in (d) aufgeführt [Grindinger, Duchowski, and Sawyer, 2010].

auf die Fluggeschwindigkeitsanzeige und weisen mehr Fixationen als Anfänger auf, die hauptsächlich den Höhenmesser betrachten.

Im Bereich der Medizin gibt es bei der Durchführung eines Eingriffes innerhalb der Bauchhöhle, die sich laparoskopischen Chirurgie nennt, unterschiedliche Augenbewegungsmuster, zwischen Experten und Anfängern [Law, Atkins, Kirkpatrick, and Lomax, 2004]. Experten können die Durchführung schneller und im Allgemeinen mit weniger Fehlern als Anfänger erledigen. Anfänger tendieren zu weitschweifigen Augenbewegungen, wogegen Experten das Ziel fixieren. Eine weitere Arbeit in der laparoskopischen Chirurgie [Tien, Atkins, Zheng,

and Swindells, 2010] stellt fest, dass Experten mehr auf den gesundheitlichen Zustand der Patienten achten als Anfänger, die Schwierigkeiten mit der Durchführung haben.

Individuelle Unterschiede gibt es bei der Suche nach Fehlern in einem Programm-Quellcode, bei dem die Suchpfade für jede Codezeile visuell dargestellt sind, um eine möglichst genaue Analyse der Augenbewegung zu erreichen [Uwano, Nakamura, Monden, and Matsumoto, 2006]. Werden in den Blickdaten vom Teilnehmer sogenannte Scans (vollständiges zeilenweises Lesen des Quellcodes) entdeckt, tendieren diese Probanden dazu, den Fehler im Quellcode zu finden. Es kann jedoch keine signifikante Beziehung zwischen Erfolgchance den Fehler zu finden und den Augenbewegungsdaten von Experten und Anfänger ermittelt werden.

Beim Lesen von (englischen) Texten [Kunze, Kawaichi, Yoshimura, and Kise, 2013] gibt es Unterschiede in den Blickdaten zwischen Experten und Anfängern bezüglich Fixationsanzahl. Es werden fünf Studenten Fragen aus einer TOEIC-Prüfung (Test of English for International Communication) gestellt und mit ihren wirklichen erzielten Punktergebnissen der TOEIC-Prüfung vergleicht. Der Proband mit der höchsten Punktezahl beim TOEIC-Test hat den kleinsten Median und eine geringe Standardabweichung bezüglich der Fixationsanzahl beim Betrachten der Texte. Zwischen dem besten und schlechtesten Probanden gibt es signifikante Unterschiede bezüglich der Fixationsanzahl.

Ein etwas anderer Ansatz versucht anhand eines Experten-Modells (geführte Interaktion für einen Anfänger) unerfahrene Benutzer Schritt für Schritt für Beispielaufgaben durch die Visualisierung zu führen [van Gog, Jarodzka, Scheiter, Gerjets, and Paas, 2009]. Das Ergebnis verdeutlicht, dass ein Experten-Modell für Anfänger zu erschwerten Lerneffekten führt.

2.4.3. Allgemeingültige Eye-Tracking-Parameter für die Erkennung von unterschiedlichen Blickmustern

Bei der Suche nach allgemeingültigen Parameter, mit denen unterschiedliche Benutzerfähigkeiten erkannt werden können, gibt es Unterschiede zwischen Benutzern beim Absolvieren von Aufgaben mit zwei Diagrammvisualisierungen (Balkendiagramm und Radardiagramm) Die Wahrnehmungsgeschwindigkeit hat einen Einfluss auf die Absolvierungszeit der Aufgabe und das visuelle Arbeitsgedächtnis steht im Zusammenhang mit der Visualisierungsart. Um die Wahrnehmungsgeschwindigkeit zu bestimmen, müssen die Probanden einen P-3 Test durchführen [R. Ekstrom and Dermen, 1976]. Damit die Leistung des visuellen Arbeitsgedächtnisses ermittelt wird, muss ein weiterer Test absolviert werden [Fukuda and Vogel, 2009]. Aufgaben mit einer hohen Wahrnehmungsgeschwindigkeit werden schneller erledigt. Teilnehmer mit einem guten visuellen Arbeitsgedächtnis (speichern und manipulieren von visuellen Informationen im Gedächtnis) haben ein gutes Verständnis mit Radardiagrammen. Zusätzlich zeigt sich ein Lerneffekt mit den Visualisierungen bei Experten und Anfänger. Das heißt die Reihenfolge der Visualisierungen ist abhängig von der Durchführungszeit.

Mit einer Principal Components Analysis werden die Eye-Tracking-Parameter in Gruppen zusammengefügt und anhand eines gemischten Modells auf Unterschiede zwischen Benutzer untersucht [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013]. Experten erfassen die Visualisierung schneller und haben eine geringere Standardabweichung bezüglich der Fixationsdauer als

2. Verwandte Arbeiten

Anfänger. Unerfahrene Benutzer mit einer geringen Wahrnehmungsgeschwindigkeit betrachten die Legende der Visualisierung länger und haben öfters Augenbewegungen zwischen Darstellung und Legende als Experten. Umso schwieriger die Aufgabenstellung wird, desto öfters gibt es Übergänge zwischen Legende und Darstellung bei Experten und Anfänger. Es gibt weniger Übergänge zwischen Beschriftung und Darstellung bei einfacheren Aufgaben. Abbildung 2.11 zeigt die Transition zwischen Beschriftung und Darstellung (links) und zwischen Legende und Darstellung (rechts) in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit. Ein weiterer Unterschied zwischen Experten und Anfänger besteht beim Übergang zum Datensatzwert (benötigter Wert zum Absolvieren der Aufgabe). Bei Radardiagrammen müssen Experten und Anfänger die Informationen mit den Datensätzen öfter überprüfen als bei Balkendiagrammen. Anfänger können die Informationen mit den Datensätzen des Balkendiagramms mit viel weniger Übergängen verwenden als mit Radardiagramm. Abbildung 2.12 zeigt die Häufigkeit an Übergängen zu den Informationen mit den Datensätzen in Abhängigkeit von der Visualisierungsart und Wahrnehmungsgeschwindigkeit.

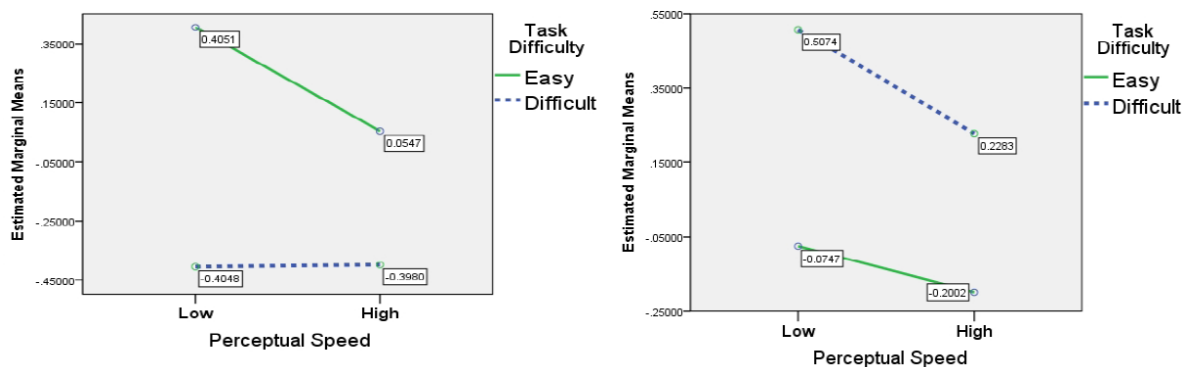


Abbildung 2.11.: Beschriftungs -Transitionen (links) und Legenden-Transitionen (rechts) für Anfänger und Experten. Die Wahrnehmungsgeschwindigkeit (X-Achse) wird in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit (unterschiedliche Linien) und der Legenden- und Beschriftungs-Transition (Y-Achse) beim Betrachten von Balken- und Radardiagrammen dargestellt. [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013].

Anfänger mit einem schlechten verbalen Arbeitsgedächtnis (speichern und manipulieren von verbalen Informationen im Gedächtnis) brauchen mehr Zeit zum Lesen des Textes, bzw. haben mehr Fixationen und eine hohe Standardabweichung bezüglich der Fixationsanzahl in diesem Bereich, als Experten. Um die Leistung des verbalen Arbeitsgedächtnisses zu bestimmen, wird ein sogenannter OSPAN Test absolviert [Turner and Engle, 1989].

Die Augenbewegungsdaten (Fixationen, Sakkaden und AOIs Übergänge) werden anhand einer Implementierung [Steichen, Schmid, Conati, and Carenini, 2013b] visuell angezeigt, um Unterschiede zwischen Benutzern festzustellen [Steichen, Carenini, and Conati, 2013a]. Durch ein maschinelles Lernverfahren können mit den Erkenntnissen [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013] Muster in den Augenbewegungen erkannt werden. Die Erkenntnisse beschreiben Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bezüglich des Aufgabenschwie-

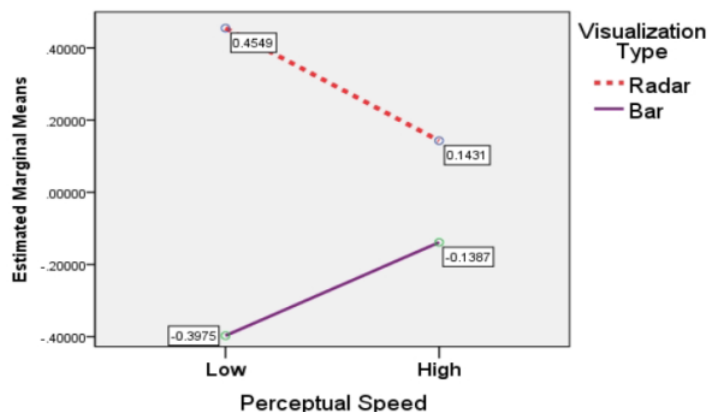


Abbildung 2.12.: Transitionen zu den Informationen mit den Datensätzen (Y-Achse) in abhängigigkeit von der Visualisierungsart (Balken- oder Radardiagramm) und der Wahrnehmungsgeschwindigkeit (X-Achse) [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013].

rigkeitsgrades, der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, des verbalen und visuellen Arbeitsgedächtnisses und der Visualisierungsart.

Mit dem ValueChart sollen Parameter feststellen, wann eine Adaption für Anfänger durchgeführt werden soll [Conati, Hoque, Tocker, and Steichen, 2013]. Beim Absolvieren einer Aufgabe für Wertediagramme müssen die Probanden einen Button drücken, sofern diese die Visualisierung nicht verstehen. Jedoch sind weitere Studien nötig, um eine automatische Erkennungen für Unsicherheiten zu erstellen.

2.5. Analyse von Eye-Tracking-Daten

In diesem Abschnitt werden Beispiele aus vorhandenen Ansätzen für eine Analyse und Auswertung von Eye-Tracking-Daten beschrieben. Nach den statistischen Analysemöglichkeiten werden die visuellen Methoden gezeigt, um die Blickdaten zu analysieren. Im Anschluss folgen weitere Analysemethoden.

2.5.1. Statistische Verfahren zur Auffassung der Eye-Tracking-Daten

Mit den Eye-Tracking Metriken können anhand von statistischen Tests signifikante Unterschiede zwischen Experten und Anfänger ermittelt werden. Eine Übersicht der verfügbaren Metriken sind in [Jacob and Karn, 2003] zusammengefasst.

2.5.2. Heat- und Focus-Map

Mit einer Heat-Map können die Fixationen auf dem Stimulus farblich hervorgehoben werden. Jedem Bereich mit Fixationen wird eine Farbe zugeordnet, die typischerweise von grün bis rot verläuft. Umso mehr Fixationen in einem Gebiet vorkommen, desto rötlicher wirkt die Visualisierung in diesem Bereich.

Bei einer Focus-Map wird je nach Fixationshäufigkeit die Visualisierung ausgedunkelt und je dunkler ein Bereich, desto weniger Fixationen sind in diesem Gebiet [Sen, 2010a]. Abbildung 2.13 zeigt eine Heat-Map (links) und Focus-Map (rechts).

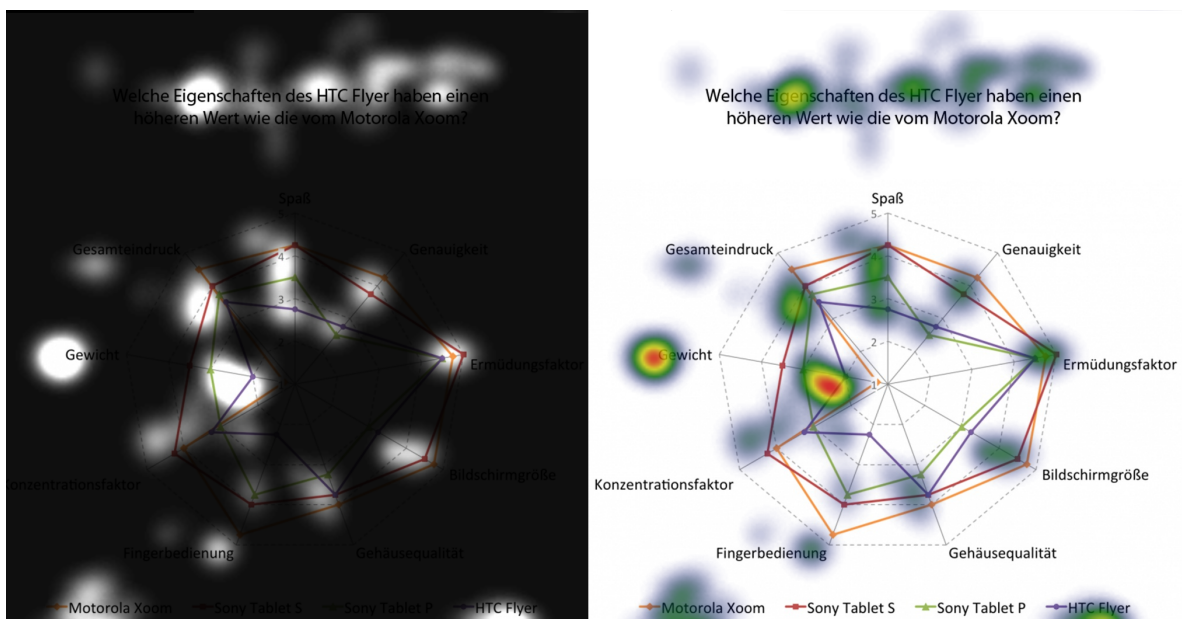


Abbildung 2.13.: Visualisierung einer Focus-Map (links) und Heat-Map (rechts) für eine Beispieldarstellung. Umso mehr Fixationen ein Bereich bei einer Heat-Map hat, desto rötlicher erscheint die farbliche Überlagerung. Umso dunkler ein Bereich bei einer Focus-Map ist, desto weniger Fixationen hat das Gebiet.

2.5.3. Suchpfad

Mit einer Visualisierung des Suchpfades können die Fixationsdauer und die Sakkaden zwischen den Fixationen dargestellt werden. Anhand der Fixationsreihenfolge können Blickmuster eines Benutzers bestimmt werden. Abbildung 2.14 zeigt einen Suchpfad. Eine Sakkade ist die Linie zwischen zwei Fixationen (Kreise). Je größer ein Kreis, desto länger ist die Fixationsdauer.

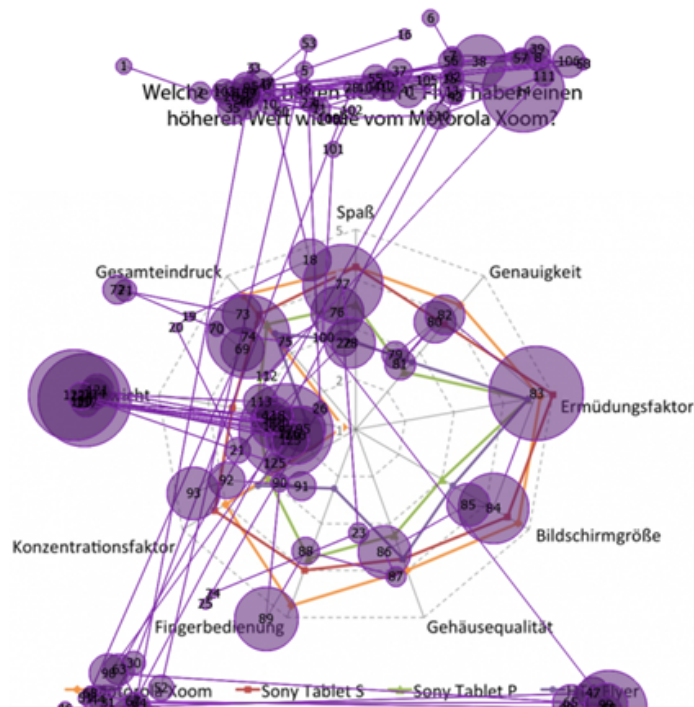


Abbildung 2.14.: Suchpfad einer visuellen Darstellung. Hierbei ist eine Fixation als Kreis mit einer angegebenen Fixationsreihenfolge und eine Sakkade als Linie zwischen zwei Fixationen definiert. Umso größer ein Kreis angezeigt wird, desto länger ist die Fixationsdauer dieses Kreises.

2.5.4. AOI Sequence Chart

Ein AOI Sequence Chart stellt die Fixationsreihenfolge mit der Fixationsdauer pro AOI visuell dar [Sen, 2010a]. Mit einem AOI Sequence Chart können die Übergänge zwischen den AOIs zeitlich anhand der Visualisierung bestimmt werden. Unterschiede zwischen Benutzern können beispielsweise durch unterschiedliche Übergänge erkannt werden. Abbildung 2.15 veranschaulicht ein AOI Sequene Chart für mehrere Benutzer.

2.5.5. Weitere Analysemöglichkeiten

Um die Eye-Tracking-Daten zu analysieren, kann mit EyePatterns Muster zwischen Fixationssequenzen (bestimmte Fixationsreihenfolge) für unterschiedliche Benutzer identifiziert werden [West, Haake, Rozanski, and Karn, 2006]. Um übereinstimmende Sequenzen zu finden, wird die Reihenfolge der AOIs für unterschiedliche Benutzer mit zwei mathematischen Algorithmen (Levenshtein-Distanz und Needleman-Wunsch-Algorithmus) berechnet.

2. Verwandte Arbeiten

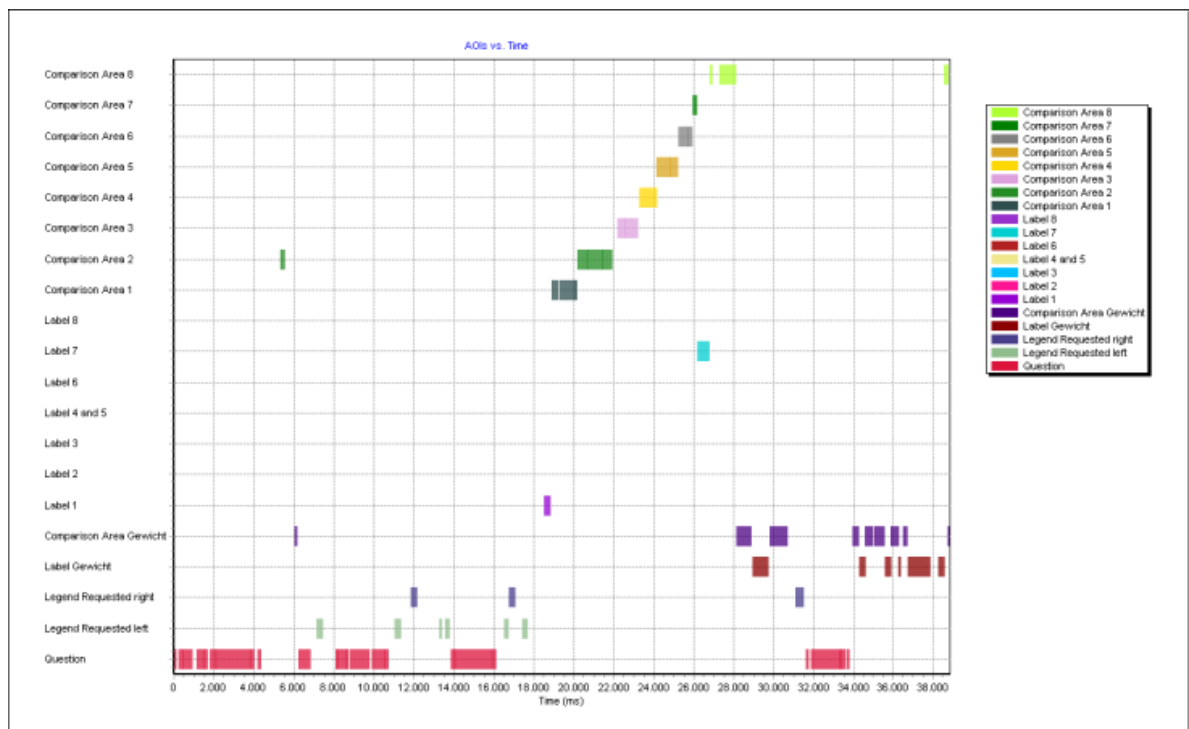


Abbildung 2.15.: Ein Beispiel für ein AOI Sequence Chart. Dieser stellt die zeitliche Abfolge der fixierten AOIs der Benutzer dar.

Eine weitere Möglichkeit kann anhand eines p-Wertes (Signifikanzwert) für eine Sequenzanalyse auf übereinstimmende Sequenzen für unterschiedliche Benutzer mit einem statistischen Test geprüft werden [Feusner and Lukoff, 2008]. Die Parallel-Scan-Path Visualisierungen stellt drei weitere unterschiedliche Visualisierungsmethoden zur Verfügung [Raschke, Chen, and Ertl, 2012]. Mit diesen Visualisierungen ist es möglich, die Fixationen, Fixationsdauer pro AOI und die Übergänge zwischen den AOIs zu visualisieren. Werden beim Analysieren die Fixationen benötigt, kann das Fixationspunktdiagramm benutzt werden, um die einzelnen Fixationen, die Fixationszeit pro AOI und die Übergänge zwischen den AOIs darzustellen. Sind nur die Übergänge und die Blickdauer in den AOIs nötig, wird das Blickdauer-Sequenzdiagramm benutzt. Sollen die Übergänge und die Blickdauer in den AOIs für mehrere Benutzer analysiert werden, ist das Blickdauer-Verteilungsdiagramm zu verwenden. Abbildung 2.16 stellt alle drei Visualisierungsarten mit unterschiedlichen Suchpfaden dar.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die für diese Bachelorarbeit relevanten Arbeiten zu adaptiven Benutzerschnittstellen beschrieben. Um eine adaptive Benutzerschnittstelle zu implementie-

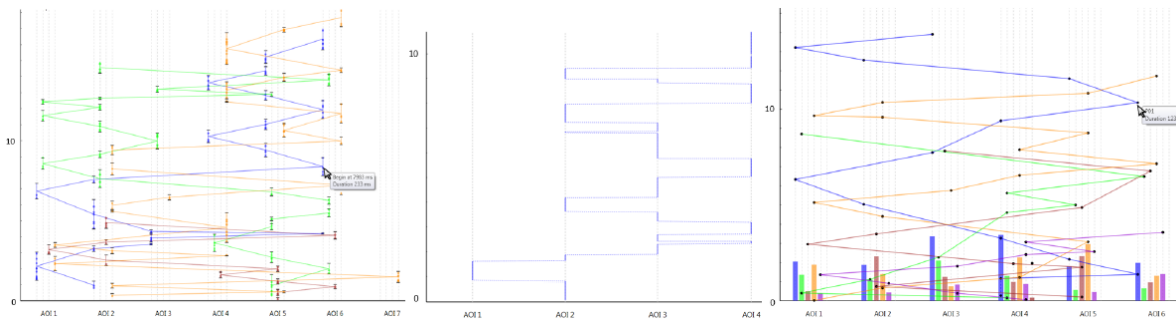


Abbildung 2.16.: Parallel Scan-Path Visualization stellt drei Visualisierungsmethoden zur Verfügung. Links ist das Fixationspunktediagramm, in der Mitte das Blickdauer-Sequenzdiagramm und rechts das Blickdauer-Verteilungsdiagramm. Die Diagrammarten zeigen unterschiedliche Suchpfade.

ren, müssen geeignete Parameter zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten gefunden werden. Dabei soll die Unterteilung in Experten und Anfängern erfolgen, da bei einer Analyse von zwei Fällen die Erkenntnisse einfacher zu interpretieren sind. Die Auswertung soll mit allgemeinen statistischen Methoden erfolgen. Um die Überprüfung schnell durchzuführen, wird anhand der Eye-Tracking-Daten die Auswertung mit statistischen Methoden erfolgen.

Bei der Suche von Fehlern in einem Quellcode gibt es einen Ansatz, der für eine Implementierung nützlich sein kann [Uwano, Nakamura, Monden, and Matsumoto, 2006]. Der Benutzer kann entweder den Fehler finden (Experte) oder nicht (Anfänger).

Beim Finden von Parametern für Balken- und Radardiagrammen könnte hinsichtlich Einteilung in Experten und Anfänger möglicherweise Erkenntnisse für die Implementierung der Benutzerschnittstelle gefunden werden [Toker, Conati, Carenini, and Haraty, 2012].

Unterschiede zwischen Benutzern beim Lesen von Texten zu finden, ist eine einfache Möglichkeit, die für eine adaptive Benutzerschnittstelle genutzt werden kann [Kunze, Kawaichi, Yoshimura, and Kise, 2013]. Eine mögliche Adaption könnte erkennen, ob ein Text gelesen wird.

Unterschiede zwischen Benutzern bezüglich der Übergänge der einzelnen AOIs mit dem AOI Sequenz Chart zu finden, könnte Erkenntnisse für die Implementierung dieser Bachelorarbeit liefern. In einer Arbeit [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013] können Unterschiede zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Transitionen ermittelt werden. Jedoch können signifikante Unterschiede mit einer AOI Sequenz Chart Visualisierung nicht verifiziert werden.

3. Konzept für eine adaptive Benutzeroberfläche

In diesem Kapitel wird das Konzept zur Erstellung einer adaptiven Benutzerschnittstelle beschrieben. Mit der Analyse von Ergebnissen einer Vorstudie und Hauptstudie sollen nach Erkenntnissen für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten anhand der Eye-Tracking-Daten gesucht werden. Anhand bestimmter Metriken aus den Eye-Tracking-Daten soll dann im nächsten Schritt eine adaptive Benutzerschnittstelle unterschiedliche Benutzerfähigkeiten erkennen und eine Adaption vorschlagen.

Im Folgenden werden Metriken und die Komponente zum Erstellen der adaptiven Benutzeroberfläche beschrieben. Nach der adaptiven Benutzeroberfläche folgen anschließend der Implementierungsentwurf und die möglichen Anwendungsfälle der adaptiven Benutzerschnittstelle.

3.1. Metriken und Komponente zur Erkennung von Expertise

Als erstes müssen Anforderung an die Implementierung überlegt werden, die anhand des technischen Fortschritts gerechtfertigt werden kann. Dabei sollen in erster Linie nach Parameter für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten gesucht werden. Die Analyse einer Vorstudie und Hauptstudie soll Erkenntnisse für unterschiedliche Augenbewegungen zwischen Experten und Anfänger feststellen. Anhand gefundener Metriken soll eine Komponente der adaptiven Benutzerschnittstelle die Erkennung der Benutzerexpertise übernehmen. Beispielsweise können anhand Fixationen oder Sakkaden Adaptionmethoden überlegt werden. Eine Sequenz von Fixationen wird als Eingabe in eine Methode übergeben. Die Berechnung wertet anhand ermittelter Fixationsmerkmale von Experten und Anfänger, ob eine Adaption nötig ist. Die Komponente für die Erkennung der Benutzerexpertise soll neben der Berechnung von möglichen Adaptionen auch die Eye-Tracking-Daten empfangen und verwalten können. Mit einer Kommunikation über das Netzwerk werden die Eye-Tracking-Daten empfangen und in ein verwertbares Format konvertiert.

3.2. Adaptive Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche stellt die visuellen Elemente bereit. Wird eine Adaption durchgeführt, sollte der Benutzer für weitere Interaktion nicht beeinträchtigt werden. Demnach muss eine

3. Konzept für eine adaptive Benutzeroberfläche

Anpassung schnell und unauffällig erfolgen. Der Controller schickt, sobald eine mögliche Anpassung berechnet ist, ein Signal zur Benutzeroberfläche, die Elemente der Oberfläche für eine Adaption verändert. Die Benutzeroberfläche soll mit dem Controller kommunizieren können und dessen Methoden aufrufen.

3.3. Implementierungsentwurf

Die zu erstellende, adaptive Benutzerschnittstelle soll eigenständig auf einem Benutzersystem laufen, sodass die Eye-Tracking-Parameter als Input beim Klienten verarbeitet werden können. Durch die Abkapselung der Benutzerschnittstelle von der Technik, muss sich der Benutzer keine Gedanken um diese machen. Die Komponenten sollen modular erstellt werden, damit die Möglichkeit besteht, die Implementierung zu erweitern.

Die Eye-Tracking-Daten werden per USB an den Eye-Tracking Laptop übermittelt. Per Netzwerkverbindung können die Eye-Tracking-Daten an den Klienten versendet werden. Beim Klienten selber läuft die eigentliche Anwendung. Abbildung 3.1 veranschaulicht die Kommunikationsverbindung zwischen Eye-Tracker, Eye-Tracking-Server und Klienten.

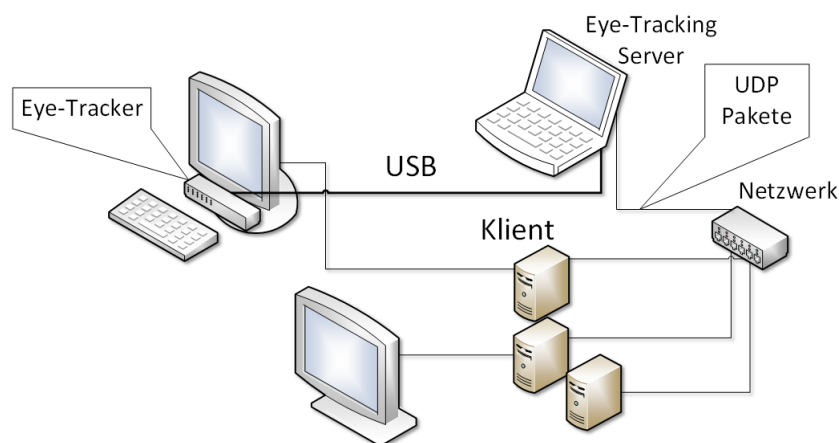


Abbildung 3.1.: Netzwerkverbindung zwischen Eye-Tracker, Eye-Tracking Server und Klienten. Der Eye-Tracker übermittelt die Eye-Tracking-Daten an den Eye-Tracking Server per USB weiter. Der Eye-Tracking Server verschickt die Daten über das Netzwerk an beliebig vielen Klienten. Die Eye-Tracking-Daten werden beim Klienten für die adaptive Benutzerschnittstelle als Input verwendet.

Die Benutzerschnittstelle verarbeitet die Eye-Tracking-Daten in einem Controller und stellt für den Benutzer eine Adaption zur Verfügung. Anhand der Daten können mögliche Adaptionen durch Aufrufe von Mustererkennungsmethoden bestimmt werden. Der Controller ruft die Benutzeroberfläche auf und passt die Darstellung an die Bedürfnisse der Benutzer an.

3.4. Beispielszenario

Die adaptive Benutzerschnittstelle soll beispielsweise durch einen Methodenaufruf berechnen, ob ein Text gelesen wird. Sofern das Lesen des Textes nicht erkannt wird, fügt der Controller eine Sprachauswahlmöglichkeit der Benutzeroberfläche bei. Wählt der Benutzer eine andere Sprache, passen sich alle grafischen Komponenten an die jeweilige Sprache an. Eine weitere Möglichkeit eine Adaption zu erstellen, ist das Einblenden von Hilfestellungen. Wird ein Bereich der Visualisierung nicht fixiert, könnte die Visualisierung einen Button einblenden. Abbildung 3.2 zeigt die Komponenten der adaptiven Benutzerschnittstelle.

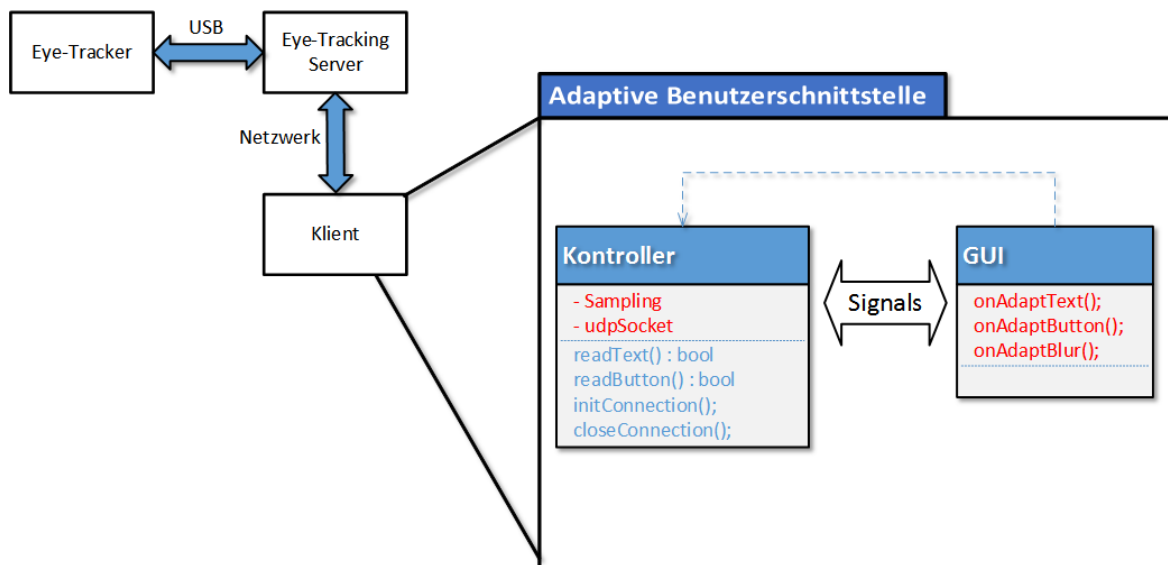


Abbildung 3.2.: Aufbau der adaptiven Benutzerschnittstelle mit den jeweiligen Komponenten. Der Klient empfängt die Eye-Tracking-Daten über das Netzwerk, verarbeitet diese in der Controller-Klasse und ruft die Benutzeroberfläche mit der adaptierten Visualisierung auf.

4. Vorstudie zur Erkennung von Expertise und Verstehen mittels Eye-Tracking

Die Vorstudie soll Erkenntnisse bezüglich der Expertise zwischen Benutzern mittels Eye-Tracking liefern. Idealerweise wird ein Benutzer als Experte oder Anfänger klassifiziert. Da die Vorstudie bereits durchgeführt ist und nicht Teil dieser Arbeit gehört, wird in diesem Kapitel nach Unterschieden zwischen Experten und Anfänger anhand der verfügbaren Eye-Tracking-Daten gesucht. Dabei sollen auch Ideen und Problemschwerpunkte für die Hauptstudie dieser Arbeit gesammelt werden. Nach der Beschreibung der Studienmethode folgen Ergebnis und Diskussionsabschnitt.

4.1. Methode

Um Unterschiede zwischen Benutzer zu finden, wird das Blickverhalten der Teilnehmer dieser Vorstudie anhand Eingangsfragen, Einblendungen von Visualisierungen, Fragen zu der Darstellung und Abschlussfragen analysiert. Die Hypothese dieser Vorstudie sagt aus, dass es Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bezüglich der Augenbewegungsdaten gibt.

4.1.1. Design

Ein kontrolliertes Experiment (Within-subjects-Design) wird durchgeführt. Die verwendeten abhängige und unabhängige Variablen für die Nullhypothesen sind in Abbildung 4.1 aufgelistet. Die unabhängige Variable ist die Expertise, die in Experten und Anfänger unterteilt ist. Bei der Wahl der abhängigen Variablen werden Parameter vom Eye-Tracker verwendet (Fixationsanzahl, durchschnittliche Fixationsdauer, Fixationsdauer insgesamt, Sakkadenanzahl, Sakkadenlänge, durchschnittliche Sakkadendauer, Sakkadendauer insgesamt).

Für die Vorstudie werden folgende sieben Nullhypothesen untersucht:

- $H_{0,1}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Fixationsanzahl.
- $H_{0,2}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Sakkadenanzahl.

4. Vorstudie zur Erkennung von Expertise und Verstehen mittels Eye-Tracking

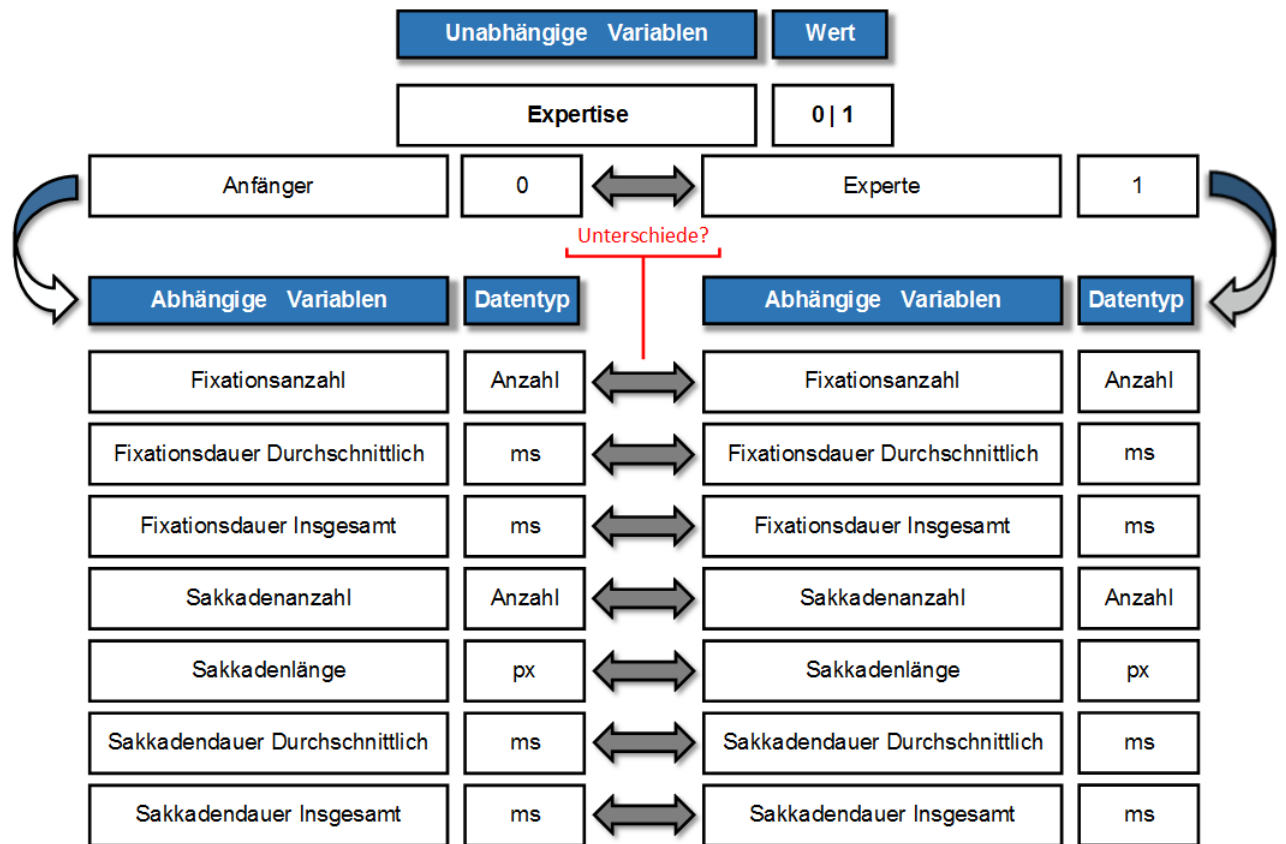


Abbildung 4.1.: Auflistung der unabhängige Variable (Expertise) und abhängige Variablen (Fixationsanzahl, durchschnittliche Fixationsdauer, Fixationsdauer insgesamt, Sakkadenanzahl, Sakkadenlänge, durchschnittliche Sakkadendauer, Sakkadendauer insgesamt). Es werden nach Unterschiede zwischen Anfänger und Experten gesucht.

- $H_{0,3}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der durchschnittlichen Fixationsdauer.
- $H_{0,4}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der durchschnittlichen Sakkadendauer.
- $H_{0,5}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Fixationsdauer insgesamt.
- $H_{0,6}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Sakkadendauer insgesamt.
- $H_{0,7}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Sakkadenlänge.

4.1.2. Teilnehmer

Im Rahmen dieser Vorstudie werden insgesamt 21 (5 weibliche) Teilnehmer rekrutiert. Alle Probanden haben mindestens einen Abiturabschluss, davon einer ein Fachabiturabschluss, und sind hauptsächlich entweder studierende oder wissenschaftliche Mitarbeiter mit einem Durchschnittsalter von 28,10 (Standardabweichung: 6,98) Jahren. Von acht Probanden mit einer Sehschwäche tragen sechs eine Brille und zwei davon Kontaktlinsen. Der Eye-Tracker hat die Probanden mit einer Frequenz von 250Hz aufgenommen. Die Augendaten werden bei 16 Teilnehmern zu über 80

4.1.3. Apparatur

Der verwendete Eye-Tracker RED 250 [Sen, 2009] von SensoMotoric Instruments wird an einem konfigurierten DELL P2210f mit 60Hz, 22 Zoll, 60Hz und einer Auflösung von 1680 x 1050 angebracht [80, 2008]. Abbildung 4.2 zeigt den am Monitor festgemachten Eye-Tracker.



Abbildung 4.2.: Studiendurchführungsumgebung: Am Monitor angebrachter Eye-Tracker (RED 250) von SensoMotoric Instruments mit platzierter Tastatur und Maus stellt den organisatorischen Aufbau dar.

Der Eye-Tracker erlaubt es den Kopf in einem 40 x 40 cm Rahmen zu bewegen. Dabei muss der Proband einen Abstand von 70cm zum Monitor haben. Der Eye-Tracker und die Stimuli-Wiedergabe werden mit einem Laptop von SensoMotoric Instruments (i7 mit 2,67 GHz und 3GB RAM) gesteuert. Die Erstellung der Stimuli wird mit dem Programm ExperimentCenter von SensoMotoric Instruments durchgeführt [Sen, 2010b].

4.1.4. Allgemeiner Ablauf

Die Vorstudie hat vier Bestandteile. Zuerst werden mit den Eingangsfragen allgemeine Informationen zum Probanden bestimmt. Nach dem Stimulus-Teil 1 und 2 mit den dazugehörigen Fragen, werden anhand der Abschlussfragen die Expertise und das Verständnis bezüglich der Visualisierungen bestimmt. Um einen Lerneffekt zu vermeiden, werden die Stimuli im ersten und zweiten Teil zufällig in einer beliebigen Reihenfolge angezeigt. Der allgemeine Ablauf wird in Abbildung 4.3 dargestellt.

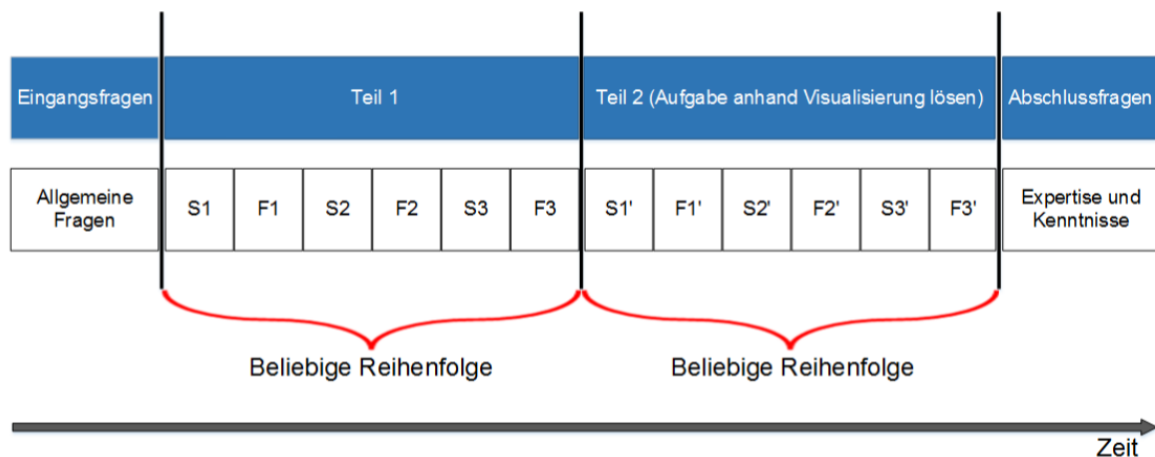


Abbildung 4.3.: Der Ablauf der Vorstudie bestehend aus vier Teilen. Eingangsfragen und Abschlussfragen und die eigentlichen Stimuli mit den dazugehörigen Fragen. Es gibt drei unterschiedliche Visualisierungsarten. Alle Stimuli aus Teil 1 haben eine ähnliche Visualisierung in Teil 2. In Teil 1 werden die Stimuli eingeblendet ohne Fragen. In Teil 2 wird eine konkrete Frage pro Stimulus gestellt. (S₁ = Stimulus 1; F₁ = Frage 1; ...)

In den Eingangsfragen werden personenbezogene Daten, wie beispielsweise das Alter, Geschlecht, Sehstärke, Beruf oder Anzahl an bereits durchgeführten Studien mit einem Eye-Tracker ermittelt. Die Daten dienen als Grundlage, um ein Benutzerprofil zu erstellen. So können fehlerhafte Augenbewegungsdaten eines Probanden auf seine Sehschwäche oder das Tragen einer Brille zurückgeführt werden (Fehlinterpretation des Eye-Trackers durch die Reflektion der Brille).

Im ersten Teil der Studie werden Visualisierungen eingeblendet. Der Benutzer soll diese ohne eine Aufgabenstellung betrachten. Die Stimuli werden jeweils 30 Sekunden angezeigt. Die Visualisierungen sind aus dem Bereich der Elektrotechnik (Verstärkerschaltung), Musik (Notenblatt) und Softwaretechnik (Entwurfsmuster eines Decorator). Diese sind in Abbildung 4.4 dargestellt.

Im zweiten Teil der Studie werden Visualisierungen aus dem Bereich der Elektrotechnik (Potentiometer), Musik (ähnliches Notenblatt wie in Teil 1) und Softwaretechnik (Entwurfsmuster eines Model-View-Controllers) gezeigt. Anhang A.1 zeigt das Entwurfsmuster eines

Abbildung 4.4 zeigt drei Stimuli, die in einer Vorstudie verwendet wurden:

- 1:** Ein Musiknotenblatt für 'Allegro vivace' von Michel Rondeau, das verschiedene Instrumentenstimmen (Sopran, Alto, Tenor, Bass, Flöte, Oboe, Klarinetten, Saxophone) zeigt.
- 2:** Ein Schaltplan eines Differenzverstärkers. Er besteht aus zwei Transistoren (Q1, Q2), zwei Kollektorkollektoren (Rc1, Rc2) und einem Emitterwiderstand (Re). Die Spannungen sind als V^+ , V^- , V_{out} und V_{in}^+ , V_{in}^- beschriftet.
- 3:** Ein UML-Klassendiagramm des Decorator-Musters. Die Klassen sind `VisualComponent` (mit `Draw()`), `TextView` (mit `Draw()`), `Decorator` (mit `Draw()` und einer Aggregation mit `component`), `ScrollDecorator` (mit `Draw()`, `ScrollTo()` und dem Attribut `scrollPosition`) und `BorderDecorator` (mit `Draw()`, `DrawBorder()` und dem Attribut `borderWidth`). Ein Callout zeigt die Methode `component->Draw()` für den Decorator und `Decorator::Draw(); DrawBorder();` für die Decoratoren.

Abbildung 4.4.: Erster Teil der Vorstudie mit den jeweiligen Stimuli. Die Visualisierungen werden ohne einer Aufgabenstellung eingeblendet (1: Notenblatt; 2: Differenzverstärker; 3: Entwurfsmuster eines Decorator).

Model-View-Controllers (oben) und Notenblatt (unten) und Anhang A.2 stellt den Potentiometer dar. Die Stimuli werden jeweils 30 Sekunden angezeigt. Die Probanden erhalten vor dem Einblenden der Stimuli eine konkrete Aufgabenstellung bezüglich der Visualisierung. Ein Teilnehmer kann den Stimulus weiter schalten, sofern dieser innerhalb der 30 Sekunden die Frage beantworten kann.

In den Abschlussfragen soll der Benutzer seine Expertise und Kenntnisse bezüglich der Visualisierungen einschätzen und angeben, woher er dieses Wissen hat.

Vor der Studiendurchführung erfolgt eine 9-Punkte-Kalibrierung, bei der ein Punkt an 9 verschiedenen Positionen auf dem Bildschirm verfolgt werden muss. Danach wird mit der Validierung die Genauigkeit der Fixationen auf dem Bildschirm verifiziert. Nach der Absolvierung der Studie erfolgt eine weitere Validierung der Augenbewegungsdaten.

4.2. Ergebnis

Die Auswertung dieser Vorstudie erfolgt mit dem Programm IBM SPSS Statistics [65, 2010] und BeGaze von SensoMotoric Instruments [Sen, 2010a].

Pro Stimulus erfolgt eine Überprüfung aller aufgestellten Nullhypothesen. Die Stimuli werden in Zeitabschnitten unterteilt. Für alle Stimuli erfolgt die Auswertung anhand der gesamten Einblendungszeit eines Stimulus. Hat ein Teilnehmer innerhalb der 30 Sekunden manuell fortgesetzt, werden die zu analysierenden Daten bis zum Zeitpunkt der Weiterschaltung verwendet.

Beim Entwurfsmuster eines Decorators werden 10 Anfänger und 11 Experten ermittelt. Die Auswertung erfolgte von null bis 4,5 Sekunden. Da weniger als 30 Datensätzen verwendet werden, soll der Shapiro-Wilk-Test die abhängige Variablen auf Normalverteilung prüfen [Razali, 2009]. Ein T-Test für unabhängige Stichproben und normalverteilter Datensätze ergibt keine signifikanten Unterschiede bezüglich der abhängigen Variablen. Beispielsweise kann kein Unterschied zwischen Experten und Anfängern bzgl. der durchschnittlichen Fixationsdauer ermittelt werden, $t(19) = 1.119$, $p = 0.277$, $r = 4.47$.

Mit dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben und nicht normalverteilter abhängiger Variablen kann kein Unterschied erkannt werden. Eine dieser Variablen ist die durchschnittliche Sakkadendauer, $U = 37.5$, $p = 0.218$, $r = -0.266$

Beim Entwurfsmuster eines Model-View-Controllers erfolgt die Auswertung von null bis sieben Sekunden mit 10 Anfänger und 11 Experten. Mit einem T-Test können keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger festgestellt werden. Beispiel mit Sakkadenlänge: $t(19) = -0.232$, $p = 0.819$, $r = 4.47$

Auch die Analyse der Notenblätter ergeben keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger. Die Prüfung der Nullhypothesen ergeben keine Signifikanzen mit $p < 0.05$.

Für beide elektrotechnische Schaltungen können keine signifikanten Unterschiede ($p < 0.05$) zwischen Experten und Anfängern gefunden werden. Die Nullhypothesen für die Notenblätter und die elektrotechnischen Schaltungen werden beibehalten.

Für alle Stimuli können keine Nullhypothesen verworfen werden, um Alternativhypothesen anzunehmen.

4.3. Diskussion

Die Vorstudie soll Erkenntnisse für unterschiedliche Benutzerexpertise liefern. Die Überprüfung der Hypothesen ergibt, dass es keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger für die getesteten abhängigen Eye-Tracking-Parameter (Fixationsanzahl, durchschnittliche Fixationsdauer, Fixationsdauer insgesamt, Sakkadenanzahl, Sakkadenlänge, durchschnittliche Sakkadendauer, Sakkadendauer insgesamt) gibt.

Bei der Auswertung der Datensätze zeigt sich, dass es Schwierigkeiten gibt, die Teilnehmer in Experten und Anfänger bzgl. ihrer Expertise einzuteilen. Anhand der Fragestellungen im zweiten Teil für den Elektrotechnik- und den Softwaretechnikbereich ist eine Unterteilung in Experten und Anfänger schwierig. Mit der geringen Teilnehmeranzahl (21 Probanden) und zusätzlichen Fehlinterpretationen der Augenbewegungsdaten bei sechs Probanden sind statistischen Signifikanzen mit weniger als 30 Datensätzen möglicherweise nicht verwendbar [Field and Hole, 2003].

Es müssen weitere Studien zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten zwischen Experten und Anfängern erfolgen. Eine neue Studie soll mit mehr Visualisierungen aus unterschiedlichen Bereichen und gezielten Fragestellungen (zum Ermitteln von Experten und Anfängern) Erkenntnisse bzgl. des Blickverhaltens zwischen den Gruppenmitglieder liefern.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird eine Analyse einer Vorstudie zum Finden von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten bezüglich des Blickverhaltens durchgeführt. Die Untersuchung der Augenbewegungsdaten der Probanden zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen Experten und Anfängern gibt.

5. Hauptstudie zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten

Um eine adaptive Benutzerschnittstelle zu implementieren, sollen Erkenntnisse aus der Hauptstudie für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten zwischen Experten und Anfänger anhand der Eye-Tracking-Parameter gefunden werden. Nach der Beschreibung der Hauptstudie folgen Ergebnis und Diskussionsteil.

5.1. Methode

In dieser Hauptstudie sollen nach Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bezüglich der Augenbewegungsdaten gefunden werden. Die Probanden müssen gezielte Fragen anhand der Visualisierung beantworten. Die Studie besteht aus vier Teilen. Diese bestehen aus den Eingangs- und Abschlussfragen, die benutzerspezifische Daten ermitteln, und zwei Stimuli-Teilen. Der erste Stimuli-Teil soll mittels einer konkreten Frage die Benutzerexpertise bezüglich der Visualisierung feststellen. Der zweite Teil dient zur Analyse der unterschiedlichen Augenbewegungen zwischen Experten und Anfängern. Die Hypothese der Hauptstudie ist, dass es Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bezüglich des Blickverhaltens gibt.

5.1.1. Design

In dieser Hauptstudie wird ein kontrolliertes Experiment (Within-subjects-Design) durchgeführt. Alle Probanden erhalten gleiche Studienbedingungen. Es werden die gleichen abhängige und unabhängige Variablen wie in der Vorstudie (vgl. Abbildung 4.1) verwendet. Folgende abhängige Variablen zum Testen der unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten kommen hinzu:

- maximale Fixationsdauer
- minimale Fixationsdauer
- maximale Sakkadendauer
- minimale Sakkadendauer
- Blinzel-Häufigkeit

Für die Hauptstudie werden folgende 11 Nullhypothesen untersucht:

- $H_{0,1}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Fixationsanzahl.
- $H_{0,2}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Sakkadenanzahl.
- $H_{0,3}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der durchschnittlichen Fixationsdauer.
- $H_{0,4}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der durchschnittlichen Sakkadendauer.
- $H_{0,5}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Fixationsdauer insgesamt.
- $H_{0,6}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Sakkadendauer insgesamt.
- $H_{0,7}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der maximalen Fixationsdauer.
- $H_{0,8}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der maximalen Sakkadendauer.
- $H_{0,9}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der minimalen Fixationsdauer.
- $H_{0,10}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Sakkadenlänge.
- $H_{0,11}$: Es gibt keinen Unterschied zwischen Experten und Anfängern bezüglich der Blinzel-Häufigkeit

5.1.2. Teilnehmer

An der Hauptstudie haben insgesamt 24 (vier weibliche) Probanden mit einem Durchschnittsalter von 24,46 (Standardabweichung: 2,2) Jahren teilgenommen. Alle Teilnehmer haben mindestens einen Abiturabschluss. Die Teilnehmer sind hauptsächlich Informatikstudenten (18 Teilnehmer). Die restlichen Probanden sind aus anderen Studiengängen (vier Teilnehmer) oder wissenschaftliche Mitarbeiter (zwei Teilnehmer). Von neun Probanden mit einer Sehschwäche tragen fünf eine Brille, drei davon Kontaktlinsen und einer keins von beiden. Ein Teilnehmer hat Probleme mit dem Farbsehen und konnte eine Aufgabe nicht Absolvieren. Die Probanden erhalten eine Vergütung von 5€ für die Teilnahme an der Studie.

5.1.3. Apparatur

Die verwendeten Geräte und verwendete Software sind die gleichen wie in der Vorstudie und können im Abschnitt 4.1.3 der Vorstudie nachgelesen werden. Bei der Wahl der Stimuli und Fragen unterscheidet sich die Hauptstudie von der Vorstudie. Da in der Hauptstudie mehr Stimuli genutzt werden, ist die Durchführungszeit pro Proband länger als in der Vorstudie.

Die Studie ist in vier Teilen gegliedert und wird in Abbildung 5.1 dargestellt.

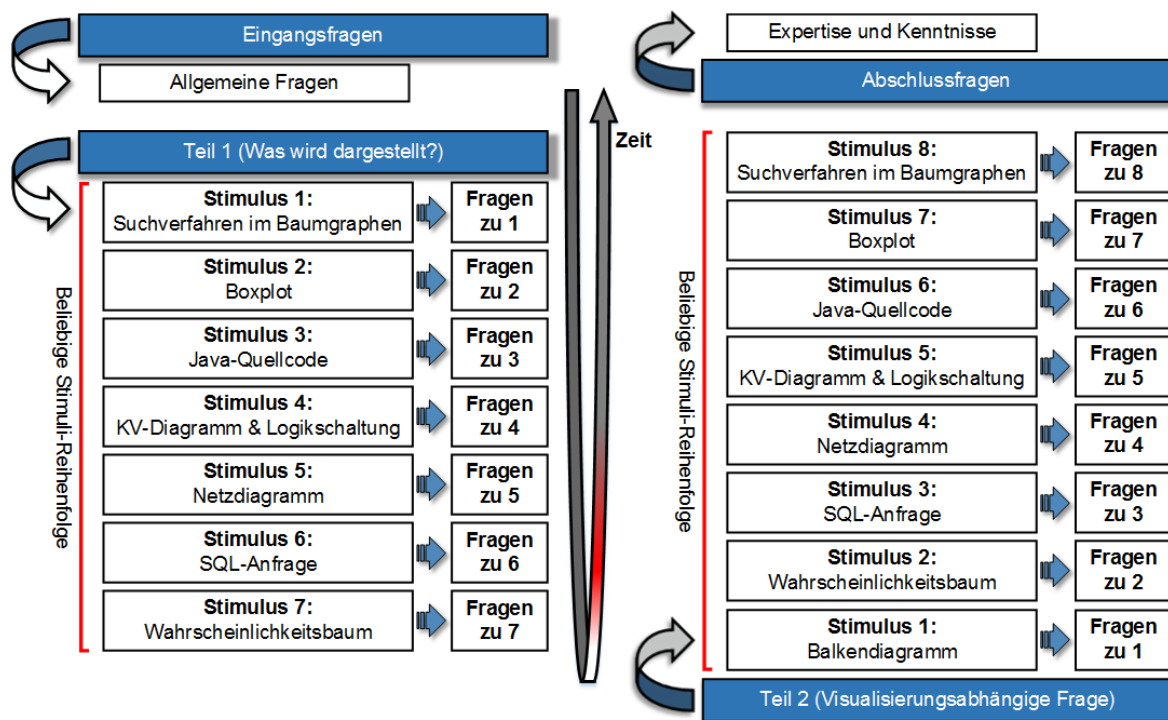


Abbildung 5.1.: Der Ablauf der Studie bestehend aus vier Phasen. Die Durchführungsreihenfolge ist die folgende: Eingangsfragen, die eigentlichen Stimuli (Teil 1 dann Teil 2) mit den dazugehörigen Fragen und die Abschlussfragen. In Teil 1 wird gefragt, was dargestellt wird, wohingegen in Teil 2 eine Frage anhand der Visualisierung zu beantworten ist. Die Stimuli Reihenfolge ist beliebig, um Lerneffekte auszuschließen.

Wie auch in der Vorstudie werden in den Eingangsfragen die personenbezogenen Daten ermittelt, um ein Benutzerprofil mit der dazugehörigen Expertise bezüglich der Visualisierungen zu erstellen. Im ersten Stimuli-Teil werden dem Teilnehmer sieben unterschiedliche Visualisierungen aus dem Bereich der Informatik (Suchverfahren im Baumgraphen und SQL-Anfrage), der Informationsvisualisierung (Boxplot und Netzdiagramm), der Softwaretechnik (Java-Quellcode), der Digitaltechnik (KV-Diagramm & Logikschaltung) und der Stochastik (Wahrscheinlichkeitsbaum) angezeigt. Der Proband hat je nach Visualisierungsart

5. Hauptstudie zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten

10-30 Sekunden die Visualisierung zu verstehen. Danach sollen anhand Fragen die Expertise (Anfänger oder Experte) bezüglich der Visualisierung festgestellt werden. Der Proband muss beantworten können was Dargestellt wird und sein Verständnis mit der Visualisierung selbsteinschätzend (Notenskala von sehr gut bis sehr schlecht) angeben. Anhang A.3 zeigt alle sieben Visualisierungen, die im ersten Teil der Studie angezeigt werden.

Im zweiten Teil der Studie müssen die Probanden eine gezielte Frage anhand der Darstellung lösen. Die Visualisierungen ähneln denen aus dem ersten Teil. Im Bereich der Informationsvisualisierung wird zusätzlich ein Balkendiagramm angezeigt. Die Stimuli-Dauer beträgt zwischen 30 Sekunden und einer Minute.

Für die Stimuli aus dem Bereich der Informationsvisualisierung wird vom Teilnehmer eine Suche und Zuordnung von Informationen verlangt. Beim Balkendiagramm (Anhang A.5) müssen vier Buchstaben anhand der Visualisierung sortiert werden. In der Boxplot-Visualisierung (Anhang A.7) müssen zwei Boxplots mit den meisten Datensätzen ermittelt werden. Beim Netzdiagramm (Anhang A.7) müssen Attribute anhand von zwei Beschriftungen aus der Legende verglichen werden. Bei den Stimuli aus dem Bereich der Informatik müssen Datensatzinformationen in einer SQL-Anfrage (Anhang A.7) und beim Suchverfahren in einem Baumgraphen (Anhang A.7) gefunden werden. Der Teilnehmer muss beim Suchverfahren in einem Baumgraphen die letzten zwei Knoten einer Tiefensuche angeben. Bei der SQL-Anfrage sollen aus zwei Tabellen die richtigen Tabellen-Einträge gefunden werden (Anhang A.3).

Im Bereich der Softwaretechnik muss nach einem Fehler in einem Java-Quellcode gesucht werden (Anhang A.3). Aus dem Bereich der Digitaltechnik sollen Informationen zwischen KV-Diagramm und der dazugehörigen Logikschaltung verglichen werden (Anhang A.3). Mit der letzten Visualisierung aus dem Bereich der Stochastik soll mit einer Durchsuchung des Wahrscheinlichkeitsbaumes die Möglichkeiten gezählt werden, dass ein Ereignis eintritt (Anhang A.5).

Die Abschlussfragen sollen die Expertise und Kenntnisse bezüglich der Visualisierungen ermitteln. Der Teilnehmer muss angeben, woher er die Kenntnisse hat und auf einer Skala von 1 (sehr hoch) bis 5 (äußerst gering) seine Expertise einschätzen.

Wie auch in der Vorstudie wird eine Kalibrierung und Validierung vor dem eigentlichen Experimentstart durchgeführt. Eine abschließende Validierung folgt am Ende der Studiedurchführung.

5.1.4. Verfahren

Damit die Studie für alle Probanden unter denselben Bedingungen erfolgt, wird für die Hauptstudie ein Studienleitfaden befolgt. Anhang zeigt was vor (links) und während (rechts) einer Studiendurchführung beachtet werden soll. Es gibt noch weitere Aspekte die zum Durchführen einer Studie hilfreich sein können [SOVA, 2003] [Holmqvist, Nystrom, Andersson, Dewhurst, Jarodzka, and van de Weijer, 2011]. Beim Aufklären zum Ablauf der Studie wird dem Probanden den Sinn und Zweck der Studie verschwiegen, damit sein Verhalten

beim Absolvieren der Aufgaben nicht Beeinflussbar ist und die Ergebnisse verfälscht [Glaser and Kihlstrom, 2005].

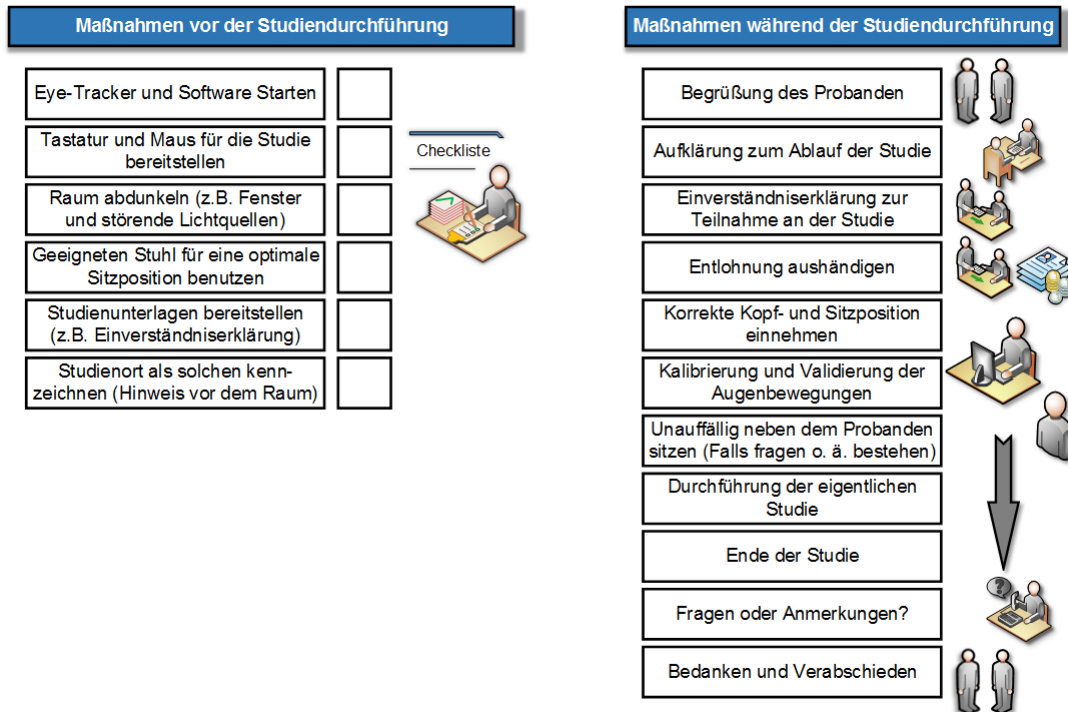


Abbildung 5.2.: Studienleitfaden der vor (links) und während (rechts) einer Studiendurchführung zu beachten ist.

5.2. Ergebnis

Die Auswertung erfolgt wie in der Vorstudie mit dem Programm IBM SPSS Statistics [65, 2010] und BeGaze von SensoMotoric Instruments [Sen, 2010a].

Die Probanden werden mit einer Frequenzrate von 60Hz erfasst. Diese Frequenzrate ist weniger Fehleranfällig als mit 120Hz, da Kopfbewegungen während der Durchführung möglich sind [Sen, 2009]. Die Augen der Teilnehmer werden zu 90% erkannt. In der restlichen Aufnahmezeit sind die Augen geschlossen oder können durch das Bewegen des Kopfes nicht erkannt werden. Bei drei Teilnehmern sind die Augenbewegungsdaten zum Teil fehlerhaft. Die Augenerfassungsrate betrug bei diesen Probanden zwischen 71% - 79%.

Mit einer visuellen Analyse (Fokus- und Heat-Map, Suchpfad und AOI Sequence Chart) können die Augenbewegungsdaten aus der Hauptstudie Unterschiede zwischen Experten und Anfänger visualisieren, jedoch nicht verifiziert werden. Abbildung A.4 zeigt eine Fokus-Map des Netzdiagramms für einen Experten (oben) und Anfänger (unten). Der Experte

5. Hauptstudie zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten

fokussiert die relevanten Datensatzvergleiche, um die richtigen Attribute auszuwählen. Der Anfänger betrachtet irrelevante Bereiche der Visualisierung. Um eine Auswertung anhand eines AOI Sequence Charts zu erstellen, zeigt Anhang A.4 die definierten AOIs auf den Stimuli. Mit dem AOI Sequence Chart können Muster in den Augenbewegungen anhand der Reihenfolge der fixierten AOIs erkannt werden. Abbildung 5.3 veranschaulicht ein AOI Sequence Chart für die Fehlersuche im Javacode. Proband (Nr1) liest den Text nicht vollständig und sucht den Fehler im fehlerfreien Teil des Quellcodes (fehlerfreier Bereich ist in der Frage angegeben). Erst als der Teilnehmer im späteren Verlauf (ab ca. 25 Sekunden) den Fragetext vollständig liest, werden andere Teile des Quellcodes fixiert.



Abbildung 5.3.: AOI Sequence Chart für die Fehlersuche in einem Javacode für 20 Probanden. Die definierten AOIs werden zeitlich in der Fixationsreihenfolge vom Probanden besucht.

Pro Stimulus aus dem zweiten Stimuli-Teil der Hauptstudie erfolgt eine Überprüfung aller aufgestellten Nullhypothesen. Die Stimuli werden in Zeitabschnitten unterteilt. Für alle Stimuli erfolgt die Auswertung anhand der gesamten Einblendungszeit eines Stimulus. Hat ein Teilnehmer je nach Visualisierung innerhalb der 30 Sekunden bis 1 Minute manuell fortgesetzt, werden die zu analysierenden Daten bis zum Zeitpunkt der Weiterschaltung verwendet. Mit dem Shapiro-Wilk-Test werden im Folgenden die abhängigen Variablen auf Normalverteilung überprüft. Beim Balkendiagramm werden 18 Experten und fünf Anfänger ermittelt. Für die Auswertung wird der Stimulus in Zeitabschnitten unterteilt. Der erste Proband ist nach 19 Sekunden fertig. Die Auswertung erfolgt in fünf Schritten (0 bis 5, 5 bis 10, ..., 15 bis 19 Sekunden) und Erhöhung um fünf Sekunden für unterschiedliche Startwerte (0 bis 10, 0 bis 15, 0 bis 19; 5 bis 10, 5 bis 15, 5 bis 19; ... 10 bis 19 Sekunden). Ein Teilnehmer (Nr20) wird durch Fehlinterpretation der Augenbewegung ausgeschlossen.

Mit einem T-Test für unabhängige Stichproben und einer Normalverteilung der abhängigen Variablen können keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger festgestellt werden. Die abhängige Variable *maximale Fixationsdauer* (im Abschnittsintervall 10 bis 15 Sekunden) hat das kleinste Signifikanzniveau ($t(21) = -1.378$, $p = .183$ und $r = .29$). Die Signifikanz zum Verwerfen der Nullhypothese ist nicht gegeben. Es gibt keinen Unterschied (im Intervall 10 bis 15 Sekunden) für die *maximale Fixationsdauer* zwischen Experten (*Median* = 516.6, *SD* = 197.3) und Anfänger (*Median* = 375.4, *SD* = 78.6). Für die nicht normalverteilte abhängige Variable *Fixationsdauer insgesamt* kann (im Abschnittsintervall 15 bis 19 Sekunden) mit dem Mann-Whitney-U-Test eine schwache Signifikanz entdeckt werden ($U = 21$, $Z = -1.789$, $p = .074$, $r = -.37$). Die Effektstärke mit $r = -.37$ sagt aus, dass es einen annehmbaren Unterschied bzgl. der *Fixationsdauer insgesamt* zwischen Experten (*Median* = 3424.5ms, *SD* = 356.6ms) und Anfänger (*Median* = 3219.8ms, *SD* = 104.5ms) im Intervall von 15 bis 19 Sekunden gibt. Da p ein Signifikanzniveau über .05 hat, kann die Nullhypothese nicht verworfen werden. Es können keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger für das Balkendiagramm festgestellt werden. Die Nullhypothesen werden beibehalten.

Für das Boxplot werden vier Experten und 19 Anfänger bestimmt. Ein Teilnehmer (Nr20) wird wegen fehlerhafter Erkennung der Augen ausgeschlossen. Der Stimulus wird bis 25 Sekunden analysiert (0 bis 5, ..., 20 bis 25 Sekunden und 0 bis 10, ..., 0 bis 25 Sekunden). Mit einem T-Test können beispielsweise für die *maximale Sakkadendauer* (im Intervall von 0 bis 25 Sekunden) einen signifikanten Unterschied zwischen Experten (*Median* = 358.3ms, *SD* = 114.9ms) und Anfänger (*Median* = 200ms, *SD* = 62.5ms) festgestellt werden ($t(21) = -3.762$, $p = .001$, $r = .63$). Die Effektstärke ist mit $r = .63$ gering (für $p < .5$ ist die Effektstärke groß [Field and Hole, 2003]), sodass ein kleiner Unterschied zwischen Experten und Anfänger besteht. Mit dem Mann-Whitney-U-Test werden für die nicht normalverteilten Variablen *Fixations-* und *Sakkadenanzahl* (im Intervall von 0 bis 10 Sekunden) signifikante Unterschiede zwischen Experten (*Fixationsanzahl: Median* = 44.5, *SD* = 2.3; *Sakkadenanzahl: Median* = 43.5, *SD* = 3.4) und Anfängern (*Fixationsanzahl: Median* = 38, *SD* = 4.7; *Sakkadenanzahl: Median* = 37, *SD* = 4.7) festgestellt. Für die *Fixationsanzahl* ($U = 4.5$, $Z = -2.724$, $p = .006$, $r = -.56$) und die *Sakkadenanzahl* ($U = 7$, $Z = -2.53$, $p = .011$, $r = -.52$) kann in beiden Fällen ein großer Effekt ermittelt werden. Da die Gruppe mit vier Experten sehr klein ausfällt, sind die Erkenntnisse der Tests ungeeignet.

Es können sieben Experten und 15 Anfänger beim Javacode-Stimulus ermittelt werden. Zwei Teilnehmer (Nr15 und Nr20) werden aus der Auswertung wegen Fehlinterpretationen der Augenbewegung entfernt. Die Auswertung erfolgt ab null bis 25 Sekunden in fünf Schritten (0 bis 5, ..., 20 bis 25; 0 bis 10, ..., 0 bis 25; 5 bis 15, ..., 15 bis 25 Sekunden). Die Auswertung mit dem T-Test und Mann-Whitney-U-Test ergeben keine signifikanten Unterschiede zwischen Experten und Anfänger beim Suchen eines Fehlers im Java-Quellcode.

Für das KV-Diagramm & die Logikschaltung werden fünf Experten und 16 Anfänger festgestellt. Die Augenbewegung von zwei Teilnehmer (Nr15 und Nr16) werden vom Eye-Tracker nicht erkannt und müssen für die Auswertung ausgeschlossen werden. Die Auswertung des Stimulus erfolgte bis zur neunzehnten Sekunde in fünf Schritten (0 bis 5, ..., 15 bis 19; 0 bis 10, ..., 0 bis 19; 5 bis 15 Sekunden, ...). Mit dem T-Test kann (im Intervall von 0 bis 5 Sekunden) ein signifikanter Unterschied für die abhängige Variable *Sakkadendauer insgesamt*

5. Hauptstudie zum Erkennen von unterschiedlichen Benutzerfähigkeiten

zwischen Experten ($Median = 566.7ms$, $SD = 127.6ms$) und Anfänger ($Median = 816.9ms$, $SD = 221.8ms$) festgestellt werden ($t(20) = 2.128$, $p = .046$, $r = .42$). Es wird eine große Effektstärke ($r = .42$) ermittelt, sodass die Nullhypothese $H_{0,6}$ verworfen werden soll. Auch mit dem Mann-Whitney-U-Test kann (im Intervall von 0 bis 5 Sekunden) statistisch ein Unterschied für den Parameter *maximale Sakkadendauer* zwischen Experten ($Median = 66.8ms$, $SD = 46.2$) und Anfänger ($Median = 150ms$, $SD = 109.5ms$) berechnet werden ($U = 15$, $Z = -2.159$, $p = .031$, $r = -.46$). Eine nicht kleine, jedoch nicht große Effektstärke ($r = -.46$) sagt aus, dass es einen verwendbaren Unterschied gibt. Da wie auch beim Boxplot die Experten-Gruppe verhältnismäßig klein ausfällt, sind diese Erkenntnisse nicht Verwendbar.

Für das Netzdiagramm werden fünf Experten und 16 Anfänger bestimmt. Drei Probanden (Nr₃, Nr₁₅, Nr₂₀) sind durch Fehlinterpretation der Augenbewegung ausgeschlossen. Die Auswertung erfolgt bis zur fünfzehnten Sekunde in fünfersritten (0 bis 5, ... 10 bis 15; 0 bis 10, 0 bis 15 Sekunden, ...). Es können keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bzgl. der abhängigen Variablen festgestellt werden.

Bei der SQL-Anfrage gibt es sieben Experten und 16 Anfänger. Dabei ist ein Teilnehmer (Nr₂₀) durch nicht erkannte Augenbewegungen entfernt. Der Stimulus wird bis zur neunundzwanzigsten Sekunde ausgewertet. Ein Anfänger hat nach 10 Sekunden weiter geschaltet. Dieser ist für eine Auswertung ab der zehnten Sekunde ausgeschlossen. Die Auswertung erfolgt in zeitlich eingeteilten Intervallen (0 bis 5, ..., 0 bis 29; 5 bis 10, ... 25 bis 29; 5 bis 15, ..., 20 bis 29 Sekunden, ...). Mit einem T-Test können im Intervall 15 bis 20 für die abhängige Variable *Fixationsdauer insgesamt* signifikante Unterschiede zwischen Experten ($Median = 4199.800ms$, $SD = 367ms$) und Anfänger ($Median = 4599.5ms$, $SD = 217.1ms$) bestimmt werden ($t(20) = 2.765$, $p = .012$, $r = .52$). Durch die geringe Effektgröße kann ein kleinen Unterschied zwischen Experten und Anfänger bzgl. der *Fixationsdauer insgesamt* ermittelt werden.

Beim Auswerten des Wahrscheinlichkeitsbaumes werden fünf Experten und 17 Anfänger bestimmt. Ein Teilnehmer (Nr₂₀) wird durch Fehlinterpretation der Augen ausgeschlossen. Die Auswertung erfolgt bis zur vierzehnten Sekunde und ist in Zeitabschnitten unterteilt (0 bis 5, 5 bis 10, 10 bis 14; 0 bis 10, 0 bis 14; 5 bis 14 Sekunden). Bei der Überprüfung der Nullhypothesen mit dem T-Test und Mann-Whitney-U-Test können keine signifikanten Unterschiede zwischen Experten und Anfänger für die abhängigen Variablen gefunden werden. Beim Suchverfahren im Baumgraphen sollen die Probanden eine Tiefensuche durchführen. Dabei vergleichen sieben Probanden die Kantenkosten bei einer Tiefensuche und wählen die Kante aus, die den kleineren Wert hat. Für diesen Stimulus werden drei Gruppenmitglieder festgelegt. Es gibt neun Anfänger, sieben Experten und sieben weitere Experten, bei denen die Kantenkosten zum Lösen der Visualisierung genutzt werden. Ein Teilnehmer (Nr₂₀) wird durch Fehlinterpretation der Augen ausgeschlossen. Die Auswertung erfolgt in Zeitabschnitten bis zur vierzehnten Sekunde (0 bis 5, 0 bis 10, 0 bis 14; 5 bis 10, 10 bis 14; 5 bis 14 Sekunden). Mit einer Varianzanalyse (ANOVA) werden signifikante Unterschiede im Intervall 0 bis 15 Sekunden für die normalverteilte abhängige Variable *durchschnittliche Sakkadendauer* zwischen Anfängern ($Median = 34.1ms$, $SD = 7ms$), Experten ($Median = 24.5ms$, $SD = 6.8ms$) und Experten mit einer anderen Lösung ($Median = 26.3ms$, $SD = 1.5ms$) bestimmt ($F(2, 20) = 4.317$, $p = .028$, $\eta^2 = .3$). Eine weitere hohe Signifikanz wird mit dem Kruskal-Wallis-Test für die nicht normalverteilte abhängige Variable *maximale*

Sakkadendauer zwischen Anfänger (*Median* = 150.1ms, *SD* = 62.3ms), Experten (*Median* = 66.7ms, *SD* = 50ms) und Experten mit einer anderen Lösung (*Median* = 116.6ms, *SD* = 17.8ms) gefunden ($H(2) = 9.517, p = .009$).

5.3. Diskussion

In dieser Hauptstudie soll nach Unterschieden zwischen Experten und Anfänger bzgl. der Augenbewegungen für unterschiedliche Visualisierungsarten gesucht werden, um anhand geeigneter Erkenntnisse eine adaptive Benutzerschnittstelle zu implementieren. Die Auswertung der Studie ergibt, dass keine Unterschiede zwischen Experten und Anfänger anhand der benutzten Auswertemethoden (Heat- und Focus-Map, Suchpfad-Visualisierung, AOI Sequence Chart und statistische Tests) festgestellt werden. Bei der Verwendung von T-Tests, Mann-Whitney-U-Tests, ANOVA-Tests (für Gruppengröße > 2) und Kruskal-Wallis-Tests (für Gruppengröße > 2) können vereinzelt für die verwendeten Visualisierungen signifikante Unterschiede zwischen Experten und Anfänger identifiziert werden. Da die Gruppengrößen pro Stimuli äußerst klein ausfallen, sind die ermittelten Signifikanzen nicht verwendbar.

Ein Problem der Hauptstudie ist, dass bei einer geringen Teilnehmeranzahl signifikante Unterschiede nicht festgestellt werden können. Sind in einer Gruppe fünf Probanden und in der anderen 15, ist die Aussagekraft der Tests gering [Razali, 2009]. Ein weiteres Problem ist, dass allgemeine statistische Auswertungen keine Suchmuster oder Augenbewegungsreihenfolgen analysieren können. Eine Analyse der Suchpfade beispielsweise mit der Methode von Feusner et al. [Feusner and Lukoff, 2008] könnte neue Erkenntnisse für die Hauptstudie liefern.

6. Implementierung

Dieses Kapitel beschreibt die Implementierung der adaptiven Benutzerschnittstelle, die Anpassungen beim Lesen eines Textes oder beim Betrachten der Visualisierung mittels eines Eye-Trackers durchführt. Im Folgenden sind die Anforderungen an die Benutzerschnittstelle und die verwendeten Bibliotheken beschrieben. Nach der Auflistung der einzelnen Soft- und Hardwarekomponenten wird die adaptive Benutzerschnittstelle vorgestellt und Ideen zur Weiterverwendung und Erweiterung erläutert.

6.1. Anforderungen

Bei der Erstellung einer Benutzerschnittstelle sollen Anforderungen die erforderlichen Schritte, Möglichkeiten und erwartende Problematik schildern.

Anforderung 1 Eine adaptive Benutzerschnittstelle mittels Eye-Tracking benötigt eine Schnittstelle, die Zugriff auf die Daten des Eye-Trackers erlaubt.

Anforderung 2 Die Eye-Tracking-Daten sollen in einer Datei abgespeichert werden, damit eine Analyse des Blickverhaltens anhand der Daten möglich ist.

Anforderung 3 Der Aufbau der adaptiven Benutzerschnittstelle erfolgt modular. Durch fest definierte Komponenten können die Daten und Funktionen zu einer Programmeinheit zusammengefasst werden. Dadurch ist eine Modifizierung der Module möglich.

Anforderung 4 Die einzelnen Komponenten müssen so erstellt werden, dass die Funktionen weiter verwendet und erweitert werden können.

Anforderung 5 Die Benutzerschnittstelle muss die empfangenen Eye-Tracking-Daten verwalten. Beim Betrachten eines Textes oder anderer visueller Elemente soll eine Adaption durchgeführt werden.

6.2. Lösungen

Um die Anforderungen zu verwirklichen, wird die grafische Bibliothek Qt [83, 2013] verwendet. Diese erlaubt eine einfache Bedienung und die Möglichkeit grafische Oberflächenelemente mit der Programmlogik zu verknüpfen. Damit die Netzwerkkommunikation zwischen Eye-Tracking Server und der Benutzerschnittstelle realisiert werden kann, werden zwei Methoden verwendet. Die Kommunikation erfolgt mit dem *EIToolkit* [87, 2012], das Daten per UDP-Broadcast versendet. Ist es wünschenswert die Eye-Tracking-Daten nicht nur im gleichen Netzwerk zu erhalten, werden UDP-Sockets zum Verbindungsaufbau verwendet. Eine Kommunikation über ein UDP-Socket hat den Vorteil, dass die gleichen Daten an mehreren Orten verfügbar sind, sodass beispielsweise Berechnungen parallelisiert werden können. Falls eine Analyse des Blickverhaltens eines Benutzers beim Interagieren mit der Benutzerschnittstelle benötigt wird, kann die Eye-Tracking Anwendung die Augenbewegungsdaten in einer Text-Datei abspeichern. Um die Eye-Tracking-Daten verwalten zu können, erkennt die Komponente **QControllAdapter** die empfangenen Datensätze und schickt mögliche Adaptionen an die GUI (Graphical User Interface) weiter.

6.3. Komponenten

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Komponenten vorgestellt. Die adaptive Benutzerschnittstelle besteht aus einer Schnittstellen-, Controller- und Benutzeroberflächenkomponente. Um mit dem Eye-Tracking Server zu kommunizieren, ist die Schnittstelle der Eye-Tracking Anwendung erweitert. Abbildung 3.2 zeigt die verwendeten Komponenten der Implementierung

6.3.1. Schnittstellen

Die Schnittstelle der Eye-Tracking Anwendung wird mit dem Einbinden des *EIToolkit* und das Hinzufügen eines UDP-Sockets erweitert. Die API stellt die benötigten Datensätze bereit, sodass diese nur noch durch ein *EIToolkit*- und UDP-Socket-Sender an die Benutzerschnittstelle verschickt werden muss. Damit die Kommunikation mit dem *EIToolkit* erfolgen kann, wird dieses in die Eye-Tracking Anwendung und in die **QControllAdapter**-Komponente als Netzwerkschnittstelle integriert. Der *EIToolkit*-Server ist in Listing 6.1 gezeigt. Der *EIToolkit*-Klient in der **QControllAdapter**-Komponente ist in Listing 6.2 aufgeführt

Damit die GUI- und der **QControllAdapter**-Komponente kommunizieren kann, werden anhand von **signals** (Kommunikation mit der GUI) und einem **qmlRegisterType** (registriert die **QControllAdapter**-Komponente in der GUI) die Verbindung aufgebaut. Die GUI kann die Funktionen des **QControllAdapter** aufrufen.

Listing 6.1 Aufbau des EIToolkits-Senders.

```

1 EI::Sender sender(EI::Description("Sender", "Receiver"), EI::StringMap());
2 EI::DataMessage msg("Sender");
3
4 int __stdcall SampleCallbackFunction(SampleStruct sampleData)
5 {
6     std::stringstream ss;
7     ss << "Sample: " << sampleData.timestamp << " " << ←
8         sampleData.leftEye.gazeX << " " << sampleData.leftEye.gazeY << " " << ←
9         sampleData.leftEye.diam << " " << sampleData.rightEye.diam << "\n";
10    msg.setString("msg", ss.str());
11    sender.sendMessage(msg);
12 }

```

Listing 6.2 Aufbau des EIToolkits-Receiver.

```

1 void ExampleListener::onMessage(EI::DataMessage p)
2 {
3     QString data = QString::fromStdString(p.getString("msg"));
4 }
5
6 EI::StringMap options;
7 EI::Receiver receiver(options);
8 ExampleListener listener;
9 receiver.addDataListener(&listener);

```

6.3.2. Controller

Um Signale an die GUI zu senden, wird die **QControllAdapter**-Komponente von der **QObject**-Klasse abgeleitet. Diese ist die Basisklasse aller Qt-Bibliotheks-Klassen und ermöglicht die Kommunikation mit der GUI mittels **signals**. Im **QControllAdapter** sind neben den Methoden zum Empfangen von Nachrichten und zum Erzeugen einer Kommunikation mit der Eye-Tracker Anwendung auch zwei weitere Funktionen für eine Adaption implementiert. Mit der Methode **readText()** kann bestimmt werden, ob der jeweilige Benutzer einen Text liest und schickt ein Signal an die GUI. Der verwendete Algorithmus scannt eine Abfolge von Fixationen innerhalb eines Textbereiches. Aufeinanderfolgende Fixationen müssen nebeneinander liegen und sich innerhalb des Textes befinden. Listing 6.3 zeigt den Algorithmus als Pseudocode zum Bestimmen, ob ein Text gelesen wird. Eine ähnliche Methode **readButton()** kann verwendet werden, um adaptiv Hilfestellungen der Darstellung beizufügen, einen Button blinken zu lassen oder Elemente farblich hervorzuheben. Sofern der Button innerhalb einer definierten Zeit nicht fixiert wird, sendet die Methode **readButton()** ein Signal an die GUI.

Listing 6.3 Pseudocode Algorithmus zum Bestimmen, ob ein Text gelesen wird.

```
1 readText(Samples, AOI)
2     if (Erstes Sample mit Fixation auf Startwort)
3         for (i=0 to Samples.size)
4             if ((Sample.X-Pos(i + 1) - Sample.X-Pos(i) > ←
                    Dispersion_Radius) &
5                 (Sample.Y-Pos(i + 1) - Sample.Y-Pos(i) > ←
                    Dispersion_Radius)
6                 startAdaption;
7     textIsRead;
```

6.3.3. Benutzeroberfläche

Beim Auslösen von Signalen des Kontrollers werden die grafischen Elemente der Benutzeroberfläche für eine Adaption angepasst. Wird das Signal **onAdaptText** erkannt, blendet die Benutzeroberfläche eine Sprachauswahl ein. Beim Triggern des Signals **onAdaptButton** wird ein Button in die Visualisierung eingeblendet. Dieser kann je nach Adaptionsart aufblinken oder Bereiche in der Visualisierung hervorheben.

6.4. Demonstration der Benutzerschnittstelle

Der Demonstrator verwendet die Stimuli aus der Hauptstudie, um die Funktionalität der adaptiven Benutzerschnittstelle zu überprüfen. Es sollen Frage anhand der Darstellungen gelöst werden. Sobald die erste Visualisierung eingeblendet wird, startet die Verbindung mit dem Eye-Tracking Server. Die empfangenen Datensätze werden in den Methoden **readText()** und **readButton()** ausgewertet. Versteht der Benutzer den angezeigten Text nicht oder wird dieser missachtet, sendet **readText()** ein Signal an die GUI und eine Sprachauswahl erscheint. Abbildung 6.1 zeigt ein Beispiel vor (links) und während (rechts) der Einblendung einer Sprachauswahl. Wird der zu lesende Text erkannt, deaktiviert sich die Sprachauswahl und die eigentliche Interaktion kann erfolgen. Das Signal **onStartButton** in der Methode **readButton()** erfolgt, sofern ein definierter Bereich der Visualisierung nicht fixiert wird. Der eingeblendete Button kann je nach Implementierung eine Hilfestellung geben oder Bereiche hervorheben. Abbildung 6.1 veranschaulicht für ein Balkendiagramm eine mögliche Hilfestellung.

6.5. Verwendung und Erweiterung der Benutzerschnittstelle

Die Klasse **QControllAdaption** bietet die Möglichkeit an, eine Verbindung mit *EIToolkit* und UDP-Socket zu erstellen. Dabei muss die Methode **initConnection()** aufgerufen werden. Mit **closeConnection()** wird die Verbindung beendet. Des Weiteren kann die Klasse mit den Methoden **readText()** und **readButton()** auf Eingabe der Eye-Tracking-Daten bestimmen, ob ein Text oder Button gelesen wird. Damit die GUI die Signale empfangen kann, muss

6.5. Verwendung und Erweiterung der Benutzerschnittstelle

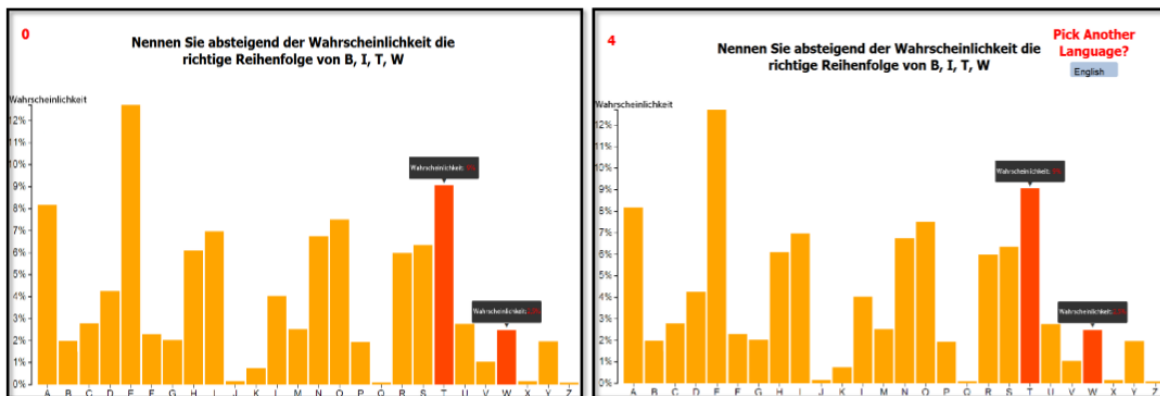


Abbildung 6.1.: Beispieldarstellung vor (links) und während (rechts) der Einblendung einer Sprachauswahl der implementierten Benutzerschnittstelle.

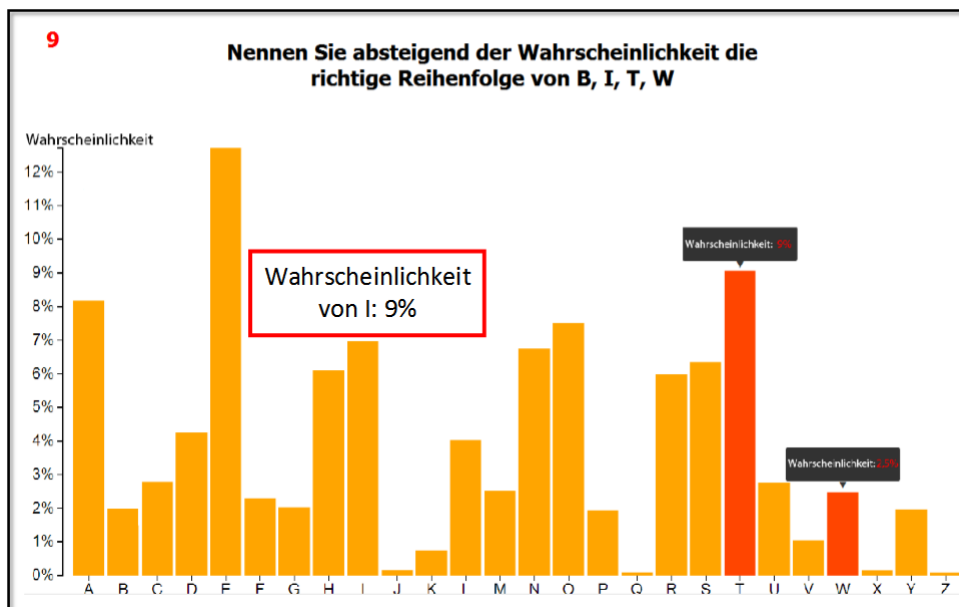


Abbildung 6.2.: Eine mögliche Hilfestellung beim Durchführen der Aufgabe für ein Balkendiagramm. Die Adaption vereinfacht die Informationensuche für den Buchstaben I

die Klasse **QControllAdaption** für die Benutzeroberfläche mit **qmlRegisterType** registriert werden. Damit ist ein direkter Zugriff auf die Methoden aus der Benutzeroberfläche möglich. Da die **QControllAdaption**-Klasse unabhängig von der GUI verwendet werden kann, sind Erweiterungen um weitere Adaptionmethoden denkbar. Dabei wird der Klasse eine neue Funktion mit einem entsprechenden Signal beigelegt.

7. Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit sollen Unterschiede zwischen Benutzern anhand der Augenbewegungen gefunden werden, um im nächsten Schritt mithilfe von Eye-Tracking-Parametern eine adaptive Benutzerschnittstelle zu erstellen. Recherchen zeigen, dass Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bezüglich der Blickdaten ermittelt werden können. Jedoch sind die Erkenntnisse visualisierungsabhängig und können im Allgemeinen nicht verwendet werden. Um geeignete Parameter für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten aus den Blickdaten zu finden, dienen eine Vorstudie und Hauptstudie dem Zweck, Erkenntnisse zwischen Experten und Anfänger bzgl. geeigneter Augenbewegungsparameter festzustellen. Mit den Erkenntnissen aus den Studien soll eine Benutzerschnittstelle geeignete Adaptionen anhand der Blickdaten durchführen.

Bei der Auswertung der Studien können keine Parameter für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten zwischen Experten und Anfängern mit den verwendeten Methoden (Fokus- und Heat-Map, Suchpfad, Sequence Chart und statistischen Test) erkannt werden. Ein Problem der Studien ist, dass bei einer geringen Teilnehmeranzahl signifikante Unterschiede nicht festgestellt werden können. Ein Gruppenpaar sollte mindestens aus 15 Datensätzen bestehen [Razali, 2009], um signifikante Unterschiede zwischen Experten und Anfänger bei einer Analyse mit statistischen Tests zu finden. Eine Analyse der Suchpfade mit der Methode von Feusner et al. [Feusner and Lukoff, 2008] könnte neue Erkenntnisse für die Hauptstudie liefern.

Da keine brauchbaren Erkenntnisse aus den Studien für eine adaptive Benutzerschnittstelle erkannt werden, soll die Implementierung demonstrativ mögliche Adaptionen erstellen. Die adaptive Benutzeroberfläche liest die Augenbewegungsdaten des Eye-Trackers ein und wertet anhand auftretender Fixationsmuster beim Betrachten eines Textes (oder Buttons) aus, ob eine Adaption durchgeführt werden soll. Wird der Textbereich nicht gelesen, erscheint eine Sprachauswahl neben den Text. Beim Wählen einer anderen Sprache, passen sich Text und Visualisierung an die jeweilige Sprache an. Durch eine modulare Implementierung können zukünftige Arbeiten die Benutzerschnittstelle verwenden und neue Erkennungsalgorithmen in das Programm integrieren. Eine Erweiterung auf andere Visualisierungsarten ist durch die Abkapselung der grafischen Oberfläche vom Controller möglich.

Ausblick

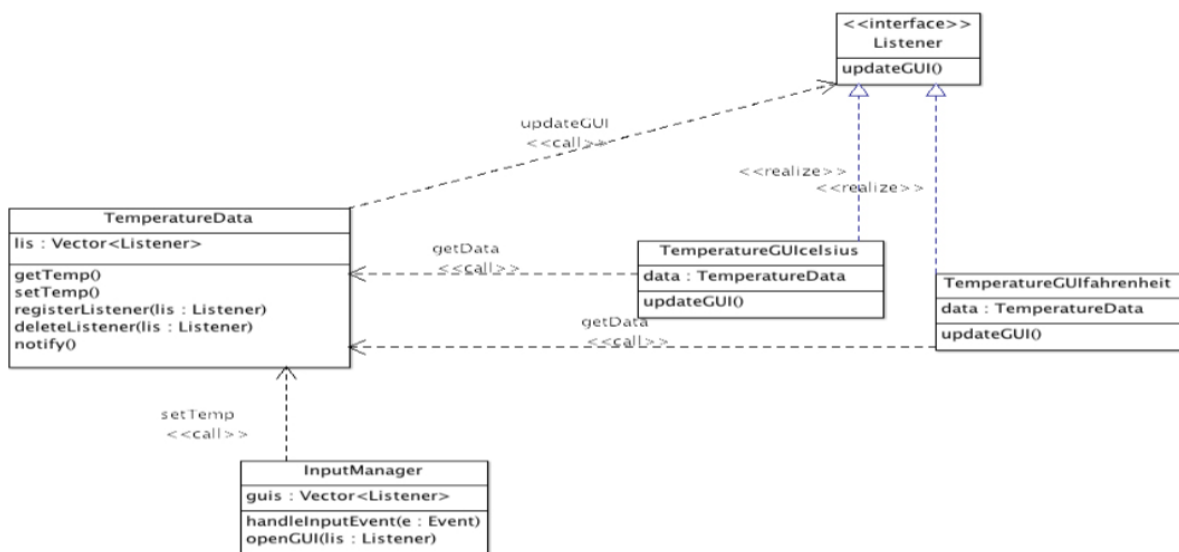
Zukünftige Arbeiten sollen sich mit der Frage beschäftigen, ob es allgemeingültige Metriken für individuelle Benutzerfähigkeiten gibt. Weitere Studien sind nötig, um Parameter

für unterschiedliche Benutzerfähigkeiten zu finden. Eine umfangreichere Untersuchung mit mehr Probanden könnte anhand der in dieser Bachelorarbeit untersuchten Fixationsmerkmale (z.B. Fixationsanzahl, Fixationsdauer, Standardabweichung der Fixationen, ...) charakterisierende Benutzermerkmale feststellen. Mit dem maschinellen Lernen können beispielsweise automatisch die Eye-Tracking-Parameter auf Unterschiede zwischen Experten und Anfänger durch Bestimmung von Mustern aus den Augenbewegungen bestimmt werden [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013]. Hier sind jedoch weitere Studien nötig, um Augenbewegungsmuster zu erkennen.

Die Frage ist nicht nur, ob es Parameter gibt, sondern auch wann eine Adaption am sinnvollsten erscheint, sodass der Benutzer nicht eingeschränkt oder benachteiligt wird. Hier sollte der Effekt getestet werden, inwiefern eine durchgeführte Adaption dem Benutzer geholfen hat. Durch Hervorhebung, Ausblendung oder Alternativdarstellungen von Informationen könnte dem unerfahrenen Anwender geholfen werden [Toker, Conati, Steichen, and Carenini, 2013].

Da Benutzeraufgaben am Computer meist nicht aus einzelnen Stimuli bestehen, muss eine Adaption unter realen Bedingungen mit komplexen visuellen Interaktionen stattfinden. Dabei sollen Unterschiede bezüglich der Augenbewegungen zwischen den Benutzer neue Erkenntnisse liefern. Weitere Studien müssen zum Erfassen von individuellen Benutzerfähigkeiten für unterschiedliche Visualisierungen und Interaktionen durchgeführt werden. Auf lange Sicht hin stellen die oben erwähnten Ansätze fundamentale Bausteine dar, um das langfristige Ziel der Erstellung von adaptiven Systemen, die sich automatisch an die Bedürfnisse und Kenntnisse des Benutzers anpassen, voranzutreiben.

A. Anhang



Transc. : Bernard Dewagtere

Trompette en Sib 1

Trompette en Sib 2

Cor en Fa

Trombone

Trp. (Sib) 1

Trp. (Sib) 2

Cor

Trb.

Abbildung A.1.: Entwurfsmuster des Model-View-Controllers (oben) und Notenblatt (unten)

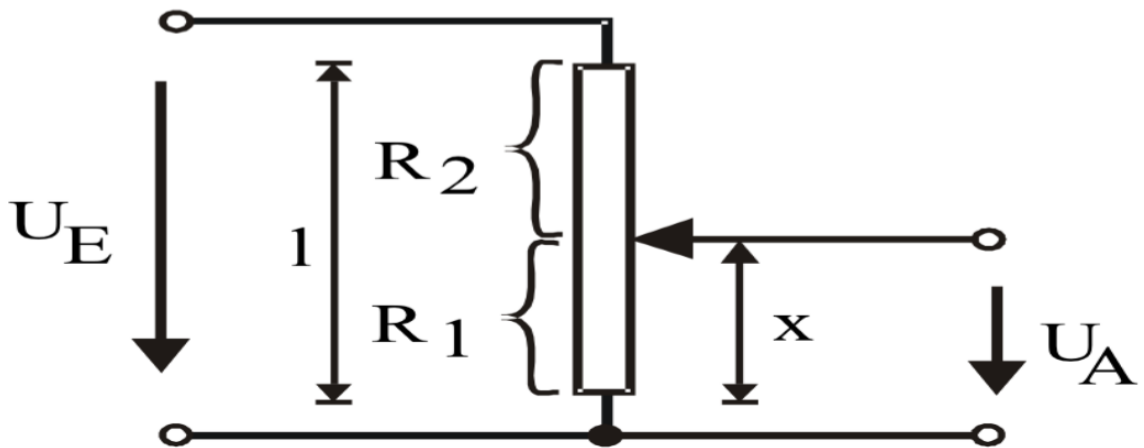


Abbildung A.2.: Potentiometerschaltung

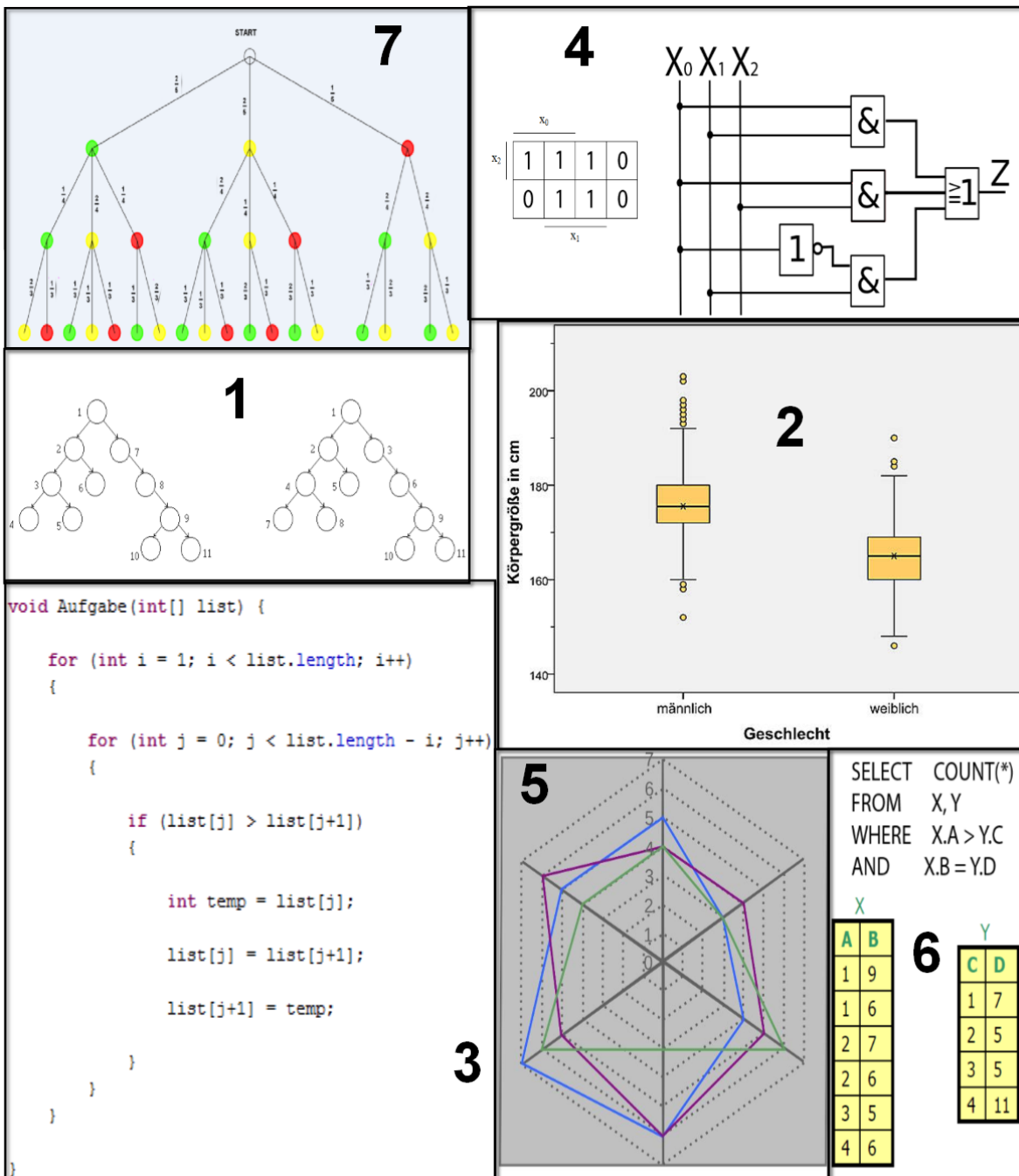


Abbildung A.3.: Stimuli des ersten Teils der Hauptstudie (1: Suchverfahren im Baumgraphen; 2: Boxplot; 3: Java-Quellcode; 4: KV-Diagramm & Logikschaltung; 5: Netzdiagramm; 6: SQL-Anfrage; 7: Wahrscheinlichkeitsbaum).

A. Anhang

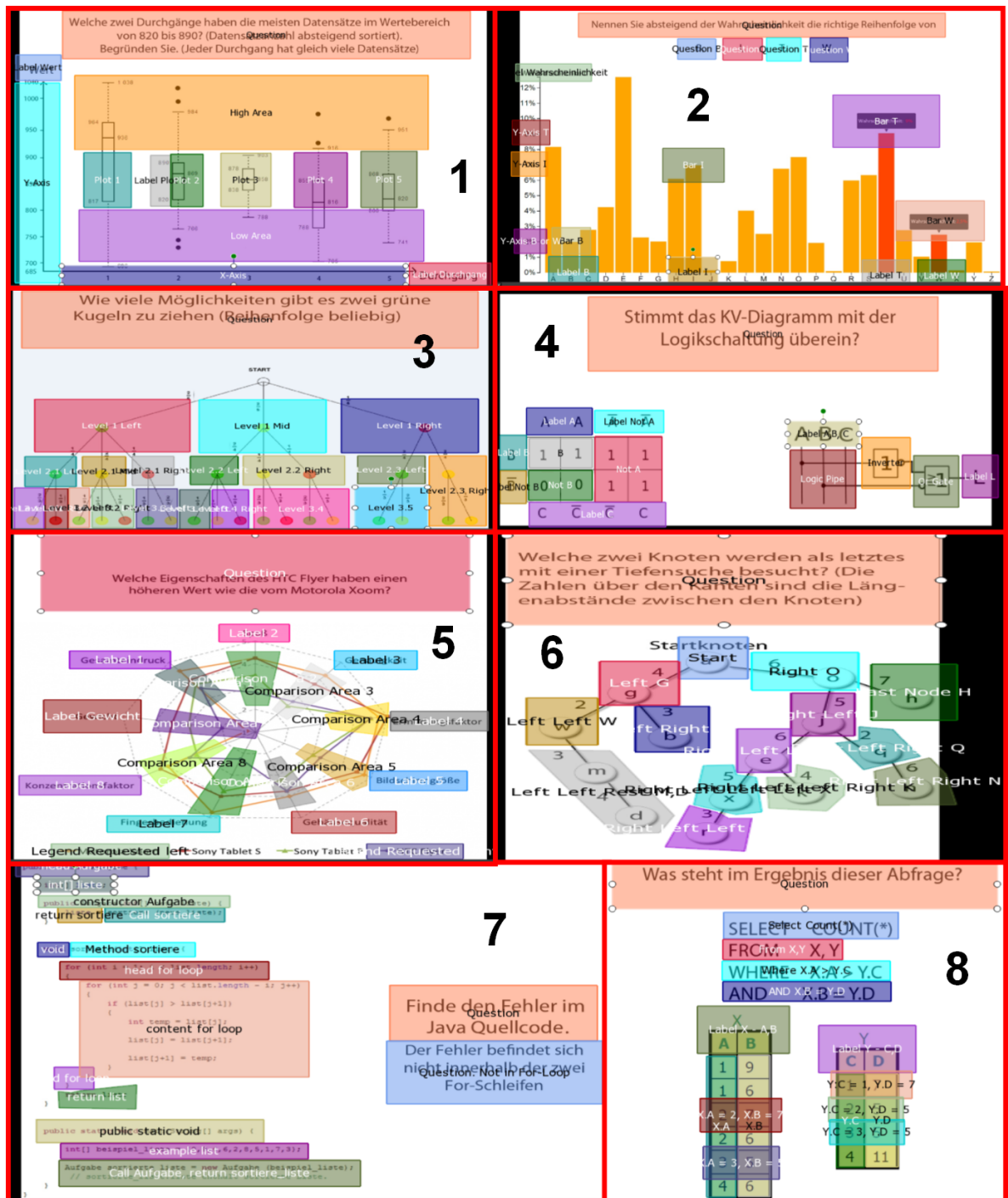
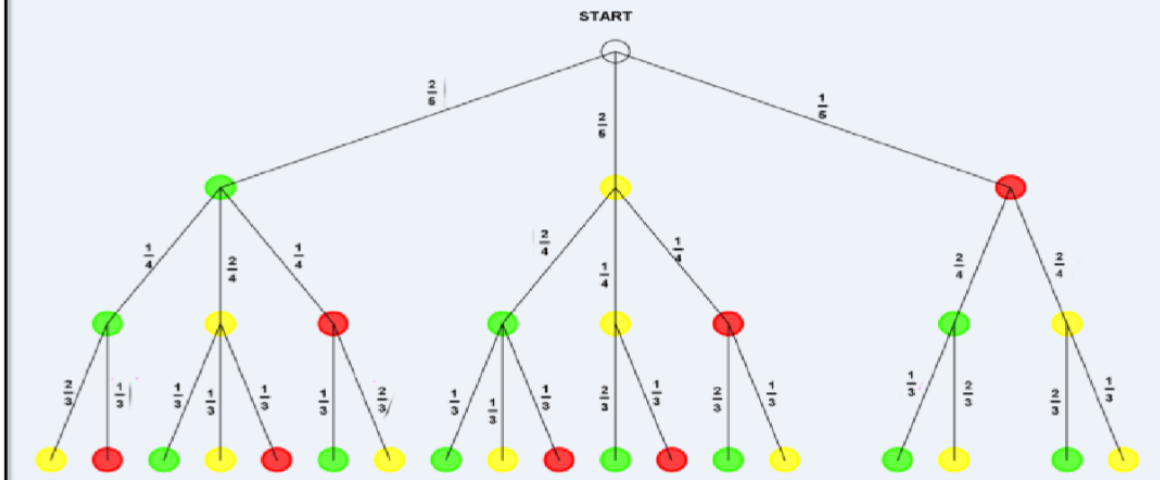


Abbildung A.4.: Definierte AOIs der verschiedenen Visualisierungen für den zweiten Teil der Studie. (1: Boxplot; 2: Balkendiagramm; 3: Wahrscheinlichkeitsbaum; 4: KV-Diagramm & Logikschaltung; 5: Netzdiagramm; 6: Suchverfahren im Baumgraphen; 7: Java-Quellcode-Fehlersuche; 8: SQL-Abfrage)

Wie viele Möglichkeiten gibt es zwei grüne Kugeln zu ziehen (Reihenfolge beliebig)



Nennen Sie absteigend der Wahrscheinlichkeit die richtige Reihenfolge von

B, I, T, W

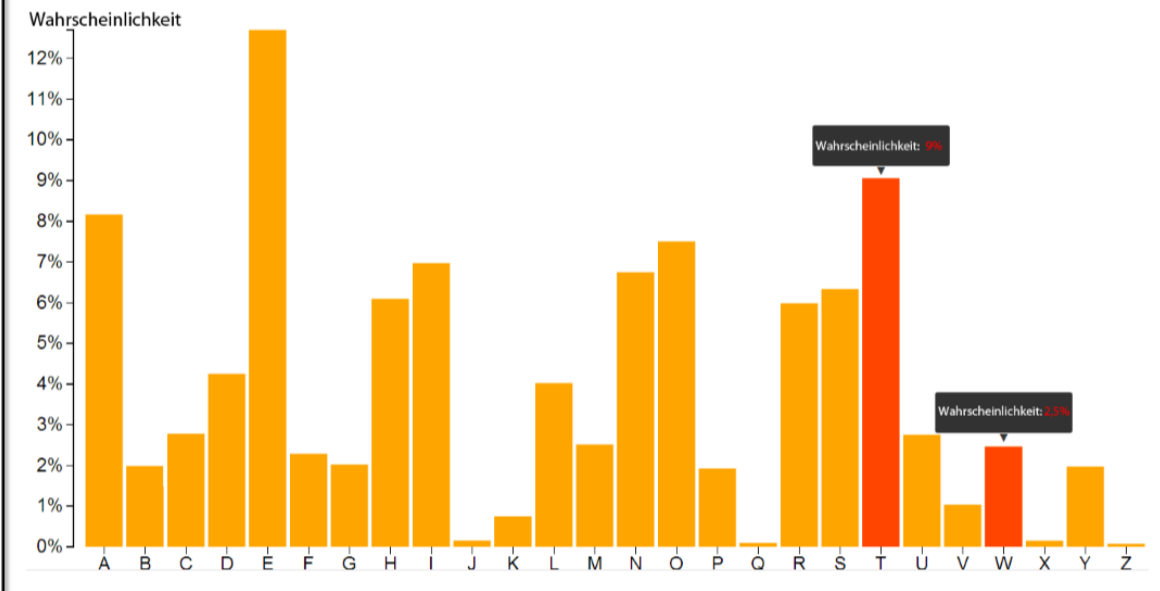


Abbildung A.5.: Wahrscheinlichkeitsbaum (oben) und Balkendiagramm (unten)

```

public class Aufgabe {

    int[] liste;

    public Aufgabe(int[] neue_liste) {
        liste = sortiere (neue_liste);
    }

    void sortiere(int[] list) {

        for (int i = 1; i < list.length; i++)
        {
            for (int j = 0; j < list.length - i; j++)
            {
                if (list[j] > list[j+1])
                {
                    int temp = list[j];

                    list[j] = list[j+1];

                    list[j+1] = temp;

                }
            }
        }
        return list;
    }

    public static void main(String[] args) {

        int[] beispiel_liste = {0,9,4,6,2,8,5,1,7,3};

        Aufgabe sortierte_liste = new Aufgabe (beispiel_liste);
        // sortierte_liste.liste enthält sortierte Liste.
    }
}

```

Finde den Fehler im
Java Quellcode.
Der Fehler befindet sich
nicht innerhalb der zwei
For-Schleifen

Stimmt das KV-Diagramm mit der
Logikschaltung überein?

	A	\bar{A}	B	\bar{B}
A	1	1	1	1
\bar{A}	0	0	1	1
B	1	1	1	1
\bar{B}	0	0	1	1
C	1	1	1	1
\bar{C}	0	0	1	1

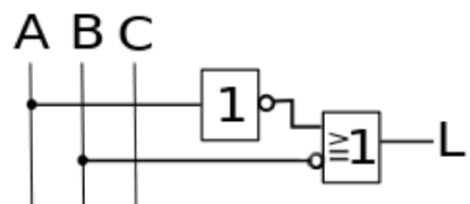


Abbildung A.6.: Javaquellcode (oben) und KV-Diagramm & Logikschaltung (unten)

1 Welche zwei Knoten werden als letztes mit einer Tiefensuche besucht? (Die Zahlen über den Kanten sind die Längsabstände zwischen den Knoten)

Was steht im Ergebnis dieser Abfrage?

```

SELECT COUNT(*)
FROM X, Y
WHERE X.A > Y.C
AND X.B = Y.D

```

X	
A	B
1	9
1	6
2	7
2	6
3	5
4	6

Y	
C	D
1	7
2	5
3	5
4	11

2

3 Welche Eigenschaften des HTC Flyer haben einen höheren Wert wie die vom Motorola Xoom?

4 Welche zwei Durchgänge haben die meisten Datensätze im Wertebereich von 820 bis 890? (Datensatzanzahl absteigend sortiert). Begründen Sie. (Jeder Durchgang hat gleich viele Datensätze)

Abbildung A.7.: Suchverfahren im Baumgraphen (1), SQL-Anfrage (2), Netzdiagramm (3) und Boxplot (4)

Stichwortverzeichnis

- ADVISE, 6
- ANOVA, 44
- AOI, 11
- AOI Sequence Chart, 21, 42
- Area Of Interest, 11
- Assoziationsfähigkeit, 5
- Augenbewegungsmuster, 11

- Balkendiagramm, 12
- Baumgraphen, 40
- bayssches Benutzer-Model, 8
- Behavior-driven Visualization Recommendation, 9
- Benutzerfähigkeiten, 5
- Blickdauer-Sequenzdiagramm, 22
- Blickdauer-Verteilungsdiagramm, 22
- Blickverhalten, 12
- Blinzel-Häufigkeit, 38
- Boxplot, 39

- EIToolkit, 48
- ERST, 8
- ExperimentCenter, 31
- Experten-Modell, 17
- External Representation Selection Tutor, 8
- Eye-Tracker, 10
- Eye-Tracking, 10
- EyePatterns, 21

- Fixation, 10
- Fixationsanzahl, 11
- Fixationsdauer, 11
- Fixationspunktdiagramm, 22
- Fixationssequenzen, 21
- Focus-Map, 20

- Graphical User Interface, 48

- Heat-Map, 20
- Heatmap, 7

- idealer Suchpfad, 13

- Kontrollüberzeugung, 6
- Kruskal-Wallis-Test, 44
- KV-Diagramm, 40

- laparoskopische Chirurgie, 16
- Levenshtein-Distanz, 21
- LightHouse, 8
- Liniendiagramm, 12
- Logikschaltung, 40

- Mann-Whitney-U-Test, 42
- maximale Fixationsdauer, 37, 42
- maximale Sakkadendauer, 37
- minimale Fixationsdauer, 37, 42
- minimale Sakkadendauer, 37

- NavEx, 6
- Needleman-Wunsch-Algorithmus, 21
- Nullhypothesen, 37

- Parallel-Scan-Path, 22
- Principal Components Analysis, 17

- QControllAdapter, 48
- QObject, 49
- Qt, 48
- QuizVIBE, 7

- Radardiagrammen, 12

- Sakkade, 10
- Sakkadenanzahl, 11
- Sakkadendauer, 11

Sakkadenlänge, 11, 38
Sampling, 11
Self Organizing Map, 10
SensoMotoric Instruments, 31
Shapiro-Wilk-Test, 42
SMI, 31
SPSS, 41
SQL-Anfrage, 39
Standardabweichung, 17
Stimulus, 11
Suchpfad, 20

T-Test, 42
TOEIC, 17
Transition, 18
TVLand-System, 7

UDP-Broadcast, 48
UDP-Socket, 48

ValueChart, 19
Varianzanalyse, 44
visuellen Arbeitsgedächtnis, 19

Wahrnehmungsfähigkeit, 5, 6
Wahrnehmungsgeschwindigkeit, 6, 17
Within-subjects-Design, 37

Literaturverzeichnis

DELL P2210f, 2008. URL <http://i.dell.com/images/emea/products/monitors/p2210.pdf>. (Besucht am 12.11.2013).

IBM SPSS Statistics, 2010. URL <http://www-01.ibm.com/software/de/analytics/spss/>. (Besucht am 12.11.2013).

EIToolKit, 2012. URL <https://github.com/hanikesn/eitoolkit>. (Besucht am 12.11.2013).

Nokia Qt, 2013. URL <http://qt.digia.com/>. (Besucht am 12.11.2013).

Bryce Allen. Individual differences and the conundrums of user-centered design: Two experiments. *Journal of the American Society for Information Science*, 51(6):508–520, 2000. ISSN 1097-4571. doi: 10.1002/(SICI)1097-4571(2000)51:6<508::AID-ASI3>3.0.CO;2-Q. URL [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(2000\)51:6<508::AID-ASI3>3.0.CO;2-Q](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(2000)51:6<508::AID-ASI3>3.0.CO;2-Q). Last visited 2012-03-18.

Anne Aula, Päivi Majaranta, and Kari-Jouko Räihä. Eye-tracking reveals the personal styles for search result evaluation. In MariaFrancesca Costabile and Fabio Paternò, editors, *Human-Computer Interaction - INTERACT 2005*, volume 3585 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1058–1061. Springer Berlin Heidelberg, 2005. ISBN 978-3-540-28943-2. doi: 10.1007/11555261_104. URL http://dx.doi.org/10.1007/11555261_104.

Peter Brusilovsky, Jae-wook Ahn, Tibor Dumitriu, and Michael Yudelson. Adaptive knowledge-based visualization for accessing educational examples. In *Proceedings of the conference on Information Visualization, IV '06*, pages 142–150, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN 0-7695-2602-0. doi: 10.1109/IV.2006.16. URL <http://dx.doi.org/10.1109/IV.2006.16>.

Chaomei Chen. Individual differences in a spatial-semantic virtual environment. 2000. doi: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(2000\)51:6<529::AID-ASI5>3.0.CO;2-F](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(2000)51:6<529::AID-ASI5>3.0.CO;2-F). URL <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/jasis/jasis51.html#Chen00b>. (Besucht am 12.11.2013).

Cristina Conati and Heather Maclaren. Exploring the role of individual differences in information visualization. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, AVI '08*, pages 199–206, New York, NY, USA, 2008. ACM. ISBN 978-1-60558-141-5. doi: 10.1145/1385569.1385602. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1385569.1385602>.

Cristina Conati, Enamul Hoque, Dereck Tocker, and Ben Steichen. When to adapt: Detecting user's confusion during visualization processing. In *UMAP Workshops*, 2013. URL http://ceur-ws.org/Vol-997/wuav2013_paper_04.pdf. (Besucht am 12.11.2013).

- Andrew Dillon. Spatial-semantics: How users derive shape from information space. *Journal of the American Society for Information Science*, 51(6):521–528, 2000. ISSN 1097-4571. doi: 10.1002/(SICI)1097-4571(2000)51:6<521::AID-ASI4>3.0.CO;2-5. URL [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(2000\)51:6<521::AID-ASI4>3.0.CO;2-5](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(2000)51:6<521::AID-ASI4>3.0.CO;2-5).
- D. E. Egan. *Individual differences in human-computer interaction*. North-holland, 1988.
- Matt Feusner and Brian Lukoff. Testing for statistically significant differences between groups of scan patterns. In *Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*, ETRA '08, pages 43–46, New York, NY, USA, 2008. ACM. ISBN 978-1-59593-982-1. doi: 10.1145/1344471.1344481. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1344471.1344481>.
- Andy Field and Graham J. Hole. *How to Design and Report Experiments*. Sage Publications Ltd, February 2003. ISBN 0761973834.
- Keisuke Fukuda and Edward K Vogel. Human variation in overriding attentional capture. *The Journal of Neuroscience*, 29(27):8726–8733, 2009.
- Emden Gansner, Yifan Hu, Stephen Kobourov, and Chris Volinsky. Putting recommendations on the map: visualizing clusters and relations. In *Proceedings of the third ACM conference on Recommender systems*, RecSys '09, pages 345–348, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN 978-1-60558-435-5. doi: 10.1145/1639714.1639784. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1639714.1639784>.
- G. Glaser and J. F. Kihlstrom. Compensatory Automaticity Unconscious Volition Is Not an Oxymoron. 2005. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195307696.001.0001. URL <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195307696.003.0008>.
- Joseph Goldberg and Jonathan Helfman. Eye tracking for visualization evaluation: reading values on linear versus radial graphs. *Information Visualization*, 10(3):182–195, July 2011. ISSN 1473-8716. doi: 10.1177/1473871611406623. URL <http://dx.doi.org/10.1177/1473871611406623>.
- Joseph H. Goldberg and Jonathan I. Helfman. Comparing information graphics: a critical look at eye tracking. In *Proceedings of the 3rd BELIV'10 Workshop: BEyond time and errors: novel evaluation methods for Information Visualization*, BELIV '10, pages 71–78, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN 978-1-4503-0007-0. doi: 10.1145/2110192.2110203. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2110192.2110203>.
- David Gotz and Zhen Wen. Behavior-driven visualization recommendation. In *Proceedings of the 14th international conference on Intelligent user interfaces*, IUI '09, pages 315–324, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN 978-1-60558-168-2. doi: 10.1145/1502650.1502695. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1502650.1502695>.
- Beate Grawemeyer. Evaluation of erst - an external representation selection tutor. In *Proceedings of the 4th international conference on Diagrammatic Representation and Inference*, Diagrams'06, pages 154–167, Berlin, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag. ISBN 3-540-35623-1, 978-3-540-35623-3. doi: 10.1007/11783183_21. URL http://dx.doi.org/10.1007/11783183_21.

- Beate Grawemeyer and Richard Cox. A bayesian approach to modelling users information display preferences. In *Proceedings of the 10th international conference on User Modeling, UM'05*, pages 225–230, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag. ISBN 3-540-27885-0, 978-3-540-27885-6. doi: 10.1007/11527886_29. URL http://dx.doi.org/10.1007/11527886_29.
- T.M. Green and Brian Fisher. Towards the personal equation of interaction: The impact of personality factors on visual analytics interface interaction. In *Visual Analytics Science and Technology (VAST), 2010 IEEE Symposium on*, pages 203–210, 2010. doi: 10.1109/VAST.2010.5653587.
- T.M. Green, Dong Hyun Jeong, and Brian Fisher. Using personality factors to predict interface learning performance. In *System Sciences (HICSS), 2010 43rd Hawaii International Conference on*, pages 1–10, 2010. doi: 10.1109/HICSS.2010.431.
- Thomas Grindinger, Andrew T. Duchowski, and Michael Sawyer. Group-wise similarity and classification of aggregate scanpaths. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications, ETRA '10*, pages 101–104, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN 978-1-60558-994-7. doi: 10.1145/1743666.1743691. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1743666.1743691>.
- Kenneth Holmqvist, Marcus Nystrom, Richard Andersson, Richard Dewhurst, Halszka Jarodzka, and Joost van de Weijer. *Eye Tracking. A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press, 2011. ISBN 978-0-19-969708-3. URL <http://www.oup.com/us/catalog/general/subject/Psychology/CognitivePsychology/CognitivePsychology/?view=usa&ci=9780199697083>. (Besucht am 12.11.2013).
- Shamsi T Iqbal and Brian P Bailey. Using eye gaze patterns to identify user tasks. In *The Grace Hopper Celebration of Women in Computing*, 2004.
- R. Jacob and K. Karn. *Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises*, pages 573–605. Elsevier, Amsterdam, 2003.
- Anthony Jameson. Adaptive interfaces and agents. In Andrew Sears and Julie A. Jacko, editors, *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*, pages 433–458. CRC Press, Boca Raton, FL, 2nd edition, 2008.
- Peter Kasarskis, Jennifer Stehwien, Joey Hickox, Anthony Aretz, and Chris Wickens. Comparison of expert and novice scan behaviors during vfr flight. In *Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology*, 2001.
- John K. Kruschke, Emily S. Kappenman, and William P. Hetrick. Eye gaze and individual differences consistent with learned attention in associative blocking and highlighting. In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, volume Vol 31(5), pages 830–845, 2005. doi: 10.1037/0278-7393.31.5.830. URL <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0278-7393.31.5.830>.

- Kai Kunze, Hitoshi Kawaichi, Kazuyo Yoshimura, and Koichi Kise. Towards inferring language expertise using eye tracking. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '13*, pages 217–222, New York, NY, USA, 2013. ACM. ISBN 978-1-4503-1952-2. doi: 10.1145/2468356.2468396. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2468356.2468396>.
- Benjamin Law, M. Stella Atkins, A. E. Kirkpatrick, and Alan J. Lomax. Eye gaze patterns differentiate novice and experts in a virtual laparoscopic surgery training environment. In *Proceedings of the 2004 symposium on Eye tracking research & applications, ETRA '04*, pages 41–48, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN 1-58113-825-3. doi: 10.1145/968363.968370. URL <http://doi.acm.org/10.1145/968363.968370>.
- Simon Lehmann, Ulrich Schwanecke, and Ralf Dörner. Interactive visualization for opportunistic exploration of large document collections. *Inf. Syst.*, 35(2):260–269, April 2010. ISSN 0306-4379. doi: 10.1016/j.is.2009.10.004. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.is.2009.10.004>.
- Anton Leuski and James Allan. Lighthouse: Showing the way to relevant information. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000, INFOVIS '00*, pages 125–, Washington, DC, USA, 2000. IEEE Computer Society. ISBN 0-7695-0804-9. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=857190.857682>.
- Anton Leuski and James Allan. Interactive information retrieval using clustering and spatial proximity. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 14(2-3):259–288, June 2004. ISSN 0924-1868. doi: 10.1023/B:USER.0000028978.09823.47. URL <http://dx.doi.org/10.1023/B:USER.0000028978.09823.47>.
- Stephan Lewandowsky and Ian Spence. The perception of statistical graphs. *Sociological Methods & Research*, 18(2-3):200–242, 1989. doi: 10.1177/0049124189018002002. URL <http://smr.sagepub.com/content/18/2-3/200.abstract>.
- Rui Li, Jeff Pelz, Pengcheng Shi, Cecilia Ovesdotter Alm, and Anne R. Haake. Learning eye movement patterns for characterization of perceptual expertise. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA '12*, pages 393–396, New York, NY, USA, 2012. ACM. ISBN 978-1-4503-1221-9. doi: 10.1145/2168556.2168645. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2168556.2168645>.
- H. Harman R. Ekstrom, J. French and D. Dermen. Manual from kit of factor-references cognitive tests. 1976. URL <http://www.ets.org/Media/Research/pdf/FRCT-KIT-76.pdf>. (Besucht am 12.11.2013).
- Michael Raschke, Xuemei Chen, and Thomas Ertl. Parallel scan-path visualization. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA '12*, pages 165–168, New York, NY, USA, 2012. ACM. ISBN 978-1-4503-1221-9. doi: 10.1145/2168556.2168583. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2168556.2168583>.
- Keith Rayner. Eye movements and cognitive processes in reading, visual search, and scene perception. In Rudolf Groner and Géry d'Ydewalle, editors, *Eye Movement Research*

Mechanisms, Processes, and Applications, volume 6 of *Studies in Visual Information Processing*, pages 3 – 22. North-Holland, 1995. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-907X\(05\)80003-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-907X(05)80003-0). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926907X05800030>.

Nornadiah Mohd Razali. Test of normality : a power comparison of kolmogorov-smirnov, anderson-darling, shapiro-wilk and lilliefors tests. Master's thesis, Faculty of Computer And Mathematical Sciences, 2009. URL <http://eprints.uitm.edu.my/id/eprint/7708>. (Besucht am 12.11.2013).

David Rosengrant. Gaze scribing in physics problem solving. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research Applications*, ETRA '10, pages 45–48, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN 978-1-60558-994-7. doi: 10.1145/1743666.1743676. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1743666.1743676>.

David Rosengrant, Colin Thomson, and Taha Mzoughi. Comparing experts and novices in solving electrical circuit problems with the help of eye-tracking. *AIP Conference Proceedings*, 1179(1), 2009.

Dmitri Roussinov and Marshall Ramsey. Information forage through adaptive visualization. In *Proceedings of the third ACM conference on Digital libraries*, DL '98, pages 303–304, New York, NY, USA, 1998. ACM. ISBN 0-89791-965-3. doi: 10.1145/276675.276746. URL <http://doi.acm.org/10.1145/276675.276746>.

iView X System Manual Version 2.4. SensoMotoric Instruments, 2009. URL <http://lyrawww.uvt.nl/~cenv/dci-lab/smi/iViewX.pdf>. (Besucht am 12.11.2013).

BeGaze 2.4 Manual. SensoMotoric Instruments, 2010a. URL <http://www.cs.rit.edu/~rlc/Research/EyeTracking/SMI/BeGaze2.pdf>. (Besucht am 12.11.2013).

Experiment Center 2.4 Manual. SensoMotoric Instruments, 2010b. URL <http://lyrawww.uvt.nl/~cenv/dci-lab/smi/ExperimentCenter.pdf>. (Besucht am 12.11.2013).

J. NIELSEN & N. N. GROUP SOVA, D. H. 233 tips and tricks for recruiting users as participants in usability studies. New Riders, 146 edition, 2003. URL <http://csi.ufs.ac.za/resres/files/Sova.pdf>. (Besucht am 12.11.2013).

Ben Steichen, Helen Ashman, and Vincent Wade. A comparative survey of personalised information retrieval and adaptive hypermedia techniques. *Inf. Process. Manage.*, 48(4): 698–724, July 2012. ISSN 0306-4573. doi: 10.1016/j.ipm.2011.12.004. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ipm.2011.12.004>.

Ben Steichen, Giuseppe Carenini, and Cristina Conati. User-adaptive information visualization: using eye gaze data to infer visualization tasks and user cognitive abilities. In *Proceedings of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces*, IUI '13, pages 317–328, New York, NY, USA, 2013a. ACM. ISBN 978-1-4503-1965-2. doi: 10.1145/2449396.2449439. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2449396.2449439>.

- Ben Steichen, Oliver Schmid, Cristina Conati, and Giuseppe Carenini. Seeing how you're looking - using real-time eye gaze data for user-adaptive visualization. In *UMAP Workshops*, 2013b. URL http://ceur-ws.org/Vol-997/wuav2013_paper_07.pdf. (Besucht am 12.11.2013).
- Robert H. Tai, John F. Loehr, and Frederick J. Brigham. An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International Journal of Research & Method in Education*, 29:185–208, 2006. doi: 10.1080/17437270600891614. URL <http://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/17437270600891614#tabModule>.
- Hui Tang, Joseph J. Topczewski, Anna M. Topczewski, and Norbert J. Pienta. Permutation test for groups of scanpaths using normalized levenshtein distances and application in nmr questions. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, ETRA 12, pages 169–172, New York, NY, USA, 2012. ACM. ISBN 978-1-4503-1221-9. doi: 10.1145/2168556.2168584. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2168556.2168584>.
- Geoffrey Tien, M. Stella Atkins, Bin Zheng, and Colin Swindells. Measuring situation awareness of surgeons in laparoscopic training. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications*, ETRA '10, pages 149–152, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN 978-1-60558-994-7. doi: 10.1145/1743666.1743703. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1743666.1743703>.
- Dereck Toker, Cristina Conati, Giuseppe Carenini, and Mona Haraty. Towards adaptive information visualization: on the influence of user characteristics. In *Proceedings of the 20th international conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization*, UMAP'12, pages 274–285, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-31453-7. doi: 10.1007/978-3-642-31454-4_23. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31454-4_23.
- Dereck Toker, Cristina Conati, Ben Steichen, and Giuseppe Carenini. Individual user characteristics and information visualization: connecting the dots through eye tracking. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pages 295–304, New York, NY, USA, 2013. ACM. ISBN 978-1-4503-1899-0. doi: 10.1145/2470654.2470696. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2470654.2470696>.
- Marilyn L Turner and Randall W Engle. Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28(2):127 – 154, 1989. ISSN 0749-596X. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0749-596X\(89\)90040-5](http://dx.doi.org/10.1016/0749-596X(89)90040-5). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0749596X89900405>.
- Hidetake Uwano, Masahide Nakamura, Akito Monden, and Ken-ichi Matsumoto. Analyzing individual performance of source code review using reviewers' eye movement. In *Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications*, ETRA '06, pages 133–140, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN 1-59593-305-0. doi: 10.1145/1117309.1117357. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1117309.1117357>.
- Tamara van Gog, Halszka Jarodzka, Katharina Scheiter, Peter Gerjets, and Fred Paas. Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Comput. Hum.*

Behav., 25(3):785–791, May 2009. ISSN 0747-5632. doi: 10.1016/j.chb.2009.02.007. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2009.02.007>.

M.C. Velez, D. Silver, and M. Tremaine. Understanding visualization through spatial ability differences. In *Visualization, 2005. VIS 05. IEEE*, pages 511–518, 2005. doi: 10.1109/VISUAL.2005.1532836. URL <http://dx.doi.org/10.1109/VISUAL.2005.1532836>.

Michelle Q. Wang Baldonado, Allison Woodruff, and Allan Kuchinsky. Guidelines for using multiple views in information visualization. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, AVI '00*, pages 110–119, New York, NY, USA, 2000. ACM. ISBN 1-58113-252-2. doi: 10.1145/345513.345271. URL <http://doi.acm.org/10.1145/345513.345271>.

Julia M. West, Anne R. Haake, Evelyn P. Rozanski, and Keith S. Karn. eyepatterns: software for identifying patterns and similarities across fixation sequences. In *Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications, ETRA '06*, pages 149–154, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN 1-59593-305-0. doi: 10.1145/1117309.1117360. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1117309.1117360>.

Jae wook Ahn. Adaptive visualization for focused personalized information retrieval. (Besucht am 12.11.2013), December 2010. URL <http://d-scholarship.pitt.edu/9268/>.

Jae wook Ahn, Peter Brusilovsky, and Sergey Sosnovsky. Quizvibe: Accessing educational objects with adaptive relevance-based visualization. In Thomas Reeves and Shirley Yamashita, editors, *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2006*, pages 2707–2714, Honolulu, Hawaii, USA, October 2006. AACE. URL <http://www.editlib.org/p/24115>.

C. Ziemkiewicz, R.J. Crouser, A.R. Yauilla, S.L. Su, W. Ribarsky, and R. Chang. How locus of control influences compatibility with visualization style. In *Visual Analytics Science and Technology (VAST), 2011 IEEE Conference on*, pages 81–90, 2011. doi: 10.1109/VAST.2011.6102445.

Alle URLs wurden zuletzt am 10.09.2013 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