

HOCHSCHULE STRALSUND

BACHELORARBEIT

IM RAHMEN DES STUDIENGANGS BACHELOR OF SCIENCE
ANGEWANDTE INFORMATIK - SOFTWAREENTWICKLUNG MEDIENINFORMATIK

**Erhebung und Auswertung von
Eye-Tracking-Daten im Rahmen einer
hochschuldidaktischen Studie zur
Vorlesung Rechnernetze**

Autor:

STEVE SYDOW
15003

1. Betreuer:

Professor Dr. S. FRIEDENBERG

2. Betreuer:

Dr. P. WOLF



18.Juli 2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mir beim Erstellen dieser Abschlussarbeit maßgeblich geholfen haben.

Zuerst gebührt mein Dank Dr. Paul Wolf, der mich mit seiner Kritik und seinen Ideen konsequent beim Schreiben dieser Abschlussarbeit unterstützte. Für die intensive und stressfreie Zusammenarbeit bedanke ich mich herzlichst.

Des Weiteren danke ich Professor Dr. Stefan Friedenberg für seine Begutachtung meiner Abschlussarbeit.

Mein abschließender Dank gebührt Anselm Strohmaier, der wichtige Impulse für die Auswertung der Studie lieferte und die Idee zum AOI Sequence Chart Generator „anstieß“. Für die hilfreichen Anregungen und das Feedback zum AOI Sequence Chart Generator bedanke ich mich sehr.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Eye-Tracker	5
2.1	Historisches	5
2.2	Einsatzgebiete	10
3	Bewegungsarten des menschlichen Auges	11
3.1	Fixationen	11
3.2	Sakkadische Augenbewegungen	11
3.3	Weitere Augenbewegungen	11
4	Der Versuch	12
4.1	Versuchsaufbau	12
4.2	Durchführung	14
5	Arten der Auswertung von Eye-Tracker-Daten	15
5.1	Heatmap	15
5.2	Gaze Plots	15
5.3	Scanpaths	16
5.4	AOI Sequence Charts	20
6	Der AOI Sequence Chart Generator	21
6.1	Nutzerhandbuch	23
6.2	Geplante Features	24
7	Auswertung	25
7.1	Auswertung der Messzeiten	26
7.2	Auswertung der Scanpaths	27
7.3	Auswertung der AOI Sequence Charts	29
7.3.1	Die Charts der Experten	29
7.3.2	Die Charts der Novizen	31
7.4	Auswertung der Fragebögen	36
8	Fazit	41
9	Literaturverzeichnis	43
10	Glossar	45
11	Anhang	47

1 Einleitung

Seit über 120 Jahren werden Eye-Tracker für verschiedenste Forschungen verwendet. Neben der Markt- & Konsumentenforschung und der Verwendung in medizinischen Bereichen werden Eye-Tracker immer häufiger auch in didaktischen Studien eingesetzt.

Ein besonders wichtiger Aspekt liegt dabei auf verwendetem Lehrmaterial. Deutliche Unterschiede konnten bei der Betrachtung von Grafiken zwischen Lehrenden (sogenannten Experten) und Lernenden (sogenannten Novizen) festgestellt werden. Nicht nur das Vorgehen, sondern vor allem die Informationsaufnahme unterscheidet sich zwischen beiden Gruppen prägnant. Ein Ziel didaktischer Studien ist daher die Probleme der Lernenden zu identifizieren und das Lernmaterial zu optimieren.

Neben Entwicklung und Durchführung wissenschaftlicher Studien stellt insbesondere die Auswertung von Eye-Tracking-Daten eine besondere Hürde dar. Einige Ansätze (wie zum Beispiel Heatmaps) bieten keinen zeitlichen Bezug, andere können die Blickverläufe zeitlich darstellen, sind dafür aber in der Leserlichkeit stark eingeschränkt (beispielsweise Gazeplots), oder in der Art der Analyse unnötig komplex (Scanpaths).

In unserer Studie wollten wir deshalb nicht nur Unterschiede in den Betrachtungsweisen der Grafiken der Vorlesung „Rechnernetze“ zwischen Experten und Novizen ermitteln, sondern diese auch mit einer neuen Auswertungsmethode analysieren, für die jedoch bisher eine adäquate Softwarelösung fehlte.

Die Bachelorarbeit beinhaltet eine Einführung ins Eye-Tracking samt Historie, Anwendungsbereichen und den verschiedenen Augenbewegungen, gibt eine Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten der Datenauswertung, beschreibt das Vorgehen innerhalb der Studie und die Entwicklung des AOI Sequence Chart Generators und schließt mit der Datenauswertung der Studie ab.

2 Eye-Tracker

Eye-Tracker dienen der Blickverfolgung und werden verwendet um Augenbewegungen zu identifizieren und aufzunehmen. Anschließend können die aufgenommenen Daten auf verschiedene Arten analysiert und ausgewertet werden. So können beispielsweise Bewegungsmuster erkannt, oder häufig betrachtete Bereiche identifiziert werden. Bevor Eye-Tracker jedoch zur Massenware und damit problemlos für jeden erreichbar wurden, mussten Forschende diese selber entwerfen und konstruieren. Einen kurzen Einblick in die Historie und die Anwendungsbereiche der Eye-Tracker bietet dieses Kapitel.

2.1 Historisches

Schätzungsweise gibt es Eye-Tracker seit 120 Jahren. Sie besitzen somit eine weitreichende Historie. Die Idee dazu ist sogar noch deutlich älter. Dass die ersten Eye-Tracker dabei mit den heutigen modernen Eye-Trackern kaum noch zu vergleichen sind, braucht nicht erklärt zu werden. Besonders das 20. Jahrhundert brachte viele Pioniere auf dem Gebiet des Eye-Trackings hervor. Die bedeutendsten Entwicklungen sind im Folgenden aufgeführt und beschrieben:

Beobachtung der Augenbewegungen ohne technische Hilfsmittel

Augenbewegungen wurden zunächst mit der denkbar primitivsten Methode ermittelt, dem direkten Beobachten der Augen einer Testperson. Diese wohl älteste Methode des Eye-Trackings ist zugleich auch die ungenaueste Variante. Augenbewegungen sind sehr schnell, sodass selbst konzentrierte Beobachter die Art der Bewegung nicht vollständig wiedergeben können. Lediglich Start- und Endpunkt einer Bewegung können erkannt werden (Wade & Tatler 2005).

Noch einfacher ist das Wahrnehmen der Augenbewegungen durch Erfühlen. Mittels Fingerspitze am Auge der Testperson konnten Bewegungen festgestellt werden. Auch diese Methode war ungenau und führte teilweise sogar zu falschen Schlüssen darüber, ob und wie das Auge bewegt wurde (ebd. S15).

Entwicklung von Eye-Tracking-Kontaktlinsen

Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Idee der Messung durch Kontakt wieder aufgenommen. 1898 suchte Delabarre nach einer Erklärung für geometrische optische Illusionen und veröffentlichte dazu im American Journal of Psychology seinen Versuchsaufbau (Delabarre 1898). Zunächst formte er Kontaktlinsen aus Gips, die der Größe der Hornhaut des Probanden entsprachen. Ein kleines Loch in der Größe einer Pupille wurde ausgestanzt und mit Draht umrundet. Die Augen des Probanden wurden mit Kokain betäubt, die Augenlider fixiert und die Linse wurde aufgesetzt. Das Ende des Drahts wurde mit einem Hebel verbunden, der entweder die Horizontal- oder Vertikalbewegungen des Auges aufzeichnen konnte. Langsame Bewegungen konnten somit mit großer Genauigkeit aufgenommen werden. Die üblichen schnellen Bewegungen führten aufgrund des Versuchsaufbaus jedoch weiterhin zu Messungenauigkeiten. Außerdem führte die Verwendung von Gips und Kokain sowie die zusätzliche Belastung der Augenmuskulatur durch die mechanischen Hebel zu temporärem Unwohlsein.

Bereits ein Jahr später entwickelte Orschansky (1899) einen Eye-Tracker ohne Hebelmechanik. Stattdessen stattete er die Kontaktlinsen mit einer stark spiegelnden Oberfläche aus und fing die Lichtreflexion einer im Versuchsaufbau enthaltenen Lampe auf. Im weiteren Verlauf des 20. Jahrhunderts wurde diese Methode häufiger verwendet und weiter entwickelt (Wade & Tatler 2005).

Eine der präzisesten und meist verwendeten Kontaktlinsen zur Messung von Augenbewegungen des 20. Jahrhunderts wurde erstmalig 1963 vorgestellt (Robinson 1963), Ende des 20. Jahrhunderts vielfach weiterentwickelt und wird als Suchspule bezeichnet. Auch in dieser Methode werden die Kontaktlinsen mit Draht versehen. Diesmal in Form zweier senkrecht zueinander stehender Spulen. Zusätzlich befinden sich während der Messungen zwei große elektromagnetische Spulen um den Probanden. Die großen Spulen werden helmartig am Probanden angebracht, sodass diese unabhängig von Kopfbewegungen eine feste Position zum Kopf haben. Über den Draht der Kontaktlinsen innerhalb des Magnetfeldes der großen Spulen kann nun die Potentialdifferenz und somit die Bewegung der Augen exakt aufgenommen werden (Wade & Tatler 2005). Anfang des 21. Jahrhunderts wurde jedoch festgestellt, dass Kontaktlinsen Augenbewegungen beeinflussen können (van der Geest & Frens 2002).

Einschub: Aufbau des menschlichen Auges

Die nachfolgenden Kapitel beinhalten teilweise Fachvokabular über das menschliche Auge. Da das Auge in vielen Arbeiten thematisiert und die Funktion aller Komponenten ausgiebig beschrieben wurde, wird hier darauf verzichtet und lediglich eine Grafik (siehe Abbildung 1) für die Übersicht des Lesers geliefert.

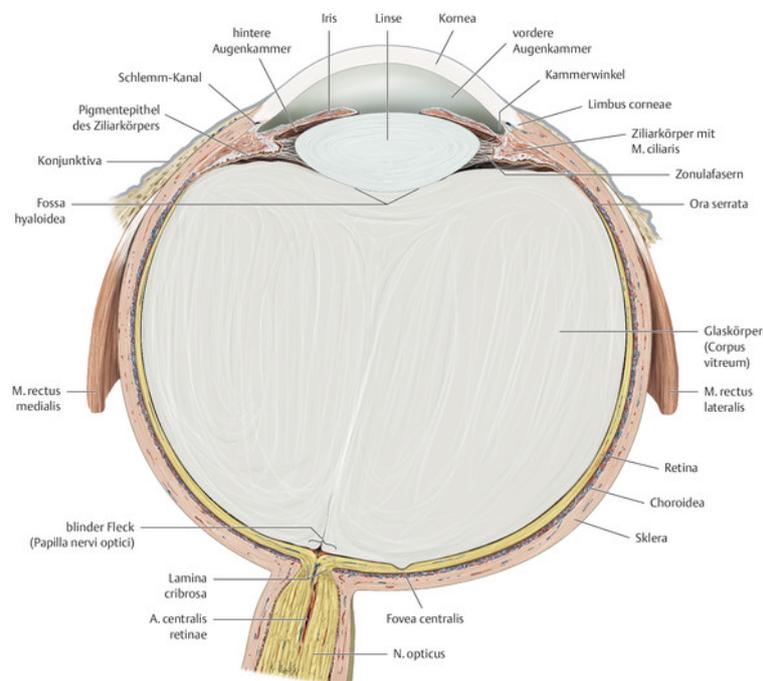


Abbildung 1: Einschub: Aufbau des menschlichen Auges¹

¹Schünke et al 2012

Lichtreflexion an der Augoberfläche

Dodge und Cline suchten 1901 gemeinsam nach neuen und besseren Möglichkeiten des Eye-Trackings. Beide waren von den bisher eingesetzten Eye-Trackern (unter anderem auch dem von Delabarre) nicht überzeugt, gerade auch, weil diese das Auge deutlich beanspruchten und somit die Messungen verfälschten. Nach mehreren Versuchen das Auge direkt zu fotografieren, probierten Dodge und Cline einen neuen Ansatz. An der Kopfhaltung wird in Sichtfeld ein weißes Stück Pappe vertikal angebracht. Die Pappe wird von Sonnenlicht hinter dem Probanden direkt angestrahlt. Die Reflexionen der weißen Pappe auf der Hornhaut werden dann über eine Kamera aufgenommen. Der daraus resultierende Film zeigt unterschiedlich gekrümmte vertikale weiße Linien, die die Bewegung der Augen widerspiegeln (Dodge & Cline 1901).

Auf dieser Grundlage entwickelten Dodge und Cline den „Dodge Fotochronograf“, der Augenbewegungen besonders gut aufnehmen konnte und in den Folgejahren von Dodge intensiv für weitere Studien genutzt wurde (Wade & Tatler 2005).

Der Fotochronograf stellt eine der bedeutendsten Entwicklungen in der Geschichte der Eye-Tracker dar und fand schnell Verbreitung. 1935 nutzte Buswell für seine Studie einen erweiterten Fotochronografen. Dazu entwickelte er die Version von Dodge weiter, positionierte die Kamera im rechten Winkel zum Sichtfeld des Probanden, sodass das Sichtfeld ungestört vom Eye-Tracker frei bleibt. Außerdem fügte er eine weitere Kamera hinzu, die die Kopfbewegungen des Probanden aufnahm. So konnten Messfehler, die durch Kopfbewegungen entstanden waren, bereinigt werden (Wade & Tatler 2005, ausführlich in Buswell 1935).

Parallel zum Fotochronografen wurden Eye-Tracker entwickelt, die ähnliche Prinzipien verfolgten. Dohlman lieferte 1935 einen Eye-Tracker, der erstmals Fotodioden anstelle einer Kamera verwendete und somit einen weiteren Trend für Eye-Tracker festlegte. Die Fotodioden wurden auf den Limbus, also den Bereich zwischen Horn- und Lederhaut ausgerichtet und ermittelten das vom Auge reflektierte Licht. Dieses war je nach Stellung der Augen stärker oder schwächer (Wade & Tatler 2005).

Bestimmung der Augenbewegung über Purkinje-Reflexbilder

Neben der Hornhaut treten Spiegelungen auch an anderen Stellen auf: an der Außenfläche der Linse, der Innenfläche der Linse sowie der Innenfläche der Hornhaut. Diese vier Reflexionen werden als Purkinje-Reflexbilder bezeichnet. 1973 entwickelten Cornsweat und Crane einen Eye-Tracker, der sowohl die Bewegung des ersten (Außenfläche der Hornhaut), als auch die Bewegung des vierten Purkinje-Reflexbildes (Innenfläche der Linse) registrierte. So konnten sehr genaue Messungen über die Augenbewegungen vorgenommen werden (Wade & Tatler 2005). Allerdings berichtet Holmqvist 2011 von diversen Problemen, die bei diesen Eye-Trackern auftreten. Dabei bezieht er sich auch auf Deubel und Bridgeman (1995), die erkannten, dass das Ende von Sakkaden fehlerhaft aufgenommen wurde und dadurch fehlerhafte Ergebnisse konstruiert wurden (Holmqvist et al. 2011).

Einsatz von Elektrookulogrammen zur Bewegungsrekonstruktion

Neben der Verwendung von Reflexbildern können Augenbewegungen auch elektrisch über Elektrookulogramme (kurz: EOG) festgestellt werden. EOG registrieren spontane Augenbewegungen über Elektroden nahe der Augenhöhle. Elektroden links und rechts der Augenhöhle registrieren horizontale Augenbewegungen, Elektroden ober- und unterhalb

der Augenhöhle registrieren vertikale Augenbewegungen und Blinzeln. Teile der Netzhaut generieren bei Augenbewegungen Änderungen am elektrischen Feld. Über die Elektroden können diese aufgezeichnet werden.

In den 1920er Jahren wurden erste Versuche mit dieser Methode unternommen. Ford et al. (1959) perfektionierte die Tracker, sodass horizontale und vertikale Bewegungen gleichzeitig aufgenommen werden konnten. Trotz geringerer Genauigkeit findet diese Art der Messung auch heute noch Gebrauch, da mit ihr die Bewegungen geschlossener Augen aufgezeichnet werden können (Wade & Tatler 2005).

Entwicklung mobiler Eye-Tracker

Eine weitere wichtige Entwicklung in der Geschichte der Eye-Tracker stellen portable Eye-Tracking-Systeme dar. Erste Versuche mit einem am Kopf befestigten Eye-Tracker wurden 1948 von Hartridge und Thompson durchgeführt. Messungen der Augenbewegungen konnten damit in deutlich natürlicheren Umgebungen für den Probanden vollzogen werden und boten damit auch weitaus größere Einsatzmöglichkeiten. In den Folgejahren wurde der kopffeste Eye-Tracker weiter angepasst und wurde 1968 von Thomas um eine Frontkamera erweitert. So konnten nicht nur die Augenbewegungen, sondern auch das Sichtfeld des Probanden aufgezeichnet werden. Erste Einsätze in der Wirklichkeit sollte der kopffeste Eye-Tracker jedoch erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts bekommen. 1994 entwickelten Land und Lee gemeinsam einen portablen Eye-Tracker, der die Augenbewegungen des Probanden auf das aufgenommene Sichtfeld übertrug. Heutzutage sind portable Eye-Tracker weit verbreitet und vielfach genutzt. Experimente in der Wirklichkeit bilden wichtige Grundlagen für das Verständnis über das alltägliche Sehen (Wade & Tatler 2005).

Remote Eye-Tracker

Ein großes Problem für Eye-Tracker stellten Kopfbewegungen des Probanden dar. Zunächst wurde dieses Problem durch Fixation des Kopfes gelöst. Dazu musste der Proband beispielsweise auf ein Mundstück beißen, oder seinen Kopf festbinden lassen. Erst zur Jahrtausendwende wurden Eye-Tracker entwickelt, die auf die Fixation des Kopfes verzichteten. Zunächst musste der Kopf noch auf einer Stütze abgelegt werden, später wurde auch auf diese Stütze verzichtet. Diese neu gewonnenen Freiheiten eröffneten neue Einsatzmöglichkeiten für Eye-Tracker. So konnten unter anderem Eye-Tracker die Augenbewegungen eines Autofahrers messen (Wade & Tatler 2005).

Industrielle Produktion von Eye-Trackern

Bis Mitte der 1970er Jahre wurden Eye-Tracker für Studien von den Wissenschaftlern selber angefertigt. Dadurch wurden die Studien deutlich verlangsamt, denn es musste viel Zeit mit der Planung und Konstruktion verbracht werden. Eye-Tracker waren deshalb auch als exklusiv betrachtet und deutlich unpraktisch, waren sie doch meist für nur ein Problem konstruiert und zusätzlich nur selten transportabel (Holmqvist et al. 2011). Mitte der 70er Jahre wurden dann die ersten Eye-Tracker von Firmen hergestellt und an Wissenschaftler verkauft. Bereits ein Jahrzehnt später konnten Eye-Tracker von vielen verschiedenen Firmen erworben werden. Der Zugang zu Eye-Trackern wurde dadurch deutlich vereinfacht und ermöglichte es den Wissenschaftlern den Fokus ganz auf die Studien und weniger auf die Konstruktion benötigter Geräte zu legen (Holmqvist et al. 2011).

Moderne Eye-Tracker

In der heutigen Zeit haben sich vor allem zwei Arten von Eye-Trackern durchgesetzt: mobile und remote Geräte. Durch fortschreitende Digitalisierung wurden Eye-Tracker kleiner und leichter, die Bewegungen der Probanden ist dadurch nicht mehr eingeschränkt und ein spezielles Labor ist auch nicht mehr notwendig. Inzwischen bieten verschiedene Hersteller Einsteigermodelle zu erschwinglichen Preisen, sodass sich Eye-Tracker auch im Consumer-Bereich weiter verbreiten.

Trotzdem erfordern bestimmte Problemstellungen andere Eye-Tracker. In Schlaflaboren werden beispielsweise weiterhin EOG verwendet, um die Bewegungen geschlossener Augen aufzeichnen zu können (Wade & Tatler 2005).

Zeitliche Übersicht aller im Kapitel genannten Eye-Tracking-Entwicklungen

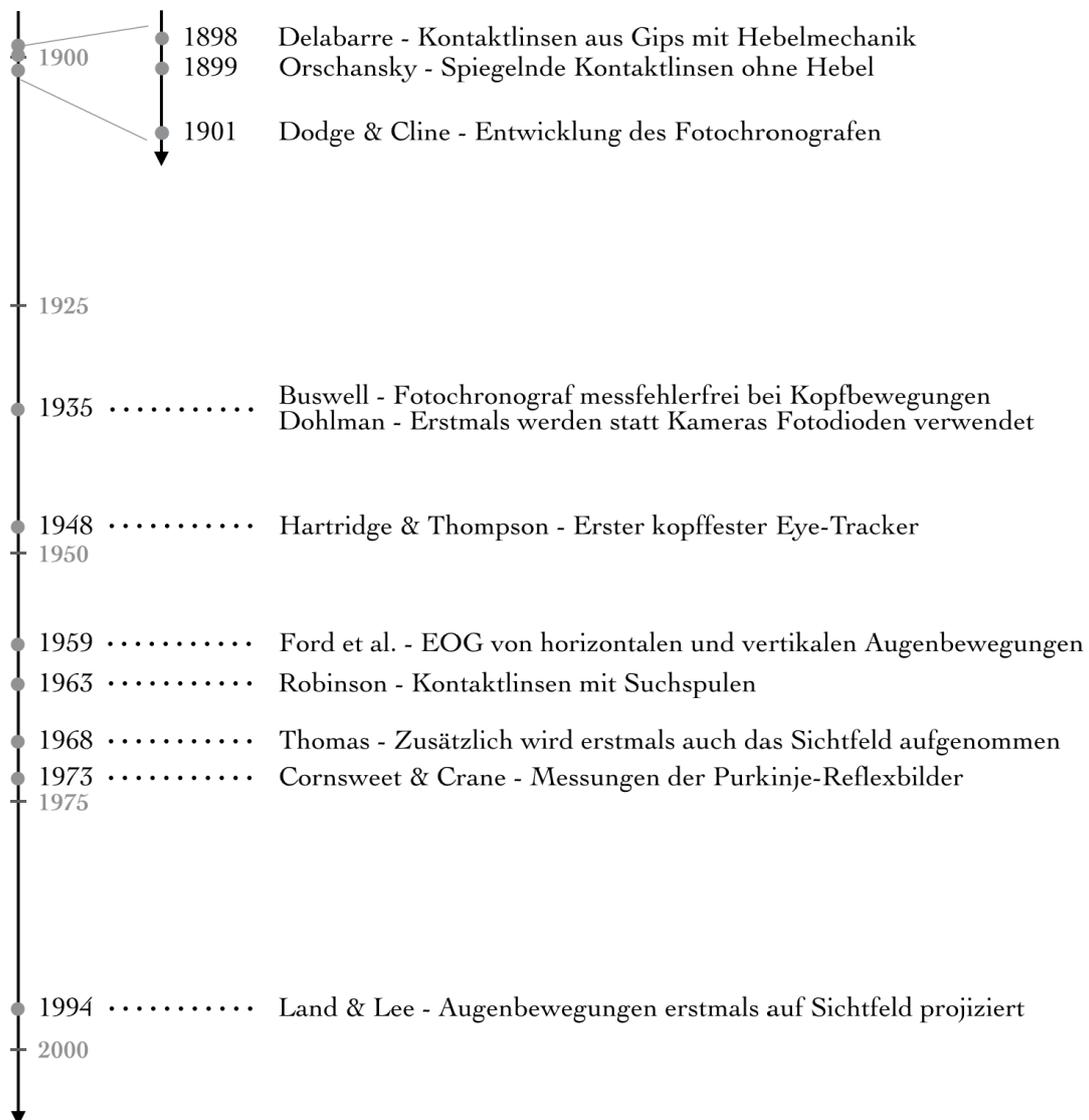


Abbildung 2: Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Eye-Tracker

2.2 Einsatzgebiete

Die ersten Eye-Tracker wurden mit dem Ziel entwickelt, Augenbewegungen zu erforschen und ein Verständnis für die Bewegungen zu erhalten. Inzwischen hat sich das Einsatzgebiet der Eye-Tracker dank fortschrittlicher neuer Technologien deutlich vergrößert:

Eye-Tracker in der Markt- und Konsumentenforschung

Eine wichtige Position nehmen Eye-Tracker im Bereich Marketing ein. Dort werden sie unter anderem zur Analyse und Optimierung von Regalen, Displays oder gar ganzen Geschäften verwendet (ryte.com). Die am häufigsten betrachteten Bereiche werden dabei ermittelt und bei der Darstellung von Waren und Produkten berücksichtigt.

Eye-Tracker werden außerdem verwendet, um zu klären, worauf sich der Kunde fokussiert, was sein Interesse weckt und was seine Entscheidung beeinflusst. Produktdesigns können anschließend angepasst und optimiert werden (tobiipro.com²).

Eye-Tracker als Hilfsmittel für medizinische Eingriffe

Die Analyse von Augenbewegungen kann helfen, verschiedene Erkrankungen festzustellen. Dabei können nicht nur Augenerkrankungen, sondern auch Entwicklungsstörungen sowie mentale und neurale Störungen untersucht und frühzeitig diagnostiziert werden (tobiipro.com).

Eye-Tracker im Straßenverkehr

„Driving without awareness“ heißt eine Reihe von Studien, die sich mit den Auswirkungen fehlender Konzentration am Steuer beschäftigt. Beispielfhaft seien hier die Studien von Charlton und Starkey (2010) sowie Briest, Karrer und Schleicher (2006) erwähnt. Probanden verbrachten dabei mehrere Stunden auf einer Teststrecke. Nicht nur Augenbewegungen wurden gemessen, sondern auch Daten erhoben, die unter anderem Aufschluss über den Fahrstil geben. Diese Studien dürften vor allem für Automobilhersteller von Interesse sein, hinsichtlich der Entwicklung notwendiger Assistenzsysteme zum Schutz der Verkehrsteilnehmer. Eine ausführliche Beschreibung dazu bieten oben genannte Studien.

Eye-Tracker in Unterhaltungs- und Spieleindustrie

Auch im Bereich Gaming sind Eye-Tracker inzwischen angekommen. Über 100 Spiele unterstützen bereits den Einsatz von Eye-Trackern, darunter namenhafte Computerspiele wie beispielsweise Far Cry, Assassin's Creed und Formel 1. Die Internetseite tobiigaming.com bietet eine Liste aller unterstützten Spiele. Außerdem bewirbt die Seite das intensivere Spielgefühl beim Einsatz von Eye-Trackern.

Eye-Tracker in der Didaktik

In der Didaktik werden Eye-Tracker bevorzugt eingesetzt, um Unterschiede im Umgang mit wissenschaftlichen Texten und Grafiken zwischen Experten und Novizen zu erkennen. Erkenntnisse dieser Studien können helfen Lehrmaterial für Novizen zu optimieren, Verständnisprobleme zu reduzieren und so die Aufnahme von Informationen für Novizen zu erleichtern (siehe z.B. Lehner & Reiss 2018 und Alcock et al 2015).

²Die Seite <https://www.tobiipro.com/research-paper-reference-library/> bietet eine umfangreiche Liste aller Studien, die mit Geräten der Tobii Group unterstützt wurden

3 Bewegungsarten des menschlichen Auges

Die Bewegungen des menschlichen Auges werden in diverse Arten eingeteilt. Im Rahmen dieser Arbeit beschränke ich mich jedoch auf die wichtigsten Bewegungen: Fixationen und Sakkaden. Eine ausführliche Zusammenfassung verschiedener Untersuchungen zu Augenbewegungen bietet Rayner (1998).

3.1 Fixationen

Die Fixation ist weniger eine Bewegung, sondern eher ein Fokussieren. Bei ihr ruhen die Augen auf einem Fixpunkt und bewegen sich nicht. Während der Fixation nimmt das Auge gezielt Informationen auf.

Vollständig still verharren Augen jedoch nie. Nystagmus heißt dieses Phänomen und beschreibt ein leichtes konstantes Zittern der Augen. Es wird vermutet, dass das Zittern notwendig ist, um die Nervenzellen der Retina permanent aktiv zu halten. Zusätzlich dazu und vielleicht auch als Folge des Nystagmus treiben Augen vom Fixpunkt ab. Diese als Drifts bezeichneten Bewegungen verursachen dann Mikrosakkaden, die die Abweichung vom Fixpunkt durch Drifts ausgleichen und die Rückbewegung zum Fixpunkt bewirken (Rayner 1998). Diese Bewegungen sind meist jedoch so minimal, dass sie trotzdem in die Kategorie Fixation eingeteilt werden.

3.2 Sakkadische Augenbewegungen

Entgegen der allgemeinen Annahme, dass das Auge fließende Bewegungen ausführt, ist das Auge tatsächlich dazu nicht in der Lage. Stattdessen springt das Auge ruckartig von A nach B. Diese Augenbewegung wird als Sakkade bezeichnet. Eine Sakkade dauert meist etwa 30-50 ms und ist gefolgt von einer Ruhepause, die doppelt bis fünfmal so lang ist (Bischof & Kramer 1968). Während einer Sakkade ist die Anzahl aufgenommener Informationen deutlich reduziert, geschuldet der schnellen Augenbewegungen. Dies wird als sakkadische Unterdrückung (saccadic suppression) bezeichnet und wurde erstmals von Martin (1974) beschrieben.

Eine Sonderform sakkadischer Augenbewegungen bilden Regressionen. Diese sind rückläufige Sakkaden zu einem bereits fixierten Bereich (Rayner 1998). Beim Lesen von Sachtexten werden über Regressionen beispielsweise Textpassagen erneut angesteuert, die zu Verständnisproblemen des Lesers führten.

3.3 Weitere Augenbewegungen

- **Pursuit Eye Movement** tritt auf, wenn das Auge ein sich bewegendes Ziel beobachtet. Die Geschwindigkeit des Auges ist dabei bedeutend langsamer als bei Sakkaden. Bewegt sich das Ziel dagegen schnell durch das Sichtfeld, führt das Auge jedoch wieder Sakkaden durch.
- Fixieren die Augen nahe Objekte, so bewegt sich das Augenpaar zueinander. Diese Bewegung der Augen wird als **Vergence Eye Movement** bezeichnet.
- Gleichen die Augen bei Fixation eines Punktes die Bewegungen von Kopf und Körper aus, dann rotieren die Augen, um das Sichtfeld konstant zu halten. Diese Rotation heißt **Vestibular Eye Movement**.

4 Der Versuch

Folgende Forschungsfragen sollen mit der Studie untersucht werden:

- **(F1)** Welche Unterschiede zeigen sich zwischen Experten und Novizen hinsichtlich ihres Vorgehens beim Analysieren von Grafiken der Veranstaltung „Rechnernetze“?
 - **(F1.1)** Wie unterscheiden sich Experten und Novizen in der ersten Phase (10 Sekunden) der Beobachtung?
 - **(F1.2)** Welche Lese-Strategie zeigen sich bei Experten bzw. Novizen?
- **(F2)** Welche Unterschiede zeigen sich bei der Informationsgewinnung aus der Grafik zwischen Novizen und Experten?

Darauf aufbauend wurden folgende Hypothesen von uns formuliert:

Wir vermuten, dass Experten im Vergleich zu den Novizen zielstrebig, verständnisorientierter und insgesamt strategischer lesen (Hinweise in diese Richtung geben zum Beispiel Alcock 2016 und Panse & Paravicini 2016). Außerdem können sie in kürzerer Zeit mehr Informationen aus der Grafik erfassen. Wir erwarten, dass es Anleitung und Übung bedarf, Grafiken (und davon abgeleitet vermutlich auch Abbildungen anderer Art in Informations- und Ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen) im Sinne des Lernprozesses sinnvoll und effizient zu lesen. Diese Kompetenzen können nicht automatisch nach der Schulausbildung erwartet werden (Anlass hierzu geben u.a. Weinhold 2013 und Reiss et al 2002). Daher liegt die Hypothese nahe, dass es Unterschiede im Leseverhalten gibt.

Die Frage F1 wird durch Unterfragen präzisiert. Hinsichtlich der Unterfrage F1.1 vermuten wir hier bereits erkennbare Unterschiede. Diese halten wir für besonders relevant, da bereits ein unterschiedlicher Start den unterschiedlichen Lesestil impliziert. Vorgaben diesbezüglich durch den Lehrenden wären daher noch wichtiger.

In Bezug auf Frage F2 stellen wir die Hypothese auf, dass die Experten mehr und insbesondere mehr richtige Informationen aus der Grafik entnommen haben und dabei tendenziell schneller sind. Wir gehen also von höherer Effektivität und Effizienz aus.

4.1 Versuchsaufbau

Die Messungen wurden in einem der Labore der Hochschule Stralsund durchgeführt. Ausgestattet ist dieses mit einem Eye-Tracker der Firma Tobii Modell X2-30 Compact sowie der dazu passenden Software Tobii Studio Version 3.4.8.³

Die Vorlesung Rechnernetze wird für Informatikstudenten im dritten Semester des Bachelorstudiums von Professor Dr. Noack gehalten und befasst sich im Allgemeinen mit Netzwerk-Grundlagen. In diesem Zusammenhang enthält die Vorlesung diverse Grafiken, die Funktionsweisen verwendeter Hardware beschreiben. Hub, Repeater und Switches können hier stellvertretend als Beispiele aufgeführt werden.

Auf dieser Grundlage wurde von Dr. Wolf eine Grafik erstellt, die dem Layout der Rechnernetze-Folien entspricht. Außerdem benannte er drei zentrale Ansprüche, die die Grafik erfüllen sollte:

³Die Software stand der Hochschule bis zum 18.05.2018 zur freien Verfügung. Wir erhielten freundlicherweise für diese Arbeit einen temporären Lizenzschlüssel und konnten so die Daten sichern.

- Die Grafik (und deren Inhalt) müssen für die Experten neu sein.
- Die Grafik muss auch von den Erstsemesterstudierenden in wenigen Minuten verstanden werden können.
- Die Grafik soll möglichst viele Ähnlichkeiten zu „typischen“ Grafiken der Veranstaltung aufweisen.

Eine Grafik zu einem existierenden Gerät/Netzwerk konnte für den Versuch nicht verwendet werden, sonst hätte die Gefahr bestanden, dass sich die Experten die Grafik nicht unbefangen anschauen könnten.

Von den Novizen wurde grundlegendes Verständnis für Datenweitergabe (gekennzeichnet durch Text und Pfeile) und Fallunterscheidungen (falls X, tue Y, sonst Z) erwartet. Da alle Novizen ein Studium in Informatik ablegen, sollten diese Grundvoraussetzungen auf jeden Fall erfüllt sein. Zur Sicherheit wurde eine unbeteiligte Person (60J, Hausfrau, wenig PC-Erfahrungen, hauptsächlich mit Microsoft Office) zur Grafik befragt. Die Erklärung der Grafik war ihr problemlos möglich.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Grafik war der Grad der Komplexität. Dieser sollte nicht zu hoch sein, sodass die Grafik relativ zügig erfasst werden kann. Andererseits sollte sie auch nicht zu simpel sein, sodass auch Verständnisprobleme und Fehler beim Lesen der Grafik aufgedeckt werden können.

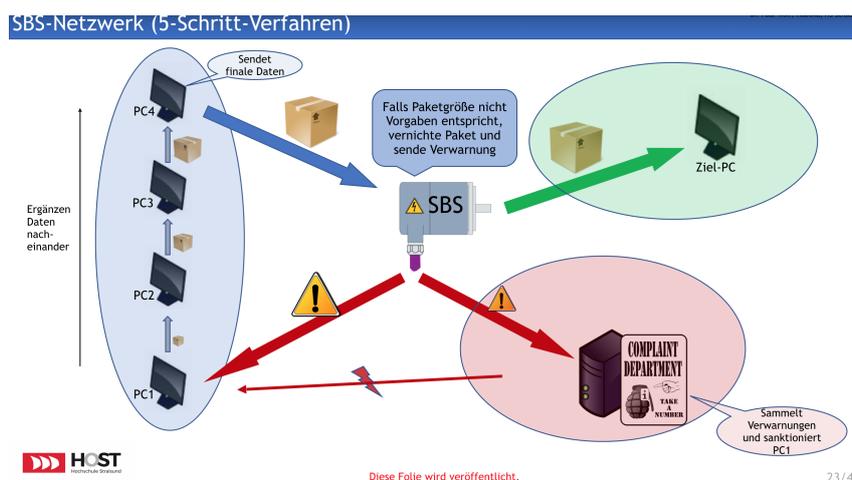


Abbildung 3: Fiktive Rechnernetze-Folie

Die Grafik in Abbildung 3 zeigt den Einsatz fiktiver Hardware namens SBS. PC1 sendet Daten an PC2. Dieser fügt weitere Daten hinzu, weshalb das Datenpaket auch in der Grafik größer wird. Analog wird das Paket bis PC4 weitergereicht und ergänzt. Am Rand wird auf das Ergänzen der Daten mit den Worten „Ergänzen Daten nacheinander“ hingewiesen. PC4 sendet dann die finalen Daten an das SBS. Das SBS prüft anschließend, ob die Paketgröße den „Vorgaben entspricht“. Trifft dies zu, so wird das Datenpaket an den Ziel-PC geschickt. Ansonsten wird das Datenpaket vernichtet und das SBS sendet sowohl eine Verwarnung an PC1, als auch an den Server „Complaint Department“. Der Server sammelt die Verwarnungen und sanktioniert PC1. Wie / Wann genau wurde absichtlich nicht angegeben, sodass geprüft werden kann, ob fehlende Infos einfach selbstständig „ergänzt“ werden.

4.2 Durchführung

Im August 2017 starteten die Messungen mit den Probanden der Experten-Gruppe, bestehend aus Professor Dr. Noack und einem Doktoranden der Informatik. Im November folgten dann die Messungen der Novizen-Gruppe. Diese bestand aus acht freiwilligen Probanden, sieben davon aus dem ersten Semester, der Achte aus dem siebten Semester. Der neunte Proband, eine Studentin des ersten Semesters, erschien nicht zur Messung. Alle Probanden waren somit männlichen Geschlechts. Für die freiwillige Teilnahme erhielten die Probanden einen Gutschein über zehn Euro für einen bekannten Onlinehändler.

Jedem Probanden wurde zunächst der Ablauf der Messung erläutert. Anschließend wurde der Eye-Tracker auf den Probanden eingestellt. Der Proband musste dazu auf dem Bildschirm aufleuchtende Punkte ansehen. Die Ergebnisse der Kalibrierung wurden innerhalb der Software als Profil für jeden Probanden angelegt und gespeichert. Des Weiteren wurde dem Probanden nun mitgeteilt, dass kein Zeitlimit beim Betrachten der Grafik besteht, jedoch anschließend ein Fragebogen zur Grafik ausgefüllt werden sollte. Dieser Hinweis sollte die Probanden motivieren, sich die Grafik konzentriert anzusehen und somit eine Vorlesungssituation simulieren. Während der Messungen wurde nicht gesprochen, um keinerlei Ablenkung zu erzeugen. Nach Beendigung der Messung wurde dem Probanden dann der Fragebogen (siehe Kapitel 7.4) vorgelegt, der die Zusammenhänge der einzelnen Grafikelemente hinterfragte.

Wir einigten uns direkt nach den durchgeführten Versuchen darauf, den Proband des siebten Semesters (P8) in die Expertengruppe aufzunehmen. P8 hatte die Vorlesung „Rechnernetze“ bereits gehört und wir vermuteten außerdem, dass P8 im Laufe des Studiums seine Kompetenzen im hier untersuchten Bereich deutlich entwickelt hatte.

5 Arten der Auswertung von Eye-Tracker-Daten

5.1 Heatmap

Heatmaps zeigen die von den Probanden am häufigsten und längsten betrachteten Punkte in einem farblichen Ampel-Intervall. Heatmaps können verwendet werden, um zu zeigen, welche Bereiche von den Probanden besonders häufig betrachtet wurden. Eine Auswertung über zeitliche Abfolgen ist jedoch nicht möglich. In Abbildung 4 ist als Beispiel eine Heatmap aus unserer Studie zu sehen. Man kann deutlich erkennen, welche Stellen besonders intensiv betrachtet wurden (rot).

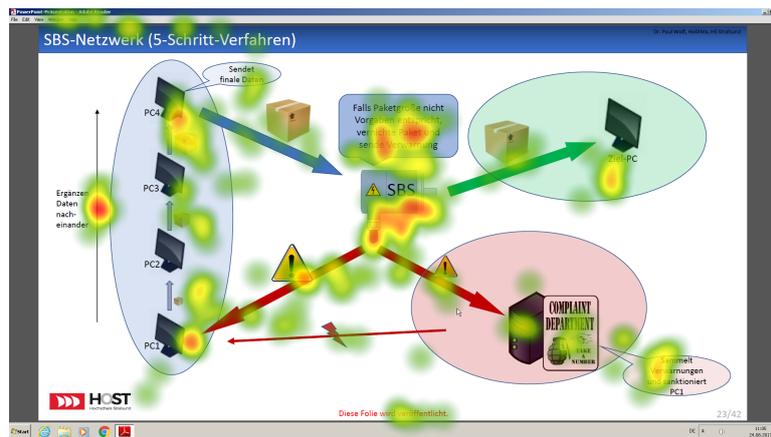


Abbildung 4: Heatmap

5.2 Gaze Plots

Gaze Plots können als erste Weiterentwicklung von Heatmaps verstanden werden. Bei jeder Fixation des Auges wird ein Kreis erstellt, der die Dauer der Fixation enthält und optisch größer wird, je höher die Fixationsdauer war. Zusätzlich wird eine direkte Linie zur vorherigen Fixation (also dem Kreis der Fixation) gezogen.

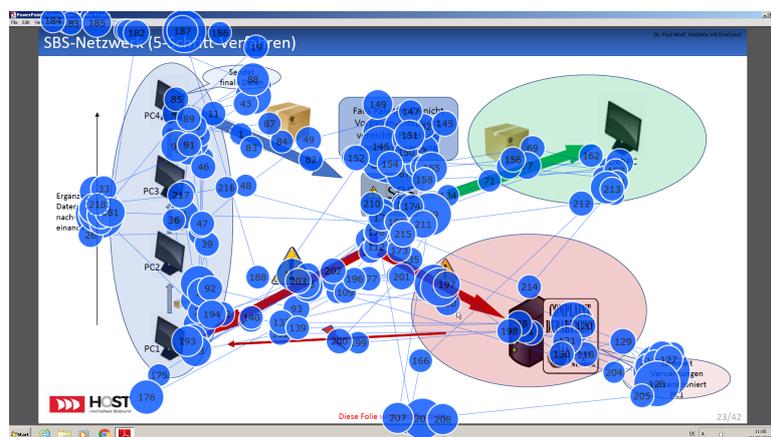


Abbildung 5: Gaze Plot

Die Bewegung der Augen kann somit grob nachvollzogen werden, obwohl kein Scanpath aufgezeichnet wurde. Auch mit Gaze Plots können häufig betrachtete Bereiche erkannt werden. Ein deutlicher Nachteil ist jedoch die Unüberschaubarkeit bei großen Datenmengen, wie Abbildung 5 erahnen lässt.

5.3 Scanpaths

Um Scanpath-Analysen durchführen zu können, wird das von den Probanden Betrachtete zunächst in Bereiche eingeteilt (Die Bereiche werden als AOI bezeichnet. Siehe hierzu Kapitel 5.4 und 6). Wird beispielsweise eine Internetseite betrachtet, so könnten Navigation, Header, Footer und Inhalt Beispiele für Bereiche sein. Findet eine Fixation innerhalb einer dieser Bereiche statt, so wird diese in einer Tabelle (siehe Tabelle 1) festgehalten. Die Länge der Fixation spielt dabei keine Rolle.

Proband	Scanpaths
P1	<i>ABCABABC</i>
P2	<i>ABABACBEFD</i>
P3	<i>ABEFEDCA</i>
P4	<i>CACDADEFB</i>
P5	<i>BCEDEDEFAC</i>

Tabelle 1: Beispielhafte Scanpath-Tabelle

Auf Grundlage dieser Tabelle können anschließend Scanpath-Analysetechniken angewendet werden. Die Techniken können in verschiedenen Gruppen zusammengefasst werden: Musterwahrscheinlichkeit, Übergangswahrscheinlichkeiten, Mustererkennung und gemeinsame Scanpaths. Techniken einer Gruppe können ähnliche Berechnungen aufweisen. Teilweise kann das Ziel zweier Techniken einer Gruppe völlig divers sein. Eine Übersicht dazu findet man in Eraslan, Yesilada und Harper (2016).

Stellvertretend werden zwei der Analysetechniken im Folgenden genauer betrachtet und deren Funktionsweise beschrieben:

Levenshtein Distanz

Die Levenshtein Distanz (auch bekannt als „String-edit Algorithm“) ist eine der Techniken der Musterwahrscheinlichkeiten. Zwei oder mehrere Scanpaths können miteinander verglichen werden, indem alle Scanpaths zu dem vergleichenden Scanpath umgewandelt werden. Die Umwandlungen sind Einfügen (+), Löschen (−) und Substitution (↔). Die Anzahl der Umwandlungen (d) wird zunächst mit der Länge des längeren Scanpaths dividiert (normalisiert), anschließend wird der Quotient von 1 abgezogen und mit 100 multipliziert (Eraslan, Yesilada & Harper 2016).

$$\text{Gleichheit} = 100 \cdot \left(1 - \frac{d}{n}\right)$$

Für besseres Verständnis wird die Übereinstimmung der Scanpaths S1 und S2 nachfolgend, schrittweise erklärend, berechnet. Führen wir zunächst beide Scanpaths tabellarisch untereinander auf, können Unterschiede in den Scanpaths spaltenweise bestimmt und aufgeführt werden. Die Tabellen 2, 3 und 4 verdeutlichen dabei die einzelnen Schritte.

S1	A	B	C	A	B	A	B	C			
S2	A	B	A	B	A	C	B	E	F	D	
Operationen	=	=	-								

Tabelle 2: Funktionsweise der Levenshtein-Distanz; Distanz = 1 (Zwischenstand)

Beide Scanpaths gleichen sich an erster und zweiter Position. An dritter Position unterscheiden sich C und A. Statt einer Substitution wird hier jedoch hinsichtlich des Folgepfades C in S1 gelöscht:

S1	A	B	A	B	A	B	C			
S2	A	B	A	B	A	C	B	E	F	D
Operationen	=	=	=	=	=	+				

Tabelle 3: Funktionsweise der Levenshtein-Distanz; Distanz = 2 (Zwischenstand)

Durch das Löschen von C in S1 gleichen sich nun beide Pfade um weitere drei Positionen. Nach dem Teilpfad ABABA wird in S1 ein C eingefügt:

S1	A	B	A	B	A	C	B	C		
S2	A	B	A	B	A	C	B	E	F	D
Operationen	=	=	=	=	=	=	=	↔	+/-	+/-

Tabelle 4: Funktionsweise der Levenshtein-Distanz; Distanz = 5 (Endergebnis)

Da im letzten Schritt eingefügt wurde, gleichen sich folglich beide Scanpaths in den ersten sieben Positionen. An achter Position wird nun substituiert. Anschließend kann entweder in S1 eingefügt, oder die letzten beiden Positionen in S2 gelöscht werden. Fünf Änderungen wurden insgesamt vorgenommen, also beträgt die Levenshtein-Distanz fünf. Anschließend werden $d = 5$ und $n = 10$ (Länge des längsten Scanpaths, hier S2) in die Gleichung der Gleichheit eingesetzt:

$$\text{Gleichheit} = 100 \cdot \left(1 - \frac{5}{10}\right) = 50\%$$

Als Ergebnis erhalten wir für S1 und S2 eine Gleichheit von 50%. Eine komplette Auflistung aller Scanpaths, ihrer Distanzen und Gleichheiten folgt in Tabelle 5:

	S1	S2	S3	S4	S5		S1	S2	S3	S4	S5
S1	—	5	6	7	8		—	50	25	22	20
S2	5	—	8	7	8	>	50	—	20	30	20
S3	6	8	—	8	6		25	20	—	11	40
S4	7	7	8	—	6		22	30	11	—	40
S5	8	8	6	6	—		20	20	40	40	—

Tabelle 5: Scanpath-Distanzen (links) und -Gleichheit in % (rechts)

Auswertend kann man an den Beispiel-Scanpaths erkennen, dass diese sich wenig gleichen. Am meisten ähneln sich die Scanpaths der Probanden P1 und P2 mit 50%.

Die Levenshtein Distanz bringt, trotz ihrer Einfachheit, jedoch einige gravierende Nachteile mit sich. Die Länge von Fixationen wird nicht gespeichert, vor allem aber wird die Distanz zwischen zwei Bereichen und die damit verbundene Zeit (Dauer einer Sakkade zwischen zwei Bereichen) nicht ausgewertet. Die Sakkaden bestimmen jedoch die Kosten der Umwandlungen: Sind zwei Objekte nah beieinander, so sind die Kosten einer Umwandlung geringer, als wenn beide Objekte weit voneinander entfernt sind (Eraslan, Yesilada & Harper 2016). Dies lässt sich anhand eines Beispiels verdeutlichen:

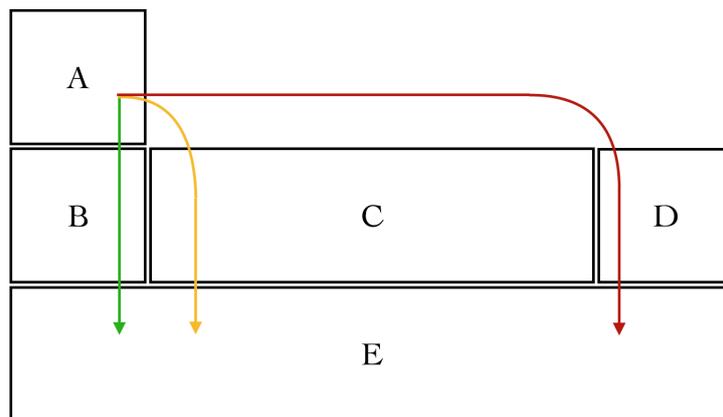


Abbildung 6: Beispiel für verschiedene Umwandlungskosten

Seien AOI wie in Abbildung 6 angeordnet. Weiter seien die Scanpaths ABE , ACE und ADE gegeben. Wird nun ABE mit ACE verglichen, so sind die notwendigen Kosten für die Substitution deutlich geringer, als beim Vergleich ABE mit ADE , da hier die notwendige Sakkade zum Erreichen von AOI D deutlich größer ist, als die Sakkade zu C . Dies wird innerhalb der Abbildung 6 durch die unterschiedlich eingefärbten Pfeile verdeutlicht.

Trotz aller aufgezählter Nachteile lässt die Formel nach Anwendung erste Tendenzen für die Auswertung der Daten erkennen. Aufgrund der einfachen Berechnung wird die Levenshtein Distanz daher trotzdem für die Auswertung von Eye-Tracking-Daten verwendet.

Das Modell von Markov

Eine häufig genutzte Analyse-Technik zur Bestimmung von Übergangswahrscheinlichkeiten bietet das Modell von Markov. Eine Matrix wertet dort die Scanpaths aus und gibt Auskunft über die Wahrscheinlichkeit eines Übergangs sowie die Anzahl im Versuch gemessener Übergänge. Eine Software-Lösung hierzu bietet *eyePatterns* (West et al 2006).

Die Software gibt (über das Modell von Markov) Auskunft darüber, wie häufig ein Element nach einem anderen begutachtet wurde, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Übergang zwischen zwei Elementen passiert und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Element vor einem anderen Element fixiert wird⁴.(ebd.).

Führen wir unser Beispiel aus dem Abschnitt Levenshtein Distanz fort, erhalten wir aus den Beispiel-Scanpaths der Tabelle 1 die nachfolgende Tabelle 6:

	A	B	C	D	E	F
A	-	6	2	1	0	0
	-	66,7%	22,2%	11,1%	0%	0%
	-	75,0%	33,3%	16,7%	0%	0%
B	3	-	3	0	2	0
	37,5%	-	37,5%	0%	25,0%	0%
	37,5%	-	50,0%	0%	28,6%	0%
C	3	1	-	1	1	0
	50,0%	16,7%	-	16,7%	16,7%	0%
	37,5%	12,5%	-	16,7%	14,3%	0%
D	1	0	1	-	3	0
	20,0%	0%	20%	-	60%	0%
	12,5%	0%	16,7%	-	42,9%	0%
E	0	0	0	3	-	4
	0%	0%	0%	42,9%	-	57,1%
	-	0%	0%	50,0%	-	100%
F	1	1	0	1	1	-
	25,0%	25%	0%	25%	25%	-
	12,5%	12,5%	0%	16,7%	14,3%	-

Tabelle 6: Übergänge innerhalb der Scanpaths

Jede Zelle beinhaltet drei Werte: Der erste Wert ist die Anzahl der gefundenen Übergänge, der zweite Wert zeigt die Übergangswahrscheinlichkeit zweier AOI und die dritte Wahrscheinlichkeit zeigt, wie häufig ein AOI vor einem anderen fixiert wurde. Nehmen wir beispielsweise den Übergang von *A* zu *B*. Dieser wurde in den Scanpaths sechs Mal gefunden. Die Übergangswahrscheinlichkeit, dass der Blick von *A* nach *B* wandert, liegt bei rund 66,7%. Zu 75% Wahrscheinlichkeit wurde *A* direkt vor *B* fixiert.

⁴Das *eyePatterns*-Handbuch ist unter folgendem Link erhältlich:
twiki.cis.rit.edu/twiki/pub/MVRL/EyePatterns/eyePatterns_HELP_file.pdf
 Darin werden die Funktionalitäten der Software anhand von Beispielen gezeigt.

Die Problematik bei diesem Modell ist jedoch, dass nicht definiert werden kann, ob ein ermittelter Scanpath tatsächlich in multiplen Scanpaths auftritt. Gehen wir beispielsweise davon aus, dass *A* der Startpunkt ist, da die meisten Scanpaths dort beginnen (vgl. Tab. 1). Laut den Übergangswahrscheinlichkeiten aus Tabelle 6 wird nach *A* am wahrscheinlichsten *B* (66,7%) fixiert, wovon *A* (37,5%) oder *C* (37,5%) am wahrscheinlichsten betrachtet werden. Auch von *C* wird der Blick am wahrscheinlichsten nach *A* (50%) gerichtet. Somit ergibt sich ein Scanpath von *AB*- und *ABC*-Folgen. Ein Endpunkt in diesem Scanpath existiert jedoch nicht, sodass die Frage offen bleibt, wo dieser innerhalb des Scanpaths gesetzt werden müsste. Dazu kommt, dass auch hier die Dauer der Fixationen sowie die Verteilung der AOI nicht berücksichtigt wird (Eraslan, Yesilada & Harper 2016).

5.4 AOI Sequence Charts

Im Gegensatz zu Scanpath-Analysetechniken sind AOI Sequence Charts deutlich übersichtlicher und fest strukturiert. Zum Erstellen der Scanpaths werden zunächst wieder Bereiche, sogenannte „Area of Interest“ (kurz: AOI), festgelegt. Bei den AOI Sequence Charts spielt jetzt aber auch die Länge der Fixation eine Rolle. Auf einer Zeitachse werden durch farbliche Segmente, die als Breite die Dauer der Fixation aufweisen, die Betrachtungsdauer einzelner AOI dargestellt. Der vollständige AOI Sequence Chart bildet also betrachtete AOI pro Zeitintervall ab. Somit können die Reihenfolge der Betrachtung und die Häufigkeit und Länge der Betrachtungen abgelesen werden.

In Kapitel 6 „Der AOI Sequence Chart Generator“ gehe ich detaillierter auf den AOI Sequence Chart ein, zeige Beispiele, Ursprung und Verwendungsmöglichkeiten.

6 Der AOI Sequence Chart Generator

Auf der gemeinsamen Jahrestagung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung (DMV) und der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik (GDM), welche vom 5.-9. März 2018 vom Institut für Mathematik der Universität Paderborn ausgerichtet wurde, berichtete Anselm Strohmaier (TUM) von seinen Erfahrungen mit den verschiedenen Eye-Tracking-Auswertungsmethoden im Rahmen seiner Forschung im Bereich der Didaktik ("Blickbewegungen beim Lesen von Textaufgaben – Neue Wege bei der Nutzung von Eye-Tracking-Daten", siehe Strohmaier 2018). Es zeigte sich, dass die zählenden und zeitlichen Parameter allein mitunter nur wenig Aussagekraft besitzen und nur bedingt die Lesestrategien aufzeigen können. Räumliche Parameter (s. z.B. Alcock 2015) beachten das Bleiben, Wechseln und lineare vs. springende Augenbewegungen. Eine sehr hilfreiche Darstellung bietet laut Strohmaier der AOI Sequence Chart. Hier werden auf einem Zeitstrahl die verschiedenen Bereiche farblich (mit einer gewissen Höhe für leichtere Analyse) markiert. So könnte beispielsweise ein solcher Chart wie folgt aussehen:

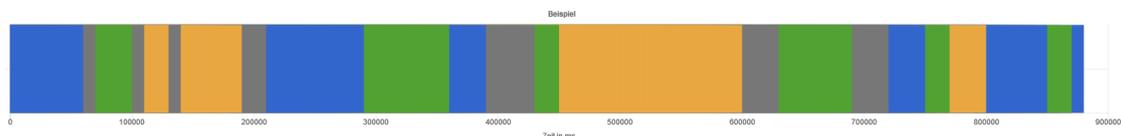


Abbildung 7: Beispiel für einen AOI Sequence Chart

Man sieht in Abbildung 7 einen Chart mit verschiedenen farblichen Segmenten. Die Farben blau, grün und gelb geben drei beispielhafte Bereiche A (z.B.: Titel), B (z.B.: Text) und C (z.B.: Grafik) an. Der graue Bereich kennzeichnet, dass der Proband keinen der drei Bereiche angesehen hat.

Nach Rücksprache mit Strohmaier zeigte sich, dass ein entsprechender AOI Sequence Chart Generator fehlt und von großem Interesse wäre. Außerdem zeigte sich, dass in Tobii Studio kein solcher Generator existiert. Auch eine ausgiebige Recherche im Internet ergab, dass für unsere Studie tatsächlich keine passende Analyse-Software erhältlich ist. Besonders die Darstellung von AOI Sequence Charts wird nicht unterstützt. Lediglich BeGaze der Firma SensoMotoric Instruments⁵ von 2009 bietet diesbezüglich Tools. Die Darstellung der AOI Sequence Charts entspricht jedoch unserer Erfahrung nach nicht in allen Punkten den Bedürfnissen von Forschern. Die Software bietet dafür neben dem Erstellen von AOI Sequence Charts diverse andere Werkzeuge, machte jedoch zudem einen nicht zeitgemäßen Eindruck. Wir entschieden uns daher selbstständig eine kompakte Softwarelösung zu entwickeln. Die Entwicklung und Anwendung der Software nimmt einen wichtigen Teil dieser Bachelorarbeit ein.

Gemeinsam mit Dr. Wolf plante der Autor dieser Arbeit den ersten Entwurf der Software. Zunächst lag das Hauptaugenmerk auf der Darstellung der durch Tobii Studio gewonnenen Daten. Tobii Studio bietet eine Exportfunktion, die diverse Daten⁶ als tsv-Datei (tsv = „Tab Separated Values“) ausgibt. Diese sollte als Datenbasis für unseren AOI Sequence Chart Generator dienen und anschließend in AOI Sequence Charts umgewandelt werden.

⁵<https://www.smivision.com>

⁶Exportiert werden u.a. Laufzeit der Aufnahme, Augenbewegungen, AOI, Maus- und Tastatureingaben

Die Software wurde aus folgenden Gründen mit JavaScript realisiert. JavaScript ist eine bekannte und oft bereits in der Schule vermittelte Sprache. Die Dokumentation im Internet ist sehr gut, sodass der Sequence Chart Generator problemlos von Dritten angepasst und erweitert werden kann. Vor allem aber das dynamische Erstellen der Charts und Legendeneinträge ist mit JavaScript gut umsetzbar. Zusätzlich dazu wurden einige weitere Bibliotheken hinzugefügt. Das Zeichnen der Charts übernimmt „Scriptjs“, einige optische Verbesserungen werden mit „jQuery“ und „jQueryUI“ umgesetzt und das Einlesen der tsv-Dateien übernimmt „d3.js“. Auch diese Bibliotheken sind mit Beispielen gut dokumentiert zu finden.

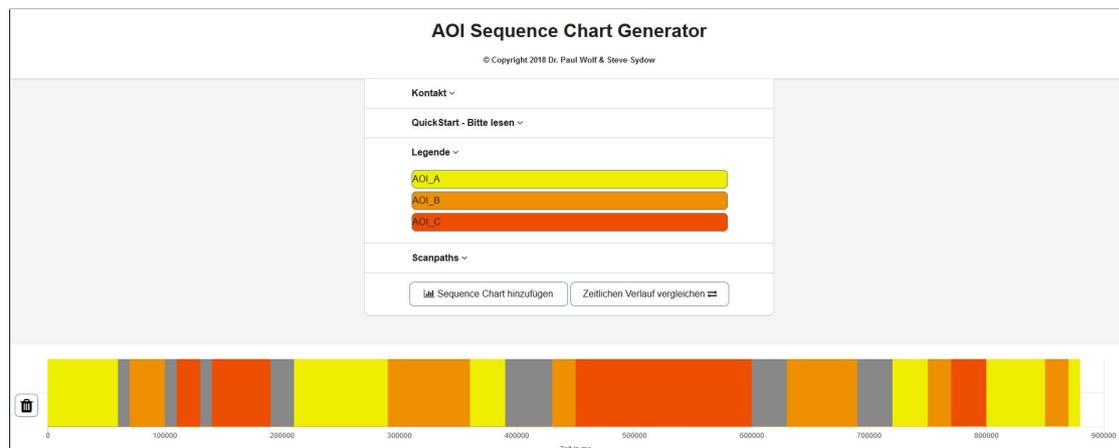


Abbildung 8: Der AOI Sequence Chart Generator

Im Zuge der Entwicklung wurden weitere Funktionalitäten hinzugefügt, die das Arbeiten mit der Software und die Auswertung der AOI Sequence Charts erleichtern sollten. Zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Bachelorarbeit bietet der AOI Sequence Chart Generator die Möglichkeit, AOI über eine dynamisch erstellte Legende auszugrauen, die Reihenfolge der Charts zu verändern, Charts zu löschen sowie einen zweiten Modus der Chart-Darstellung, der alle Charts auf eine gemeinsame Länge streckt. Eine detaillierte Beschreibung zu den Funktionalitäten der Software befindet sich in Kapitel 6.1 im Nutzerhandbuch. Abbildung 8 zeigt den zur Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit aktuellen AOI Sequence Chart Generator.

Obwohl der AOI Sequence Chart Generator als Anwendung für den Browser konzipiert ist, können nicht alle Browser verwendet werden. Das Problem liegt hier am Zugriff über den Browser auf das lokale Datei-System des Rechners. Diese als „Cross-Origin Request“ bezeichneten Zugriffe werden nur in Ausnahmefällen erlaubt. Um die Software in ihrem vollen Funktionsumfang benutzen zu können, empfehlen wir die Verwendung von Mozilla Firefox.⁷

⁷Zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit wurde Mozilla Firefox Version 61.0.1 (64 bit) verwendet.

6.1 Nutzerhandbuch

Der AOI Sequence Chart Generator bietet dem Nutzer die Möglichkeit AOI Sequence Charts aus tsv-Dateien zu erstellen und miteinander zu vergleichen. In der tsv-Datei hinterlegte Area of Interest (AOI) können über die Software in den Charts eingeblendet oder ausgegraut werden. Solche tsv-Dateien erhält man üblicherweise durch den Datenexport aus z.B.: Tobii Studio Pro.

Vorab: Bitte achten Sie darauf, dass ihre tsv-Dateien dem Format der beigefügten BeispielSequence.tsv entsprechen (Dies muss gegebenenfalls manuell erfolgen). Achten Sie außerdem darauf, dass nicht mehr als 15 AOI ausgewählt wurden, da 15 das Maximum möglicher AOI darstellt. Sollten sich diese überlagern, kann der Generator zwar einen Chart erstellen, jedoch existiert keine Lösung zur gesonderten Darstellung dieser AOI.

1.) Bevor Sie den AOI Sequence Chart Generator starten, speichern Sie zunächst alle gewünschten tsv-Dateien direkt im Ordner der Chart_Generator.html ab. Dieser Schritt ist zwingend notwendig, da die Software keinen Zugriff auf Dateien außerhalb des Ordners hat.

2.) Öffnen Sie die Chart_Generator.html mit Mozilla Firefox. Sollte dies nicht Ihr Standardbrowser sein, so gehen sie mit Rechtsklick auf die Chart_Generator.html und wählen dort im Menü „Öffnen mit“ und anschließend Mozilla Firefox aus. Für die Verwendung des Sequence Chart Generators ist die Verwendung von Mozilla Firefox unabdingbar, da unseres Wissens nach nur Firefox den Zugriff auf das Dateisystems (eingeschränkt) zulässt.

3.) Wählen Sie mit dem Button „Sequence Chart hinzufügen“ im öffnenden Fenster die gewünschte tsv-Datei aus. Anschließend wird der Chart sowie die Legende automatisch erstellt.

4.) Werden bereits mehrere Charts angezeigt, so können diese per Drag & Drop verschoben werden. Die Reihenfolge der Charts kann also verändert werden und hängt nicht zwingend von der Reihenfolge des Hinzufügens ab.

5.) Über die Legende, die erst nach erstmaligen Hinzufügen eines Charts automatisch erstellt wird, können AOI durch einfachen Knopfdruck aktiviert und deaktiviert werden. Diese Änderungen gelten für alle angezeigten Charts. Einige Sekunden Wartezeit können bei vielen Charts daher leider auftreten. Auch bei allen Charts die später hinzugefügt werden, deaktivieren sich automatisch alle inaktiven AOI.

6.) Der Knopf „Strategien vergleichen“ streckt nach Betätigen alle Graphen auf eine gemeinsame Länge. Die Länge (in Millisekunden) des längsten hinzugefügten Charts wird dabei abgespeichert und als Referenz verwendet. Bei erneutem Betätigen des Knopfes (Achtung: die Beschriftung des Buttons hat sich geändert) werden alle Charts wieder zurück auf die eigentliche Länge gestaucht. Auch dieser Vorgang kann einige Sekunden Zeit in Anspruch nehmen.

7.) Über das Mülleimer-Symbol am linken Rand jedes Charts können diese wieder gelöscht werden.

8.) Das mehrfache Einbinden einer tsv-Datei ist nicht möglich. Sollte eine tsv-Datei bereits hinzugefügt worden sein, so erscheint bei erneutem Hinzufügen einen Hinweis-Dialog.

Scanpath & Levenshtein-Distanz (Add-On)

Für jeden erstellten AOI Sequence Chart werden im Reiter „Scanpath“ Scanpaths und Länge des Scanpaths hinterlegt. Über die Textfelder können anschließend Scanpaths eingegeben werden (*Tipp: Copy & Paste der angegebenen Zeichenkette*). Über den Button „Levenshtein-Distanz berechnen“ können diese mittels Levenshtein-Distanz hinsichtlich der Übereinstimmung verglichen werden.

6.2 Geplante Features

Im Zeitrahmen dieser Bachelorarbeit konnten nicht alle Ideen umgesetzt werden. Diese möchte ich daher in diesem Kapitel festhalten:

1.) Anzeigen bestimmter Intervalle:

Gerade bei längeren Messreihen über mehrere Minuten wird der Chart sehr groß und aufgrund des Scalings irgendwann anstrengend zu lesen. Eventuell ist es auch von Interesse Teilsegmente zweier Charts zu vergleichen. Hierfür soll eine Intervall-Angabe implementiert werden, die den Chart auf das angegebene Intervall streckt.

2.) Ausgrauen von Sakkaden:

Informationsaufnahme über die Augen findet nur bei Fixation des Auges statt. Daher wäre es eventuell sinnvoll, wenn Sakkaden im Sequence Chart ausgegraut werden können.

3.) Einbinden eines Color-Pickers:

Bislang bietet die Software sechzehn verschiedene Farben zur Darstellung der AOI. Freiwählbare Farben könnten die momentan vorgegebene Anzahl AOI eliminieren, die Software personalisieren und erweiterte Barrierefreiheit schaffen. So können Nutzer mit Sehbehinderung (z.B.: Rot-Grün-Schwäche) passende Farben auswählen.

4.) Anzeigen des AOI-Namens:

Bislang versteckt sich die Legende im oberen Bereich der Software. Das führt zu häufigem Scrollen zwischen den Charts und der Legende. In Zukunft soll im Hover-Menü der Charts neben dem Klarnamen des Probanden auch die jeweilige AOI benannt und angezeigt werden.

5.) Zeitmessung einzelner AOI:

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Analyse von AOI Sequence Charts ist, wie häufig und lange ein AOI pro Proband betrachtet wurde. Eine Statistik hierzu ist daher sinnvoll.

6.) Automatisierte Levenshtein Distanz:

Anstelle der manuellen Eingabe aller Scanpaths soll die Software je eine Tabelle für die Distanz und die Gleichheit der Scanpaths automatisch erstellen.

7 Auswertung

Für die Hypothesen und Forschungsfragen (hier erneut aufgeführt) entwickelten wir passende Instrumente, die bei der Auswertung der erhobenen Daten in Hinsicht auf die Forschungsfragen helfen sollten.

- **(F1)** Welche Unterschiede zeigen sich zwischen Experten und Novizen hinsichtlich ihres Vorgehens beim Analysieren von Grafiken der Veranstaltung „Rechnernetze“?
 - **(F1.1)** Wie unterscheiden sich Experten und Novizen in der ersten Phase (10 Sekunden) der Beobachtung?
 - **(F1.2)** Welche Lese-Strategie zeigen sich bei Experten bzw. Novizen?
- **(F2)** Welche Unterschiede zeigen sich bei der Informationsgewinnung aus der Grafik zwischen Novizen und Experten?

Der Sequence Chart sowie der dafür entwickelte Generator stellen das zentrale Analyse-Tool dieser Untersuchung dar. Vor allem für die Unterfragen von F1 soll der Sequence Chart Generator verwendet werden und neue Erkenntnisse bringen. Unterstützend soll die Levenshtein Distanz hinzugezogen werden. Für F2 sollte die Auswertung der Fragebögen thematisiert werden.

Für die Verwendung des AOI Sequence Chart Generators wurden zunächst mit Tobii Studio AOI, wie in Abbildung 9 zu sehen, angelegt. Als eigenständige AOI wurden die Elemente der Grafik gekennzeichnet, die für das Verständnis der Gesamtgrafik von Bedeutung sind. Informativ irrelevante Bereiche, wie beispielsweise das HOST-Logo, werden somit im AOI Sequence Chart grau dargestellt.

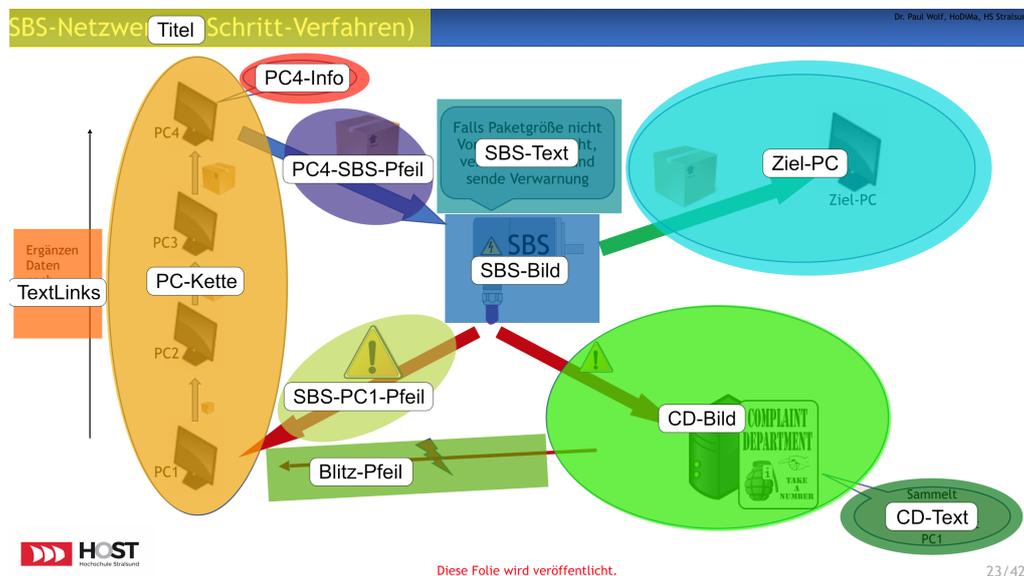


Abbildung 9: Die AOI der fiktiven Vorlesungsfolie

7.1 Auswertung der Messzeiten

Bereits an den in Tabelle 7 aufgezählten gemessenen Betrachtungszeiten der Probanden lassen sich erste Vermutungen aufstellen.

Proband	Semester	Studiengang	Messzeit
E1	-	Professor	66s
E2	-	Doktorand	63s
P8	7	SMI	70s
P1	1	SMI	74s
P2	1	SMI	88s
P3	1	SMI	62s
P4	1	SMS	77s
P5	1	SMI	42s
P6	1	SMI	132s
P7	1	SMI	69s

Tabelle 7: Übersicht über die Probanden

Die aufgenommenen Messzeiten der Experten liegen bei 63 bis 70 Sekunden (Mittelwert: 66.3, Median: 66, SD: 3.5) und damit recht deutlich zusammen. Die Spanne der Messzeiten der Novizen dagegen ist deutlich größer. Hier liegen die Zeiten zwischen 42 und 132 Sekunden (Mittelwert: 77.7, Median: 74, SD: 27.9). In der Gruppe der Novizen befinden sich so die kürzesten, als auch die längsten Zeiten. Der Median beider Gruppen liegt etwa 8 Sekunden auseinander. Die Experten benötigten also weniger Zeit für das Erfassen der Grafik und waren dabei insgesamt als Gruppe betrachtet konstanter. Die Box-Plots in Abbildung 10 zeigen dies klar.

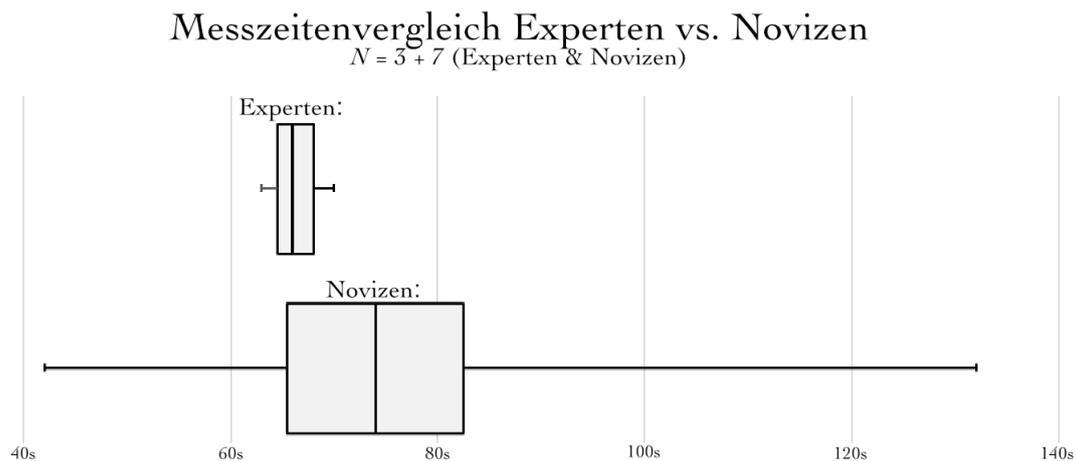


Abbildung 10: Box-Plots der Experten (oben) und Novizen (unten)

7.2 Auswertung der Scanpaths

Wie in Kapitel 5.3 bereits ausführlich beschrieben, bieten Scanpaths (insbesondere die Levenshtein Distanz) verschiedene Nachteile bei der Auswertung. Aufgrund der einfachen Berechnung entschieden wir uns trotzdem für eine Auswertung mit der Levenshtein Distanz und erwarteten erste Antworten hinsichtlich F1. Für erste Aussagen über die Lese-Strategien der Experten und Novizen (F1.2) wurden über die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Software die Gleichheiten aller Scanpaths bestimmt und in Tabelle 8 zusammengefasst.

	E1	E2	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
E1	–									
E2	39,5	–								
P8	34,4	36,6	–							
P1	23,4	36,8	36,6	–						
P2	26,6	44,7	38,7	28,1	–					
P3	21,9	29,0	37,6	37,5	31,8	–				
P4	34,4	34,2	35,5	35,9	33,3	33,3	–			
P5	28,1	29,0	25,8	25,0	28,6	33,3	35,4	–		
P6	33,0	32,0	31,1	29,1	34,0	32,0	33,0	25,2	–	
P7	33,3	28,2	33,3	34,6	34,6	42,1	39,7	28,2	35,9	–

Tabelle 8: Übereinstimmung der Scanpaths in %

Zunächst fällt auf, dass alle Gleichheiten in Tabelle 8 zwischen 21,9% und 44,7% liegen und somit einen nur sehr kleinen Bereich bilden. Aussagekräftige Werte sind so schwer zu identifizieren. Dennoch wurden im Anschluss die Gleichheiten jedes Experten mit den Novizen sowie die Gleichheiten der Experten untereinander verglichen und in Tabelle 9 aufgelistet.

	\bar{N}	\tilde{N}	E1	E2	P8
E1	28,7	28,1	–	39,5	23,4
E2	33,4	32,0	39,5	–	36,6
P8	28,9	35,5	23,4	36,6	–

Tabelle 9: Vergleich der Übereinstimmung der Scanpaths in %

Die Gleichheiten in Tabelle 9 liegen mit 23,4% (geringste Gleichheit zwischen E1 und P8) und 39,5% (höchste Gleichheit zwischen E1 und E2) sehr nah beieinander. Genaue Aussagen über die einzelnen Lese-Strategien der Experten und Novizen (F1.2) lassen sich somit noch nicht treffen. Immerhin scheinen jedoch alle Probanden gleiche oder ähnliche Teilpfade aufzuweisen.

Hinsichtlich unterschiedlicher Vorgehen der Experten und Novizen innerhalb der ersten Phase der Betrachtung (F1.1) wollten wir bereits mithilfe der Levenshtein Distanz prägnante Aussagen treffen können. Auch in unserer Studie erwarteten wir hohe Gleich-

heiten in der ersten Betrachtungsphase. Dies hat Buswell (1935) erstmalig festgestellt und seitdem mehrfach bestätigt. Dazu wurden die Scanpaths der ersten zehn Sekunden über die Software angelegt und deren Gleichheit berechnet.

	E1	E2	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
E1	–									
E2	53,9	–								
P8	35,7	57,1	–							
P1	30,8	23,1	21,4	–						
P2	40,0	53,9	50,0	15,4	–					
P3	23,1	38,5	42,9	46,2	30,8	–				
P4	62,5	46,2	35,7	53,9	50,0	38,5	–			
P5	12,5	7,7	7,1	15,4	20,0	7,7	0,0	–		
P6	35,7	50,0	35,7	28,6	50,0	21,4	35,7	21,4	–	
P7	50,0	46,2	42,9	38,5	25,0	30,8	50,0	0,0	35,7	–

Tabelle 10: Übereinstimmung der Scanpaths der ersten zehn Sekunden in %

Die berechneten Gleichheiten aus Tabelle 10 weisen eine deutlich höhere Spanne auf: 0% Gleichheit bei den Scanpaths P4-P5 sowie P5-P7 und 62,5% Gleichheit bei E1-P4. Wieder wurden anschließend die Gleichheiten jedes Experten mit den Novizen sowie die Gleichheiten der Experten untereinander verglichen.

	\bar{N}	\tilde{N}	E1	E2	P8
E1	36,4	35,7	–	53,9	35,7
E2	37,9	46,2	53,9	–	57,1
P8	33,6	35,7	35,7	57,1	–

Tabelle 11: Vergleich der Übereinstimmung der 10s Scanpaths in %

Bis auf die Gleichheit der Scanpaths E1-P8 mit 35,7% zeigt Tabelle 11 signifikant höhere Gleichheiten zwischen den Experten. Im Vergleich zu den gemittelten Experten-Novizen-Gleichheiten sind diese etwa 20% höher. Lediglich der Median der E2-Novizen-Gleichheit bildet hier mit 46,2% eine Ausnahme. Bezüglich F1.1 vermuten wir durch diese Auswertung deutliche Unterschiede in den Vorgehen der Experten und Novizen. Diese Vermutung soll in Kapitel 7.3 bestätigt werden.

An dieser Stelle sei abschließend erneut auf die Nachteile bei der Auswertung mittels Levenshtein Distanz verwiesen. Die für die Studie gewählten AOI sind teils vergleichsweise klein und die der Dauer der Gesamtbetrachtung für ein repräsentatives Ergebnis der Levenshtein Distanz wahrscheinlich zu hoch. Eine deutlich vereinfachte Wahl der AOI mit „PC-Kette“ inklusive „TextLinks“ und „PC4-Info“, „SBS“ (Text und Bild), „Ziel-PC“ und „Complaint Department“ (auch Bild und Text) könnte nach Analyse über die Levenshtein Distanz aussagekräftigere Ergebnisse liefern. Zusätzlich könnten weitere Scanpath-Analysetools verwendet werden. Darauf wurde jedoch hinsichtlich des Rahmens dieser Arbeit vorerst verzichtet.

7.3 Auswertung der AOI Sequence Charts

Für die Auswertung der AOI Sequence Charts soll vor allem die Längen des Charts, die Länge der Betrachtungsdauer einzelner AOI sowie die Reihenfolge der Betrachtung im Fokus stehen. Die Daten dazu werden aus dem AOI Sequence Chart Generator und vereinzelt aus den Analysetools aus Tobii Studio entnommen. Für die Lesbarkeit der AOI Sequence Charts kann die Legende in Abbildung 11 verwendet werden. Diese entspricht den in der Grafik eingezeichneten AOI aus Abbildung 9.

Legende der AOI Sequence Charts

Titel	PC4-SBS-Pfeil	CD-Bild
PC-Kette	SBS-Bild	CD-Text
TextLinks	SBS-Text	Blitz-Pfeil
PC4-Info	Ziel-PC	SBS-PC1-Pfeil

Abbildung 11: Legende der nachfolgenden AOI Sequence Charts

7.3.1 Die Charts der Experten

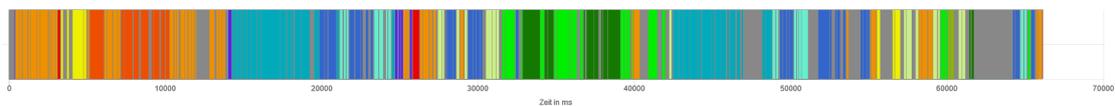


Abbildung 12: AOI Sequence Chart E1

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
1,8s	10s	4,0s	7,9s	12,1s	3,3s	4,9s	4,3s

Tabelle 12: E1 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Experte E1 betrachtete die Grafik 66 Sekunden lang (vgl. Abb. 12 und Tab. 12). Nach 40 Sekunden hatte E1 alle Elemente der Grafik mindestens ein Mal betrachtet. Auffallend ist das strukturierte Vorgehen bei der Betrachtung. Zunächst wurde der Weg ausgehend von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Ziel-PC* verfolgt. Anschließend wurde der Weg erneut von der *PC-Kette* über das *SBS* diesmal zum *Complaint Department* aufgebaut. Hierbei wurden *PC-Kette* und *SBS* bereits deutlich kürzer betrachtet. Abschließend wurde das *SBS* erneut studiert und abschließend einzelne Komponenten kurz betrachtet.

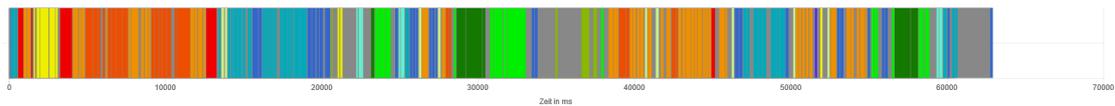


Abbildung 13: AOI Sequence Chart E2

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
2s	12s	6,3s	5,52s	7,9s	1,2s	4,8s	3,5s

Tabelle 13: E2 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Mit 63 Sekunden hatte E2 die kürzeste Betrachtungsdauer der Experten (vgl. Abb. 13 und Tab. 13) und geht ähnlich strukturiert vor wie E1. Wieder verläuft der Blick von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Ziel-PC*. Anschließend wird der Weg jedoch nicht erneut von der *PC-Kette* aufgebaut, sondern direkt über das *SBS* zum *Complaint Department*. Nach 33 Sekunden wurden erstmals alle Elemente betrachtet. In den restlichen 30 Sekunden der Aufnahme wurde der Weg *PC-Kette*, *SBS*, *PC-Kette*, *Complaint Department* gegangen.

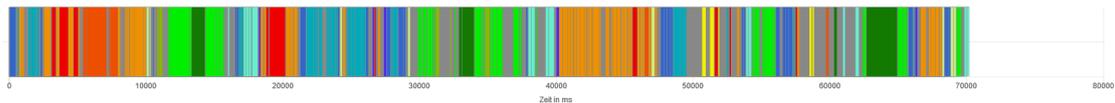


Abbildung 14: AOI Sequence Chart P8

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
1s	12,7s	3s	5,2s	6,1s	3,3s	10,1s	4,5s

Tabelle 14: P8 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Im Gegensatz zu E1 und E2 geht P8 mit 70 Sekunden Betrachtungsdauer deutlich unstrukturierter an die Grafik (vgl. Abb. 14 und Tab. 14). Wieder wird die *PC-Kette* als erstes betrachtet. Dann aber wird direkt zum *Complaint Department* geblickt und von dort zum *Ziel-PC*. Erst dann wird der Weg von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Ziel-PC* gewählt. Im Anschluss werden *SBS* und *Complaint Department* abwechselnd studiert. Zum Abschluss wird der Weg *PC-Kette*, *SBS*, *Complaint Department* getätigt. Nach 30 Sekunden wurden alle Elemente der Grafik betrachtet.

Zusammenfassung der Experten

Alle Experten gehen in ihren Aufnahmen sowohl den Weg von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Ziel-PC*, als auch den Weg von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Complaint Department*. Das heißt, dass alle Experten die in der Grafik beschriebenen Wege des Datenpakets inklusive der Verwarnungen ablaufen. Die *PC-Kette* wird von allen Experten am Längsten betrachtet, anschließend folgen das *SBS* und das *Complaint Department*. E1 und E2 blicken dabei länger auf das *SBS*, P8 blickt dagegen länger auf das *Complaint Department*.

7.3.2 Die Charts der Novizen

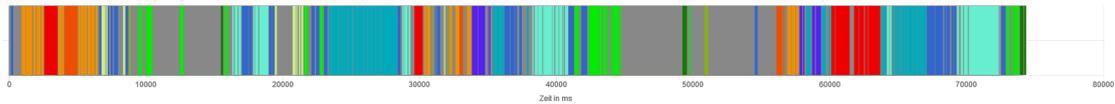


Abbildung 15: AOI Sequence Chart P1

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
-	5,7s	1,8s	8,4s	9,7s	8,4s	7,8s	1s

Tabelle 15: P1 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Novize P1 bildet mit 74 Sekunden Betrachtungsdauer das Mittel der Novizengruppe (vgl. Abb. 15 und Tab. 15). Bei erster Betrachtung fallen die großen grauen Bereiche im AOI Sequence Chart auf, der erste davon sogar direkt am Anfang. Etwa 15 Sekunden werden von P1 keine unserer AOI betrachtet. Davon abgesehen geht P1 den Weg auch beginnend bei der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Complaint Department*, zunächst noch ohne die Texte des *SBS* und des *Complaint Departments* zu lesen. Allgemein fällt auf, dass P1 eine vergleichsweise geringe Zeit bei Text-AOI verbringt. Erstmalig sind nach 28 Sekunden alle AOI betrachtet.

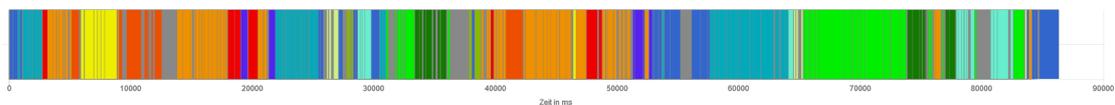


Abbildung 16: AOI Sequence Chart P2

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
3,1s	16,3s	5,1s	8,5s	12,2s	4,6s	11,6s	4,9s

Tabelle 16: P2 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Wie E1 geht auch P2 während der 88 Sekunden Betrachtungsdauer sehr strukturiert an die Grafik heran (vgl. Abb. 16 und Tab. 16). Wieder führt der Weg beginnend bei der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Ziel-PC*, zurück zum *SBS* und zum *Complaint Department*. Dieser Weg wird nach 40 Sekunden anschließend ein zweites Mal wiederholt. Die Grafik wird sozusagen inhaltlich zwei Mal abgelaufen.



Abbildung 17: AOI Sequence Chart P3

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
1s	8,4s	4,9s	7s	11,5s	5,3s	4,3s	4,7s

Tabelle 17: P3 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Auch P3 (Betrachtungsdauer: 62 Sekunden) geht strukturiert an die Grafik heran (vgl. Abb. 17 und Tab. 17). Insgesamt können drei Läufe beschrieben werden. Jeder startend bei der *PC-Kette*. Zwei Mal werden nach dem *SBS* das *Complaint Department* und anschließend der *Ziel-PC* angesteuert. Ein Mal geht der Weg direkt zum *Ziel-PC*. Nach 25 Sekunden sind erstmalig alle AOI betrachtet.

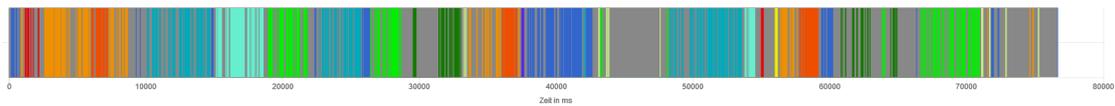


Abbildung 18: AOI Sequence Chart P4

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
0,2s	9s	3,8s	8s	13,1s	4,3s	10s	4,6s

Tabelle 18: P4 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

33 der 77 Sekunden benötigt P4 für das erstmalige Betrachten aller AOI (vgl. Abb. 18 und Tab. 18). Auch P4 lässt deutliche Wege erkennen, wechselt jedoch dazwischen häufiger erneut zu den bereits betrachteten AOI zurück. Auch hier wird nach dem *Complaint Department* der *Ziel-PC begutachtet* und nicht der komplette Weg von der *PC-Kette* erneut gegangen.

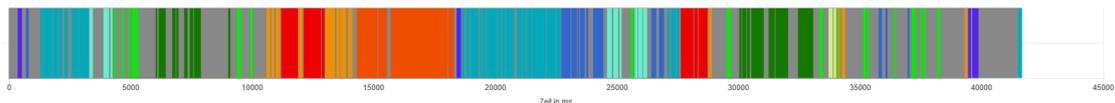


Abbildung 19: AOI Sequence Chart P5

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
-	2,2s	4s	2,8s	6,7s	2,1s	3,6s	4,6s

Tabelle 19: P5 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

P5 hat mit einer Gesamtdauer von 42 Sekunden die mit Abstand kürzeste Betrachtungsdauer aller Probanden (vgl. Abb. 19 und Tab. 19). Bereits nach 25 Sekunden sind erstmalig alle AOI betrachtet. Auffällig ist besonders, dass P5 anders an die Grafik herangeht, als die anderen Probanden. P5 beginnt die Betrachtung zentral am *SBS* und geht von dort zum *Complaint Department*. Anschließend wird dieser Weg erneut begangen,

diesmal aber bei der *PC-Kette* startend und mit abschließendem Wechsel zwischen *Ziel-PC* und *Complaint Department*. Im Anschluss wird erneut das *Complaint Department* studiert.

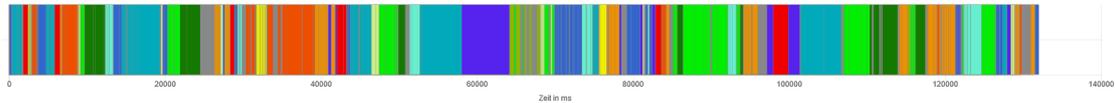


Abbildung 20: AOI Sequence Chart P6

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
2,5s	12,8s	10s	10,9s	21,34	7,5s	18s	11,8s

Tabelle 20: P6 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

Die längste Zeit benötigte P6 mit 132 Sekunden (vgl. Abb. 20 und Tab. 20). Trotz der langen Dauer finden sich nur wenige graue Bereiche im AOI Sequence Chart. Dafür werden die Bilder im Verhältnis jedoch auch deutlich länger betrachtet. Viele der bereits beschriebenen Pfade lassen sich auch hier erkennen. Beispielsweise geht P6 wie P8 von der *PC-Kette* über das *Complaint Department* zum *Ziel-PC* und von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Complaint Department*. Auch P6 wechselt häufiger zwischen bereits betrachteten AOI hin und her.

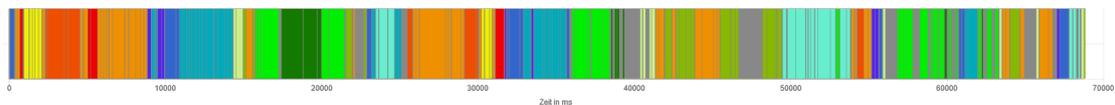


Abbildung 21: AOI Sequence Chart P7

Titel	PC-Kette	TextLinks	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel-PC	CD-Bild	CD-Text
1,7s	12,5s	3,7s	3,7s	7,5s	5,8s	9,4s	3,5s

Tabelle 21: P7 - Betrachtungsdauer der wichtigsten AOI

P7 (Dauer: 69 Sekunden) zeigt den bereits beschriebenen Weg von der *PC-Kette* über das *SBS* zum *Complaint Department*. Hier werden jedoch anschließend die Pfeile deutlich länger studiert und ohne vollständigen Weg der *Ziel-PC* betrachtet (vgl. Abb. 21 und Tab. 21).

Zusammenfassung der Novizen im Vergleich zu den Experten

Die Novizen weisen ähnliche Pfade auf, die sich bereits in den AOI Sequence Charts der Experten zeigten.

- PC-Kette, SBS, Complaint Department (*PSZ*)
- PC-Kette, SBS, Ziel-PC (*PSC*)
- SBS, Complaint Department, Ziel-PC (*SCZ*)
- PC-Kette, Complaint Department, Ziel-PC (*PCZ*)

Die vier in Abbildung 22 skizzierten Pfade *PSZ*, *PSC*, *SCZ* und *PCZ* zeigten sich bei allen Probanden besonders häufig, wobei *SCZ* als Erweiterung zu *PSC* gesehen werden kann.

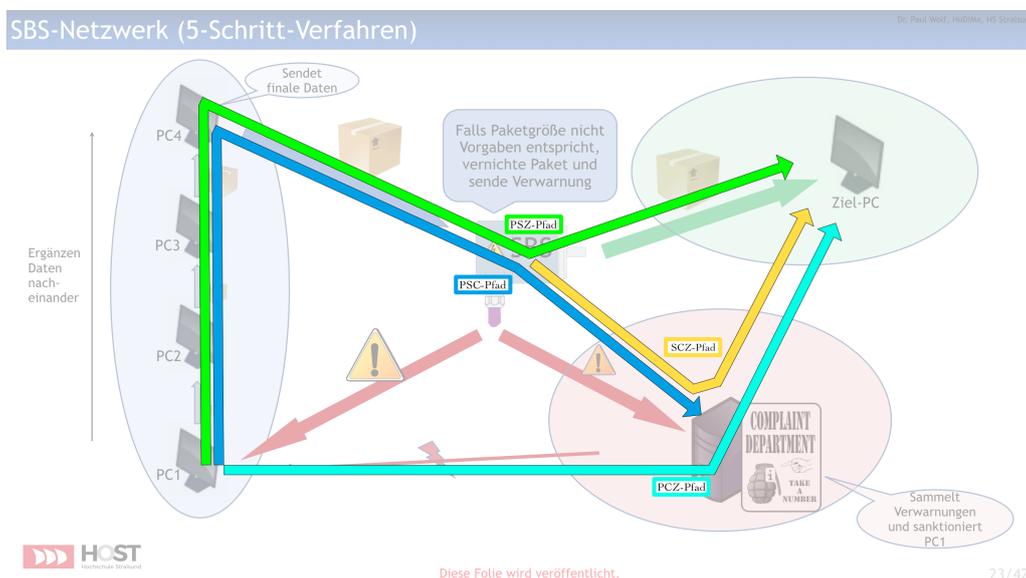


Abbildung 22: Typische Startpfade

Andere Kombinationen aus *PC-Kette*, *SBS*, *Complaint Department* und *Ziel-PC* kamen dagegen selten bis nicht vor. Einen Grund hierfür sehen wir in der Anordnung der Elemente und den vorgegebenen Pfeilrichtungen der Grafik. Die *PC-Kette* ist klar Startpunkt vieler Pfade (hier startet inhaltlich auch das Paket), der *Ziel-PC* dagegen bildet ein häufig gewähltes Ende eines Pfades (hier hat das Paket erfolgreich das *SBS* passiert). Die ersten drei Pfade zeigen deutlich, dass die Probanden die Elemente der Grafik nach ihrer inhaltlichen Bedeutung abgehen. Im Bereich der *PC-Kette* wird das Paket aufgebaut und an das *SBS* weitergeleitet. Dieses prüft die Paketgröße und sendet das Paket entweder an den *Ziel-PC* oder macht Meldung an das *Complaint Department*. Ein Pfad in entgegengesetzter Pfeilrichtung wirkt zusätzlich unnatürlich und wird eher vermieden. Einzige Ausnahme bildet hier *PCZ*. Ein möglicher Grund für diesen Pfad wurde bislang noch nicht erkannt. Sicher ist dagegen, dass die Lesestrategien der Experten und Novizen recht ähnlich sind.

Ein weiterer wichtiger Untersuchungsgegenstand sind die Zeiten der ersten Betrachtung, also die Dauer bis zum Zeitpunkt der erstmaligen vollständigen Betrachtung der Grafik:

E1	E2	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
40s	33s	30s	28s	40s	25s	33s	25s	25s	22s

Tabelle 22: Zeit aller Probanden bis zum erstmaligen Betrachten aller AOI

Aus Abbildung 22 geht hervor, dass alle Probanden zwischen 22 und 40 Sekunden benötigen, um die Grafik erstmalig vollständig zu überschauen. Dabei benötigten die Experten im Mittel 34,3 Sekunden und im Median 33 Sekunden ($SD = 5, 1$). Die Novizen benötigten im Mittel 28,3 Sekunden und im Median 25 Sekunden ($SD = 6, 2$). Hier zeigt sich, dass die Novizen dabei im Median acht Sekunden schneller sind, als die Experten. Wir vermuten, dass sich die Novizen zunächst einen groben Überblick verschaffen und dabei weniger Informationen aufnehmen, wodurch die geringeren Zeiten zustande kommen. Dies zeigte sich auch in der Auswertung der Fragebögen (siehe Abschnitt 7.4).

Auch die Zeiten der betrachteten AOI aller Probanden bringen weitere Erkenntnisse. Für die Übersichtlichkeit der Tabelle wurden alle Werte inklusive der unten aufgeführten Mittelwerte der Experten \bar{E} und Novizen \bar{N} gerundet.

#	Titel	PC-Kette	TextLi	SBS-Bild	SBS-Text	Ziel	CD-Bild	CD-Text
E1	1,8s	10,0s	4,0s	7,9s	12,1s	3,3s	4,9s	4,3s
E1	2,0s	12,0s	6,3s	5,5s	7,9s	1,2s	4,8s	3,5s
P8	1,0s	12,7s	3,0s	5,2s	6,1s	3,3s	10,1s	4,5s
P1	-	5,7s	1,8s	8,4s	9,7s	8,4s	7,8s	1,0s
P2	3,1s	16,3s	5,1s	8,5s	12,2s	4,6s	11,6s	4,9s
P3	1,0	8,4s	4,9s	7,0s	11,5s	5,3s	4,3s	4,7s
P4	0,2s	9,0s	3,8s	8,0s	13,1s	4,3s	10,0s	4,6s
P5	-	2,2s	4,0s	2,8s	6,7s	2,1s	3,6s	4,6s
P6	2,5s	12,8s	10,0s	10,9s	21,3	7,5s	18,0s	11,8s
P7	1,7s	12,5s	3,7s	3,7s	7,5s	5,8s	9,4s	3,5s
\bar{E}	1,6s	11,6s	4,4s	6,2s	8,7s	2,6s	6,6s	4,1s
\bar{N}	1,1s	9,6s	4,8s	7s	11,7s	5,4s	9,2s	5,0s
\tilde{E}	1,8s	12,0s	4,0s	5,5s	7,9s	3,3s	4,9s	4,3s
\tilde{N}	1,7s	9,0s	4,0s	8,0s	11,5s	5,3s	9,4s	4,6s

Tabelle 23: Übersicht über die Betrachtungsdauer einzelner AOI

Auffälligkeiten zeigten sich an den folgenden Stellen: Die Experten verweilen im Schnitt mit 11,6 Sekunden am Längsten auf der *PC-Kette*, gefolgt von *SBS-Text* mit 8,7 Sekunden. Auch die Novizen verweilen auf beiden AOI am Längsten. Deutlichere Unterschiede zeigen sich vor allem in der Betrachtungsdauer der textlosen AOI *Ziel-PC* und *CD-Bild*. Bei diesen AOI verweilen die Experten mit einem Unterschied von bis zu drei Sekunden kürzer. Des Weiteren fällt bei der Betrachtung der Zahlen auf, dass drei der sieben Novizen den *Titel* nicht betrachtet, jedoch alle Experten auf den *Titel* geachtet haben.

7.4 Auswertung der Fragebögen

Wir wenden uns nun der Forschungsfrage F2 zu. Das Untersuchungsinstrument, der Fragebogen, bestand aus sieben Fragen, die zunächst Allgemeines, anschließend dann auch Detail-Wissen abfragten. Die Probanden wurden so auf verschiedenen Abstraktionsebenen getestet. Im Folgenden werden die Fragen und eine Musterlösung angegeben. Der Fragebogen ist zudem im Anhang zu finden.

1. Was soll die Grafik Ihrer Ansicht nach erklären bzw. veranschaulichen?

Die Grafik veranschaulicht die Funktionsweise des SBS.

2. Erklären Sie kurz und knapp den Inhalt der Grafik.

PCs ergänzen nacheinander ein Datenpaket. Dieses geht anschließend an das SBS, welches die Paketgröße überprüft. Hat das Paket die richtige Größe, wird es an den Ziel-PC weitergeleitet. Andernfalls zerstört das SBS das Paket, schickt PC1 eine Verwarnung und meldet dies auch einem Server (Complaint Department), der die Verwarnungen sammelt und PC1 sanktioniert.

3. Welche Eigenschaft muss ein Paket erfüllen, damit es zum Ziel-PC durchgelassen wird?

Die Paketgröße muss korrekt sein.

4. Was macht das SBS mit Paketen, die zu klein sind?

Das SBS vernichtet diese Pakete.

5. Wie viele Schritte durchläuft in diesem System ein Paket maximal? Jeder Pfeil stellt einen Schritt dar (z.B. von PC4 zu SBS).

Ein Paket durchläuft maximal fünf Schritte (PC1 - PC2 - PC3 - PC4 - SBS - PC5).

6. Bei den PCs 1-4 (links im Bild) waren Paket-Grafiken zu sehen. Haben Sie hier etwas bemerkt? Falls ja, was sollte damit verdeutlicht werden?

Die Pakete werden immer größer. Dies verdeutlicht, dass die Daten nach und nach ergänzt und daher mehr werden.

7. Was passiert weiterhin, wenn das SBS ein Paket vernichtet?

Das SBS sendet eine Verwarnung an PC1 und an den Verwarnungs-Server. Dieser sammelt die vom SBS erhaltenen Verwarnungen und sanktioniert der PC1.

Der Fragebogen sollte, neben der Beantwortung der Forschungsfrage F2, als Motivation für die Probanden dienen, sich intensiv mit der Grafik auseinanderzusetzen. So sollte vor allem auch eine vorlesungsähnliche Situation geschaffen werden. Um Unterschiede in der Informationsgewinnung entdecken zu können, wurden Fragen auf verschiedenen Abstraktionsebenen gestellt. Die erste Frage prüfte so zunächst das Gesamtverständnis der Probanden über die Grafik. Der Dozent der Vorlesung wünscht sich beispielsweise bei einer Grafik zu der Funktionsweise einer Firewall, dass den Studierenden klar ist, dass es um eine Firewall (also ein Sicherheitssystem) geht und nicht etwa um eine spezielle Art der Datenübertragung. Die zweite Frage geht eine Ebene tiefer und verlangt einen groben Überblick über die Funktionsweise des SBS und die Verbindung der einzelnen Elemente.

Erst die nachfolgenden Fragen gehen auf die Details ein. Anhand des Aufbaus sollte die Art und Weise, wie man etwas neues systematisch sinnvoll versteht, nachgeahmt werden. Eventuelle Mängel in diesem Bereich sollten so aufgedeckt werden.

Zur Auswertung der Fragebögen wurde das folgende Punktesystem entwickelt und verwendet. Da es sich um eine qualitative Untersuchung handelt, war sinnvoll, das Bewertungsschema aus den gegebenen Antworten heraus zu entwickeln, um so bereits erste wichtige Erkenntnisse zu gewinnen. Es zeigte sich schnell, dass das Abstraktionslevel ein entscheidender Faktor ist. Die ersten zwei Fragen erfordern das höchste Maß an Abstraktion. Daher geben beide Fragen jeweils 3 Punkte. Die restlichen Fragen erfordern das niedrigste Maß an Abstraktion, erfordern zumeist nur ein Wort als Antwort und geben somit jeweils maximal 2 Punkte. Insgesamt konnten 16 Punkte erreicht werden.

Frage 1

- 3 Punkte: Antwort entspricht der Musterlösung
- 2 Punkte: Antwort beschreibt Prozessablauf mit leichter Abstraktion
- 1 Punkt: Antwort beschreibt den Prozessablauf ohne Abstraktion
- 0 Punkte: Keine oder falsche Antwort

Frage 2

- 3 Punkte: Antwort entspricht der Musterlösung
- 2 Punkte: Antwort enthält kleine Fehler
- 1 Punkt: In der Antwort treten vermehrt Fehler auf
- 0 Punkte: Keine oder falsche Antwort

Fragen 3 - 7

- 2 Punkte: Antwort entspricht der Musterlösung
- 1 Punkt: Antwort teils fehlerhaft
- 0 Punkte: Keine oder falsche Antwort

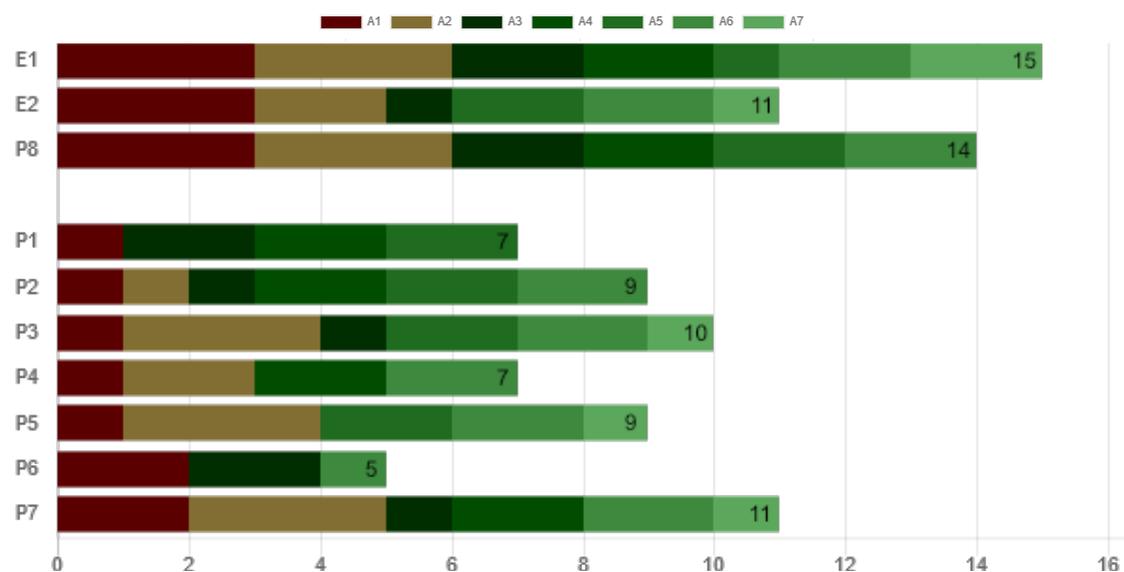


Abbildung 23: Übersicht über die erreichte Punktzahl

Die Experten heben sich bezogen auf die Gesamtpunktzahl bis auf eine Ausnahme recht deutlich von den Novizen ab (vgl. Abb. 23). Von den 16 möglichen Punkten erreichen die Experten im Schnitt etwa 13 Punkte und im Median 14 Punkte, bei einer Streuung von 2,1. Bei gleicher Streuung erreichen die Novizen dagegen im Mittel 8,3 Punkte und im Median 9 Punkte. Betrachtet man dies nachfolgend unter Verwendung des Medians auf die Gesamtpunktzahl (16 Punkte = 100%) erreichen die Experten 87,5%, die Novizen jedoch nur 56,3%.

Der Graph aus Abbildung 23 gibt einen Überblick über die Gesamtpunktzahl aller Probanden. Um die Punkte der einzelnen Fragen besser vergleichen zu können, ordneten wir den Graphen neu an, sodass jede Spalte der Breite der Punktzahl der jeweiligen Aufgabe entspricht. Dieser Graph (zu sehen in Abbildung 24) zeigt die Defizite der Probanden innerhalb der Fragen:

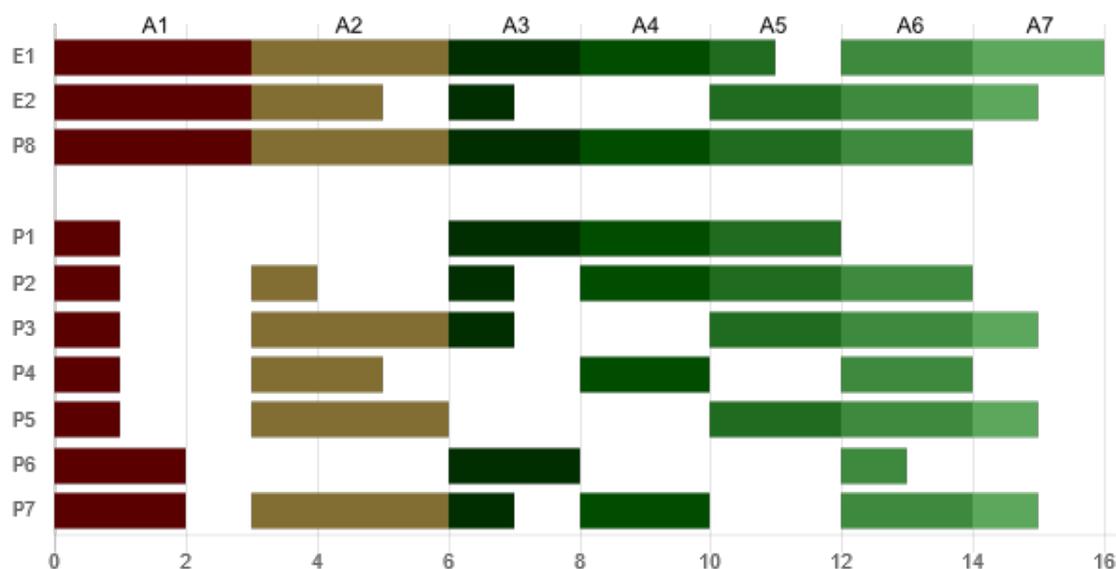


Abbildung 24: Vergleich der pro Aufgabe erreichten Punkte

Anhand dieser Darstellung wird klar, dass die Novizen in der höchsten Abstraktion deutliche Schwierigkeiten haben. Während die Experten volle Punktzahl in Aufgabe 1 erreichen, bekommen fünf der sieben Novizen nur einen Punkt, die restlichen beiden zwei Punkte. Häufig fehlte den Novizen der Überblick über die Kernaussage der Grafik. Eine allgemeine Aussage über die Grafik konnte somit nicht getroffen werden, was in Punktabzug resultierte. Folgende Zitate verdeutlichen dies:

„Pakete, die ein Netzwerkeil durchlaufen und aussortiert werden“ (P1)

„Es wird etwas abgerufen/bestellt und mit der Grafik wird verdeutlicht, wie der Ablauf des Prozesses aussieht“ (P4)

Besonders aufgefallen ist, dass der Begriff „SBS-Netzwerk“ bei allen Experten, jedoch nur bei einem Novizen genannt wird. Hier fällt vor allem auf, dass drei der fünf Novizen mit 1-Punkt-Antwort den Titel nicht beachtet hatten. Bei der Auswertung der Sequence Charts war bereits aufgefallen, dass einige Novizen den Titel der Grafik gar nicht betrachtet hatten. Dies spiegelt sich auch in der Auswertung der Aufgabe 1 wieder.

Während die ersten Novizen in Aufgabe 2 volle Punktzahl erreichen, zeigen sich bei anderen Novizen sichtbare Defizite bei der Informationsgewinnung. Häufig wurden Komponenten der Grafik vergessen, oder in ihrer Funktion falsch beschrieben (vgl. P6). Auch ist aufgefallen, dass die Novizen scheinbar Probleme bei der Wiedergabe von Informationen haben. Teilweise waren Formulierungen umständlich gewählt. Der Vergleich zwischen E1 und P4 dient hier als Beispiel. Wir vermuten, dass Experten eher in der Lage sind, Informationen kurz und knapp, ohne Verlust von Informationen, wiederzugeben.

„Paket wird über 5 PCs iteriert. Paket wird an Regelkomponente weitergegeben und von hier eskaliert: Verwarnung, Rückkopplung in das 5 PC System, oder ggf. Sanktionierung von PC1“ (E1)

„Zunächst wird etwas in Auftrag gegeben. Danach wird das angeforderte Objekt über mehrere Prozesse (PC1-PC4) zusammengestellt und anschließend wird geprüft, ob das Objekt ein gewünschtes Format, bevor es schlussendlich entweder abgeschickt oder bei einem Fehler zerstört und analysiert wird.“ (P4)

„Wenn ein PC Daten-Pakete verschickt, wird ihm eine falsche Verwarnung gesendet. Das Daten-Paket geht an den Hacker.“ (P6)

Mit Aufgabe 3 beginnen die Detailfragen auf niedrigster Abstraktionsebene. Vier Probanden erhalten volle Punktzahl, weitere vier Probanden beantworteten die Frage nur zur Hälfte richtig. Der Grund für Punktabzug liegt hier an der falschen Angabe der Paketgröße. Während das SBS die korrekte Größe der Pakete prüft (nicht zu klein und nicht zu groß), lassen sich einige Probanden scheinbar durch die Iteration der Pakete verunsichern, wie der folgende Auszug beispielhaft verdeutlicht:

„Es darf eine Größe nicht überschritten werden“ (P3)

Sechs von zehn Probanden lösen Aufgabe 4 problemlos. Die Mehrzahl der Experten und Novizen geben die richtige Lösung an, die anderen Probanden (darunter auch ein Experte) übersahen die Information im SBS-Textfenster und deuteten die roten Pfeile als Weiterleitung des Pakets an andere Instanzen. Die Fehler der Experten und Novizen mit falscher Antwort gleichen sich hier:

„Durchlassen“ (E2)

„Schickt sie zum Abfänger“ (P6)

„Zu kleine Pakete werden nicht an den Empfänger, sondern an eine rot eingekreiste Station weitergereicht, die dann den PC1 sanktioniert“ (P5)

Drei Probanden beantworteten Aufgabe 5 falsch. Interessant ist, dass die Aufgabe in direkter Verbindung zu der vorherigen Aufgabe steht, jedoch nur in einem Fall von einem Probanden Aufgabe 4 und 5 falsch beantwortet wurden. Mit dem Wissen, dass das SBS Pakete mit falscher Größe vernichtet, bleibt nur der Weg von PC1 zum Ziel-PC. Deshalb ist es besonders überraschend, dass sechs der zehn Probanden nur jeweils eine der beiden Aufgaben vollständig richtig lösten. Experten und Novizen zeigen in Aufgabe 4 und 5 ähnliches Verhalten und somit ähnliches Verständnis für diesen Teil der Grafik. Allein E1 gab in Aufgabe 5 ausführlich alle Schritte an und konnte so immerhin einen Punkt für die Antwort erhalten. Die restlichen Probanden gaben nur ein Zahlwort an, ohne ausführlichen „Lösungsweg“.

„PC1 - PC5 (4 Schritte); zum SBS (1 Schritt); Bearbeitung unten (1 Schritt); zu PC1 zurück (1 Schritt); Gesamt: 7 Schritte“ (E1)

„6 (Weg über Sammlung der Sanktionen)“ (P7)

Aufgabe 6 stellte für die Probanden die geringste Schwierigkeit dar. Lediglich ein Novize beantwortete die Frage komplett falsch und vermutete, dass die Paketsymbole die Richtung des Pakets verdeutlichen. Alle anderen Probanden deuteten die zunehmende Größe der Paketsymbole richtig als Zuwachs der Paketdaten. Ein Unterschied zwischen Experten und Novizen konnte auch hier nicht festgestellt werden.

„Die Paket-Grafiken sind von PC1 bis PC4 größer dargestellt worden, was die Vergrößerung der Datenmenge veranschaulichen soll.“ (P3)

Die letzte Aufgabe stellte für die Probanden scheinbar die größte Hürde dar. Lediglich E1 beantwortete die Frage mustergleich. Nur vier weitere Probanden beantworteten die Frage teilweise richtig. Bei diesen fehlte die Angabe der Sanktionen gegen PC1. Dieses Ergebnis ist auch hinsichtlich der Sequence Charts erstaunlich, da die Probanden den Bereich des Complaint Departments mehrfach länger studierten (siehe Abschnitt 7.3). In der Expertengruppe sind alle möglichen Punktverteilungen vorhanden (E1: 2 Punkte, E2: 1 Punkt, P8: 0 Punkte), innerhalb der Novizengruppe sind nur Ein- und Null-Punkt-Bewertungen vorhanden. Die Experten weisen demnach tendenziell mehr entnommene Informationen auf.

„PC1 wird sanktioniert; Verwarnung an PC1; Verwarnungshinweis an Verwarnungsserver“ (E1)

„Es existiert sowohl Verbindung mit PC1 (Rückmeldung?) sowie einer weiteren Einheit (unten rechts im Bild)“ (P8)

In Bezug auf unsere Forschungsfrage „Welche Unterschiede zeigen sich bei der Informationsgewinnung aus der Grafik zwischen Novizen und Experten?“ (F2) lässt sich zunächst sagen, dass die Experten mehr Informationen in kürzerer Zeit aus der Grafik entnehmen konnten, als die Novizen (vgl. Abb. 10 und Abb. 23). Die Experten gehen somit beim Lesen der Grafik strategischer vor. Nach Auswertung der Fragebögen fiel besonders auf, dass die Experten deutlich besser abstrahieren können (vgl. Abb. 24). Die Novizen hatten klare Probleme bei der Beantwortung der Fragen mit hohen Abstraktionserwartungen (siehe A1 und A2). Hier zeigte sich, dass es den Novizen schwer fällt allgemeine Aussagen über die Grafik zu treffen. Zudem fielen bei den Novizen gelegentlich Probleme bei der Formulierung der Antworten auf (umständlich, unnötig kompliziert), wie das folgende Beispiel verdeutlichen soll:

Was soll die Grafik Ihrer Ansicht nach erklären bzw. veranschaulichen?

- **Musterlösung:** Die Grafik veranschaulicht die Funktionsweise des SBS.
- **Experte P8:** „SBS (5-Wege); Die Grafik gibt einen ersten Überblick über die Funktionsweise.“
- **Novize P3:** „Die Übertragung von mehreren Dateien als Paket an einen Zielrechner, wobei die Daten über mehrere Rechner gesammelt werden. Zudem existiert ein Zwischenschritt, der zu große Datenpakete löscht und mit einer Verwarnung antwortet. Die Anzahl der Verwarnungen wird dabei gespeichert.“

8 Fazit

Nach Abschluss der Auswertung können die Forschungsfragen nun mit den gewonnenen Kenntnissen beantwortet werden. Zur Erinnerung sind hier erneut alle Forschungsfragen aufgeführt:

- **(F1)** Welche Unterschiede zeigen sich zwischen Experten und Novizen hinsichtlich ihres Vorgehens beim Analysieren von Grafiken der Veranstaltung „Rechnernetze“?
 - **(F1.1)** Wie unterscheiden sich Experten und Novizen in der ersten Phase (10 Sekunden) der Beobachtung?
 - **(F1.2)** Welche Lese-Strategie zeigen sich bei Experten bzw. Novizen?
- **(F2)** Welche Unterschiede zeigen sich bei der Informationsgewinnung aus der Grafik zwischen Novizen und Experten?

Aus den AOI Sequence Charts hat sich ergeben, dass Experten und Novizen durchaus ähnliche Vorgehen bei der Analyse von Grafiken zeigen (F1). Vier Pfadmuster waren dabei besonders häufig vertreten:

- PC-Kette, SBS, Complaint Department (*PSZ*)
- PC-Kette, SBS, Ziel-PC (*PSC*)
- SBS, Complaint Department, Ziel-PC (*SCZ*)
- PC-Kette, Complaint Department, Ziel-PC (*PCZ*)

Anhand der ersten Pfadmuster lässt sich bezüglich F1.2 sagen, dass alle Probanden der inhaltlichen Reihenfolge der Grafik folgen. Im Detail zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen Experten und Novizen. In Bezug auf die gemessenen Betrachtungszeiten einzelner AOI zeigen sich hinsichtlich der ersten 10 Sekunden der Aufnahmen Differenzen. Novizen scheinen zunächst allgemein über die Grafik zu wandern, ohne Details aus den zugehörigen Info-Texten zu entnehmen. Ist die grobe Übersicht vorhanden, werden dann auch die Info-Texte hinzugezogen. Die Experten gehen dagegen direkter vor und betrachten von Anfang an sowohl Bild, als auch Text. Experten legen hier von Beginn an einen vertrauteren Umgang mit Grafiken dar (F1.1).

Die Auswertung der Fragebögen ergab sichtliche Defizite bei der Abstraktionsfähigkeit vieler Novizen (F2). Auch die aus der Grafik gewonnenen Informationen unterschieden sich zwischen Experten und Novizen deutlich. Experten zogen mehr Informationen aus der Grafik und zeigten ein besseres Verständnis für die gezeigten Abläufe innerhalb der Grafik.

Bei der Auswertung sind die Stärken des AOI Sequence Charts besonders deutlich geworden. Die Charts bieten eine schnelle, unkomplizierte und übersichtliche Auswertung. Andererseits muss klar gesagt werden, dass eine vernünftige Auswertung der AOI Sequence Charts nur bei vorher sinnvoll gesetzten AOI stattfinden kann.

Auch der AOI Sequence Chart Generator hat beim Erstellen und bei der Auswertung sein Potential gezeigt. Jedoch muss die Software weiter entwickelt werden, um ihr volles Potential als Analyse-Tool beweisen zu können. Dafür müssen weitere Funktionalitäten implementiert werden und eine völlige Unabhängigkeit zu Tobii Studio und dessen

Analyse-Tools gewährleistet werden. So könnte der AOI Sequence Chart Generator Daten verschiedenster Eye-Tracking-Software verarbeiten und für weitere Studien verwendet werden.

Die Ergebnisse deuten an, dass Dozenten den Studierenden (insbesondere in den ersten Semestern) aufzeigen sollten, wie sie die Grafiken lesen und Strategien zum richtigen Umgang mit ihnen vermitteln. Insbesondere das Durchschreiten der Abstraktionsebenen sollte thematisiert werden. Wie gut die Studierenden dies im Laufe der Vorlesung auch ohne Anleitung selbst lernen, können wir nicht sagen. Wenn Grafiken zentrale Elemente einer Veranstaltung sind, ist es jedoch ratsam, den Umgang möglichst früh zu erläutern und einzuüben.

Für weitere Erkenntnisse könnten in Zukunft andere Scanpath-Analysertools verwendet werden. Beispielsweise eignet sich hierfür das Modell von Markov für folgende Analysen der aufgenommenen Scanpaths. Eine andere Möglichkeit bietet die genaue Betrachtung der Fixationszeiten. Bislang wurden von uns nur die allgemeinen Betrachtungszeiten ausgewertet und noch nicht zwischen Fixationen und Sakkaden unterschieden. Da die Informationsaufnahme nur während der Fixation vollzogen wird, sehen wir dort weitere Optionen der Analyse.

9 Literaturverzeichnis

Alcock, L., Hodds, M., Roy, S., Inglis, M. (2015). *Investigating and improving undergraduate proof comprehension.* Notices of the American Mathematical Society, 62, 742-752.

Alcock, L. (2016). *How do people read mathematics?* <https://blog.oup.com/2016/01/reading-mathematics-proofs/> [05.07.2018]

Bischof, N. & Kramer, E. (1968). *Untersuchungen und Überlegungen zur Richtungswahrnehmung bei willkürlichen sakkadischen Augenbewegungen.* Psychol. Forsch. 32: 185-218.

Briest, S., Karrer, K., Schleicher, R. (2006). *Driving without awareness: Examination of the phenomenon.* Vision in Vehicles XI

Buswell, G. T. (1935). *How people look at pictures: a study of the psychology and perception in art.* Oxford, England: Univ. Chicago Press.

Charlton, S. G., Starkey, N.J. (2011). *Driving without awareness: The effects of practice and automaticity on attention and driving* Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 14 (6): 456-471

Delabarre, E.B. (1898). *A Method of Recording Eye-Movements.* The American Journal of Psychology, 9(4): 572-574

Dodge, R., Cline, T. S. (1901). *The angle velocity of eye movements.* Psychological Review, 8(2), 145-157.

Eraslan, S., Yesilada, Y., Harper, S. (2016). *Eye-Tracking Scanpath Analysis Techniques on Web Pages.* Journal of Eye Movement Research, 9(1):2, 1-19.

Ford, A., White, C. T., Lichtenstein, M. (1959). *Analysis of Eye Movements during Free Search.* J. Opt. Soc. Am. 49, 287-292

van der Geest, J.N., Frens, M.A. (2002). *Recording eye movements with video-oculography and scleral search coils: a direct comparison of two methods* Journal of Neuroscience Methods, 114(2): 185-195.

Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). *Eye Tracking. A comprehensive guide to methods and measures.* Oxford: Oxford University Press.

Kellner, U., Bach, M., Rütger, K. (2017). *Elektrophysiologie des Auges* Springer

Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., Tsai, C.-C. (2013). *A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012* Educational Research Review 10: 90-115

Lehner, M.C., Reiss, K. (2018). *Entscheidungsstrategien an Vierfeldertafeln: Eine Analyse mit Blickbewegung.* In J. Math. Didakt 39: 147-170

Matin, E. (1974). *Saccadic suppression: A review and an analysis.* Psychological Bulletin, 81 (12): 899-917

Panse, A., Paravacini, W. (2016). *Leseverhalten und Rationalität von Studienanfängerinnen und -anfängern* Universitätsbibliothek Dortmund

Rayner, K. (1998). *Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research.* Psychological Bulletin, 124 (3): 372-422

Reiss, K.; Hellmich, F. & Thomas, J. (2002). *Individuelle und schulische Bedingungsfaktoren für Argumentationen und Beweise im Mathematikunterricht.* In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen.* Weinheim, Basel: Beltz, (= 45. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik).

Robinson, D.A. (1963). *A Method of Measuring Eye Movement Using a Scieral Search Coil in a Magnetic Field* IEEE Transactions on Bio-medical Electronics, 10(4): 137-145

Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (2012). *Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie.* Thieme: 156, Abb. A

Strohmaier, A.R., Tatsidou K., Reiss, K.M. (2018). *Eye movements during the reading of word problems. Advances in the use of eye tracking data.* In *Beiträge zum Mathematikunterricht 2018*, Paderborn (in Druck)

Wade, N., Tatler, B. (2005). *The Moving Tablet of the Eye: The Origins of Modern Eye Movement Research.* Oxford: Oxford University Press. 14-29

Weinhold, C. (2013). *Schwierigkeiten von Lernenden beim Übergang ins Studium.* khdm-Report, Nr. 1: 164-165.

West, J. M., Haake, A. H., Rozanski, E. P., Karn, K. S. (2006). *eyePatterns: Software for Identifying Patterns and Similarities Across Fixation Sequences* Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications, San Diego, California, 27-29 March 2006. New York: ACM Press.

Übersicht über die Anwendungsbereiche von Eye-Trackern:

https://de.ryte.com/wiki/Eye_Tracking#Anwendungsgebiete

Studien & Anwendungsbereiche von Produkten der Tobii Group:

<https://www.tobiipro.com/de/anwendungsfelder/>

<https://tobiigaming.com/games/>

Link zur Eye-Tracking-Software beGaze:

<http://www.nbt ltd.com/products/smi-begaze™-analysis-software>

10 Glossar

AOI - Area Of Interest

Bereiche einer Grafik/ eines Textes, die bei der Auswertung von Eye-Tracking-Daten von besonderem Interesse sind. AOI werden verwendet, um Scanpaths und AOI Sequence Charts zu erstellen.

AOI Sequence Chart

Möglichkeit Eye-Tracking-Daten auszuwerten; Stellt die Betrachtungsdauer und -muster von AOI im Zeitstrahl dar.

EOG - Elektrookulogramm

Augennahe Elektroden nehmen Potentialdifferenzen auf, die durch die Bewegung der Augen zwischen Netzhaut und Hornhaut entstehen. Über die gemessenen Spannungen können Augenposition und -bewegung rekonstruiert werden.

Experten

Gruppe von Personen, die im untersuchten Gebiet bereits weitreichende Kenntnisse vorweisen. In unserer Studie bestand die Expertengruppe aus Personen, die die Vorlesung „Rechnernetze“ zur Zeit der Studie bereits gehört haben, oder selber halten.

Fixation

Art der Augenbewegung, bei der das Auge auf einem Punkt verharrt. Währenddessen können die Augen Informationen aus Texten und Grafiken aufnehmen.

Gazeplot

Möglichkeit Eye-Tracking-Daten auszuwerten; Zeigt in welcher Reihenfolge ein Proband etwas betrachtet hat und wie lange jeweils verharrt wurde.

Heatmap

Möglichkeit Eye-Tracking-Daten auszuwerten; Zeigt, mit welcher Häufigkeit Bereiche betrachtet wurden, gibt dabei aber keine zeitlichen Informationen.

Levenshtein-Distanz

Die Levenshtein-Distanz wird verwendet, um Musterwahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Untersucht wird dabei die Gleichheit von Scanpaths. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist die Übereinstimmung der Scanpaths in Prozent.

Novizen

Gruppe von Personen, die im untersuchten Gebiet wenig bis keine Kenntnisse vorweisen. In unserer Studie bestand die Gruppe der Novizen aus Studenten des ersten Semesters beider Informatik-Studiengänge. Diese hatten die Vorlesung „Rechnernetze“ noch nicht gehört.

Probanden

Teilnehmende einer Studie; Probanden fassen dabei alle Personen der Experten- und Novizen-Gruppe zusammen

Purkinje-Reflexbilder

Licht wird vom Auge in verschiedenen Tiefen reflektiert. Die erste Reflexion tritt direkt an der Hornhaut, eine weitere zwischen Linse und Glaskörper auf. Aus der Differenz beider Bilder können Augenbewegungen rekonstruiert werden.

Sakkade

Art der Augenbewegung, bei der das Auge schnelle Bewegungen durchführt. Das Auge ist in dieser Zeit nicht in der Lage Informationen aufzunehmen.

Scanpath

Möglichkeit Eye-Tracking-Daten auszuwerten; Die Reihenfolge der betrachteten AOI wird als Pfad angegeben. Anschließend können über verschiedene Analysetechniken Musterwahrscheinlichkeiten und Übergangswahrscheinlichkeiten bestimmt werden.

tsv-Datei

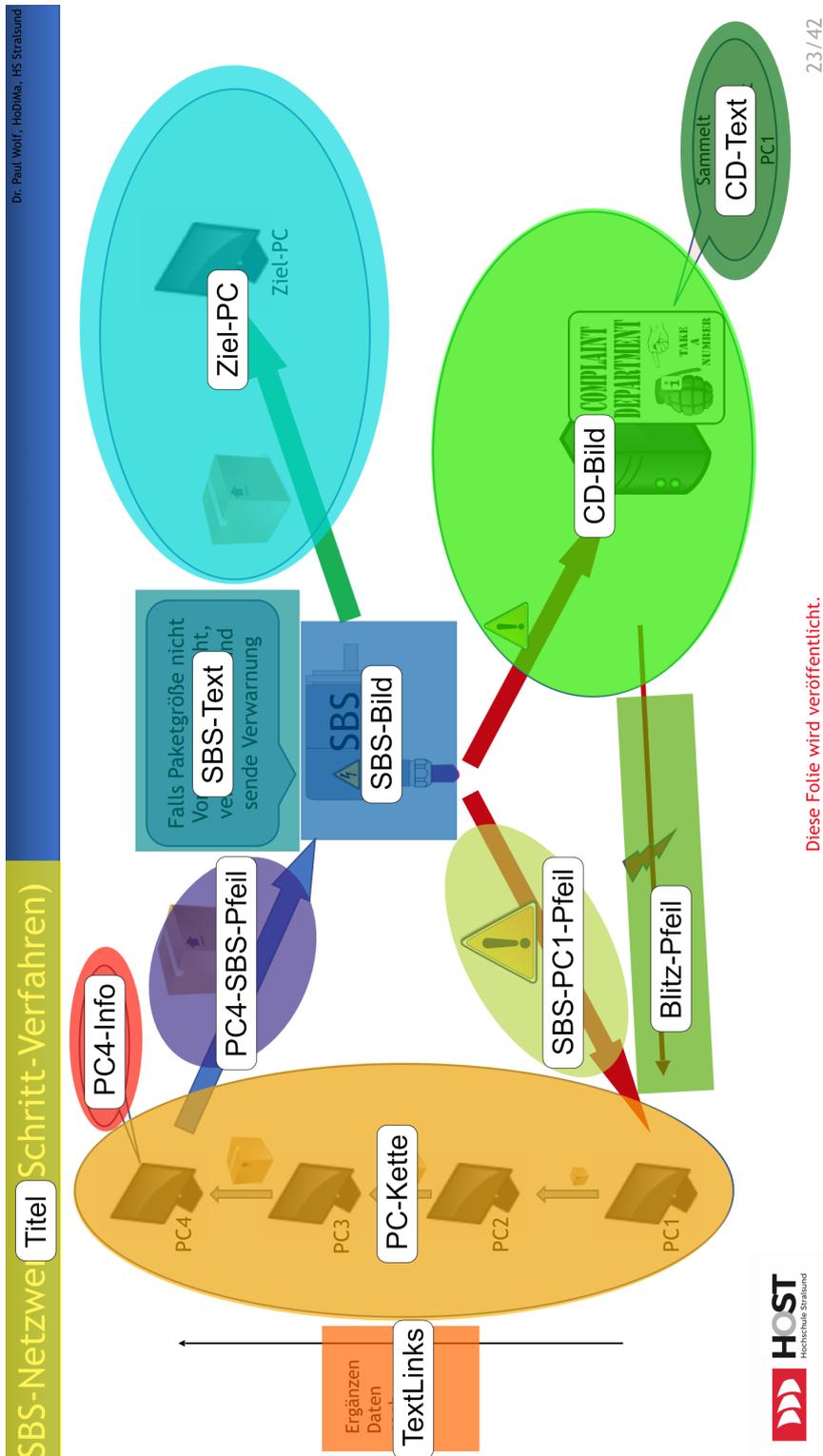
Ein Dateiformat, bei dem alle Werte tabellarisch aufgeführt und durch Tabulatoren getrennt sind. Die Abkürzung tsv steht für Tab Separated Values.

11 Anhang

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem beziehungsweise in wesentlichen Teilen gleichem Inhalt noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Anhang: AOI Sequence Charts



23/42

Diese Folie wird veröffentlicht.

Abbildung 25: Die AOI der nachfolgenden AOI Sequence Charts

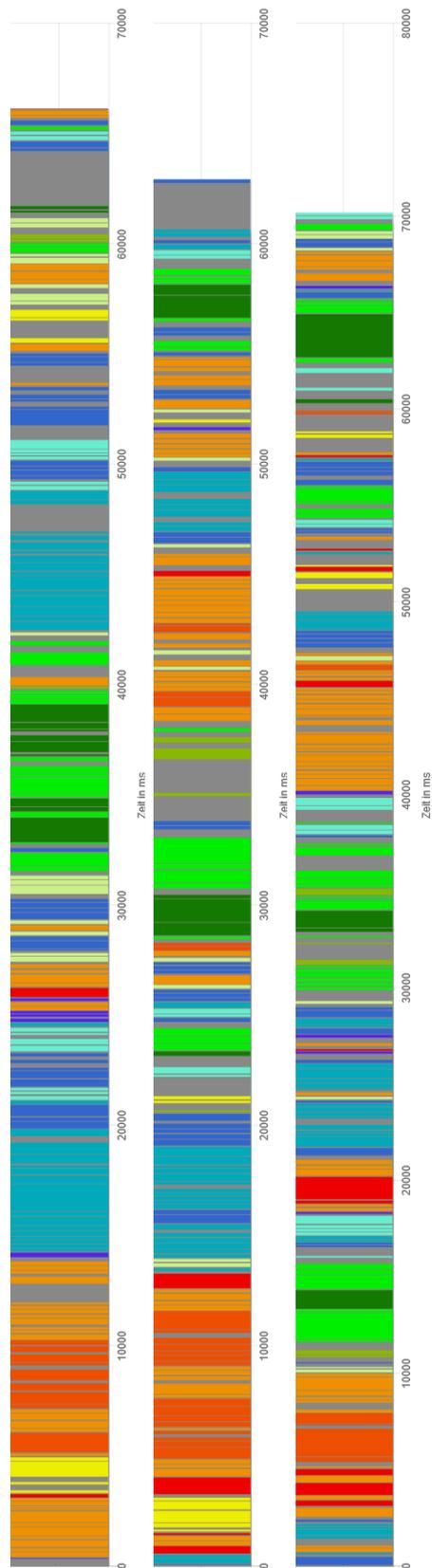


Abbildung 26: AOI Sequence Charts der Experten E1, E2 & P8 (von links nach rechts)

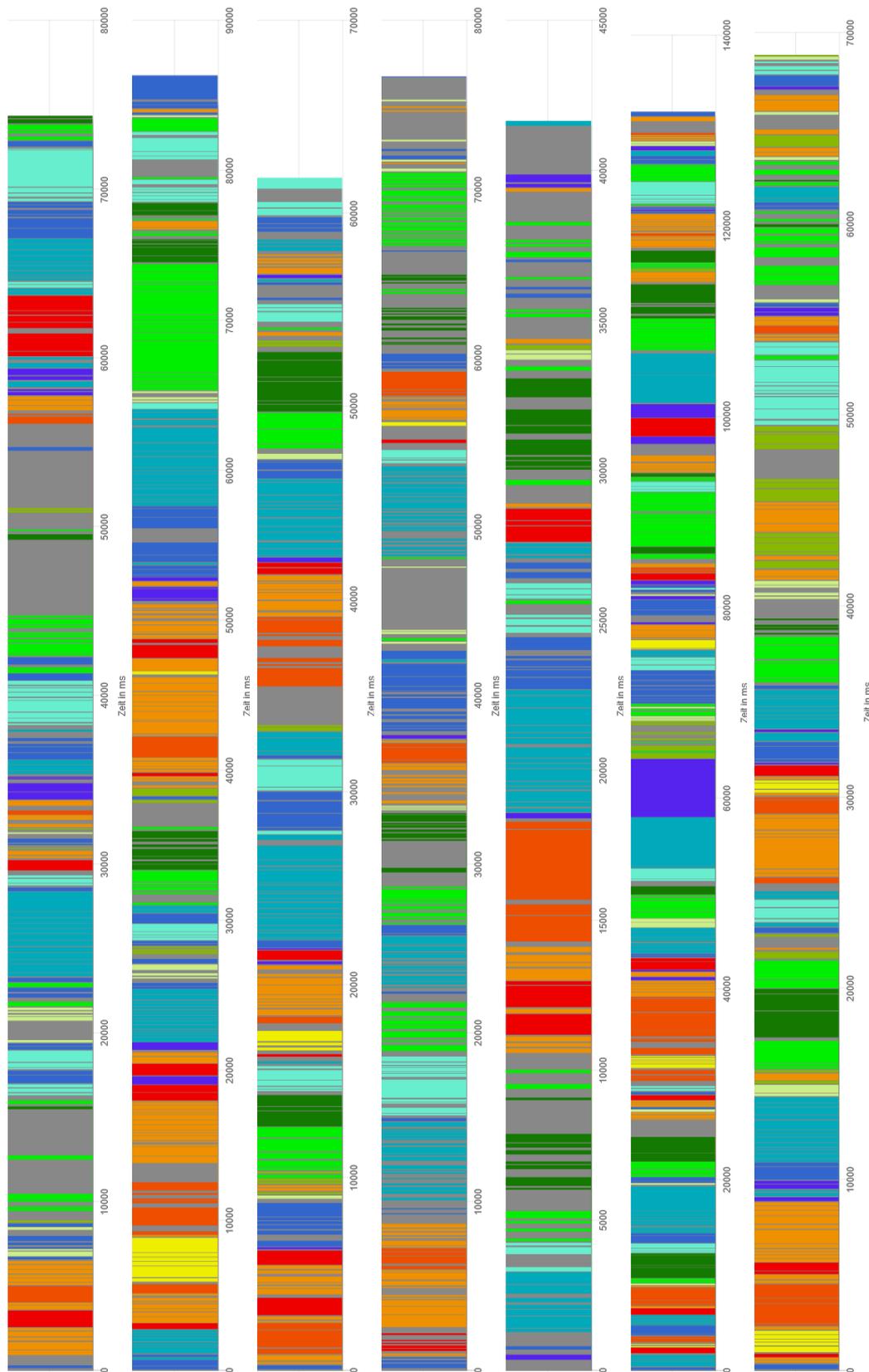


Abbildung 27: AOI Sequence Charts der Novizen P1 bis P7 (von links nach rechts)

Anhang: Der Fragebogen



Fragen zur SBS-Grafik:
Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen soweit möglich. Beantworten Sie die Fragen exakt in der vorgegebenen Reihenfolge und springen Sie **nicht** wieder zurück! Lesen Sie sich nicht vorab die nächst folgenden Fragen durch!
Bitte raten Sie nicht! Streichen Sie Fragen durch, die Sie nicht beantworten können.

Proband: _____ Datum: _____

1. Was soll die Grafik Ihrer Ansicht nach erklären bzw. veranschaulichen?

2. Erklären Sie kurz und knapp den Inhalt der Grafik.

3. Welche Eigenschaft muss ein Paket erfüllen, damit es zum Ziel-PC durchgelassen wird?

--- Bitte wenden! ---

4. Was macht das SBS mit Paketen, die zu klein sind?

5. Wie viele Schritte durchläuft in diesem System ein Paket maximal? Jeder Pfeil stellt einen Schritt dar (z.B. von PC4 zu SBS).

6. Bei den PCs 1-4 (links im Bild) waren Paket-Grafiken zu sehen . Haben Sie hier etwas bemerkt? Falls ja, was sollte damit verdeutlicht werden?

7. Was passiert weiterhin, wenn das SBS ein Paket vernichtet?

1

2

Abbildung 28: Der Fragebogen