



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Lorenz Barnkow

Ein Eye-Tracking-basiertes System für Usability-
Untersuchungen von benutzeradaptiven TV-Newstickern

Lorenz Barnkow

Ein Eye-Tracking-basiertes System für Usability-
Untersuchungen von benutzeradaptiven TV-Newstickern

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Angewandte Informatik
am Studiendepartment Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Kai von Luck
Zweitgutachter: Prof. Dr. Birgit Wendholt

Abgegeben am 28. Juli 2009

Lorenz Barnkow

Thema der Bachelorarbeit

Ein Eye-Tracking-basiertes System für Usability-Untersuchungen von benutzeradaptiven TV-Newstickern

Stichworte

Eye-Tracking, Intentionserkennung, Usability, Usability-Untersuchung, TV-Newsticker

Kurzzusammenfassung

Im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion und Ubiquitous Computing stellt sich die Frage, wie die Möglichkeiten der Informationsbeschaffung über das Internet leichter zugänglich gemacht werden können. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein System entwickelt, mit welchem für den Benutzer interessante Nachrichten aus einem TV-Newsticker erkannt und weiter verfolgt werden sollen. Die Interessen des Benutzers sollen hierbei mittels Eye-Tracking ermittelt werden. Dieses System wird einer Usability-Untersuchung unterzogen, um die Brauchbarkeit der vorgestellten Verfahren zu evaluieren.

Lorenz Barnkow

Title of the paper

An eye-tracking based system for usability analysis of user adaptive TV news tickers

Keywords

eye-tracking, intention recognition, usability, usability analysis, TV news ticker

Abstract

In the context of human-computer-interaction and ubiquitous computing, the question of how to make acquiring information over the internet more accessible often arises. Within the scope of this thesis a system which recognizes and follows up news interesting to the user from a TV news ticker was developed. The user's interests are identified through eye-tracking. The system is then tested by means of a usability analysis to evaluate the practicability of the procedure.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Gliederung der Arbeit	3
2	Grundlagen	4
2.1	Human-Computer-Interaction	4
2.2	Usability	5
2.2.1	Usability-Kriterien	7
2.2.1.1	Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit	7
2.2.1.2	Grundsätze der Dialoggestaltung	7
2.3	Das visuelle System	8
2.4	Eye-Tracking	9
2.4.1	Eye-Tracking-Techniken	9
2.4.2	Eye-Tracking-Probleme	10
3	Analyse	14
3.1	Anwendungsszenarien	14
3.1.1	Newsticker im TV	14
3.1.2	Verwandte Szenarien	15
3.2	Auswertung der Szenarien	17
3.3	Zielsetzung	17
3.4	Anforderungsanalyse	18

3.4.1	Benutzeranforderungen	18
3.4.2	Systemanforderungen	19
3.4.3	Nichtfunktionale Anforderungen	23
4	Design und Realisierung	26
4.1	Grobarchitektur der Intentionserkennungsmaschine	26
4.1.1	Verwendete Hardware	28
4.1.2	Verwendete Software	29
4.2	Filterung und Vorverarbeitung	31
4.2.1	Analyse der Eye-Tracking-Daten	32
4.2.2	Erkennen relevanter Bewegungen	33
4.2.3	Verfahren zur Sakkaden-Fixations-Erkennung	34
4.2.3.1	Vergleich der Verfahren	34
4.2.3.2	Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Jacob (1991)	36
4.2.3.3	Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Kumar u. a. (2008)	36
4.2.3.4	Sakkaden-Fixations-Erkennung unter Berücksichtigung der Streuung	38
4.2.3.5	Bewertung der Verfahren	43
4.3	Ereigniserkennung	43
4.3.1	Bekanntgabe der relevanten Regionen	44
4.3.2	Verfahren zur Ereignisaktivierung	44
4.3.2.1	Dwell-Time-basiertes Tracking	45
4.3.2.2	Gesten-basiertes Tracking	46
4.4	Applikationsschicht	47
4.4.1	Architekturentwurf	47
4.5	Fazit	50
5	Usability-Untersuchungen	53
5.1	Vorbereitung der Untersuchung	53
5.1.1	Ziel der Usability-Untersuchungen	53

5.1.2	Definition der Zielgruppe	54
5.1.3	Ablaufplanung der Tests	54
5.2	Durchführung der Tests	56
5.3	Auswertung der Ergebnisse	57
5.3.1	Auswertung der aufgetretenen Fehler	57
5.3.2	Auswertung der Fragebögen	60
5.3.3	Auswertung der Platzierungen der Testphasen	60
5.3.4	Auswertung der Befragungen	62
5.3.4.1	Befragungen im Anschluss an jede Testphase	62
5.3.4.2	Befragung zum Abschluss der Untersuchung	65
6	Schluss	67
6.1	Zusammenfassung und Fazit	67
6.2	Ausblick	68
A	XML-Newsfeeds der Usability-Untersuchungen	69
	Literaturverzeichnis	78
	Abbildungsverzeichnis	81
	Tabellenverzeichnis	83

Kapitel 1

Einführung

Statistiken machen deutlich, dass Fernsehgeräte nicht nur einen sehr hohen Verbreitungsgrad haben, sondern für viele Menschen kurz- bis mittelfristig auch nur schwer wegzudenken sind (Statistisches Bundesamt Deutschland (2002)):

Im Jahr 2000 besaßen 96% aller EU-Haushalte mindestens ein TV-Gerät (USA: 97 %). [...] Die EU-Bürger sahen im Durchschnitt täglich 204 Minuten fern.

Obwohl das Internet heute mehr und mehr Einzug in das alltägliche Leben erhält, scheint der Fernseh-Konsum noch nicht darunter zu leiden. Wie eine Studie der ARD/ZDF (2008) nahe legt, scheint der Internet-Konsum bei Erwachsenen zum Fernseh-Konsum noch hinzu zu kommen, während es bei jüngeren Menschen das klassische Fernsehen in Zukunft möglicherweise weitgehend verdrängt:

[...] Im Schnitt widmet sich jeder Erwachsene täglich 58 Minuten [...] dem Internet. Parallel zur Zunahme der Internetnutzung bleibt der Fernseh- und Hörfunkkonsum im 1. Halbjahr 2008 mit 225 Minuten [...] beziehungsweise 186 Minuten [...] täglich auf hohem Niveau stabil. [...]

Ein anderes Bild zeichnet sich bei den 14- bis 19-Jährigen ab: Mit 120 Minuten täglich verbringen sie mehr Zeit im Netz als mit fernsehen (100 Minuten) oder Radio hören (97 Minuten). [...]

Trotz zunehmender Attraktivität von multimedialen Anwendungen dient das Internet der Mehrheit der Anwender weiterhin vor allem der Informationsbeschaffung. Für 62 Prozent aller Internetnutzer steht der Informationsabruf an erster Stelle, 19 Prozent nennen als primären Nutzungsgrund die Unterhaltungsangebote im Netz. So ruft rund die Hälfte aller Onliner mindestens einmal wöchentlich Nachrichten und Informationen aus den Bereichen Politik, Wirtschaft,

Gesellschaft und Sport ab. Insbesondere im Bereich der tagesaktuellen Information werden Websites aufgesucht, die auch außerhalb der Internet-Welt bekannt sind: Die Online-Angebote von Nachrichtenmagazinen, Fernsehsendern und Tageszeitungen.

1.1 Motivation

In vielen Haushalten befindet sich ein Fernsehgerät im Wohnzimmer und somit an einem zentralen Platz des Haushaltes, während vollwertige Personal-Computer häufig nicht so zentral platziert sind. Typischerweise sind Fernsehgeräte (relativ) leicht zu bedienen, also für Menschen aller Altersgruppen zugänglich. Computer auf der anderen Seite erfordern sehr häufig eine umfassende Einarbeitung und teilweise auch Erfahrung, um selbst Basisaufgaben erledigen zu können. Zwischen der Bedienbarkeit von Fernsehgeräten und Computer besteht also eine deutliche Lücke.

Durch die stetige Entwicklung immer kleinerer und leistungsfähigerer Computer, können Computer aber mehr und mehr Einzug in das alltägliche Leben halten. Viele Computer in unserer direkten Umgebung bereitzustellen, sie aber möglichst für den Benutzer unsichtbar zu machen, ist die Vision des *Ubiquitous Computing* von Weiser (1991). Es geht hier also um die unbewusste und intuitive Nutzung von Computern, um alltägliche Aufgaben zu erledigen.

Über *Ubiquitous Computing* könnte eben diese Lücke in der Bedienbarkeit, die zwischen Fernsehgeräten und Computern besteht, überwunden werden. Die Frage ist also, ob und wie *Ubiquitous Computing* dabei helfen kann Fernsehgeräte mit den Möglichkeiten der Informationsbeschaffung über das Internet so zu koppeln, dass die Bedienbarkeit nicht darunter leidet bzw. idealerweise sogar vereinfacht wird.

Es stellt sich die Frage, wie Informationen an einem Fernsehgerät so aufbereitet werden können, dass sich die Interaktion möglichst einfach und intuitiv gestaltet. Welche Eingabemodalitäten im Sinne der Multimodalen Interaktion eignen sich, damit auch im Hinblick auf *Ubiquitous Computing* eine natürliche Interaktion ohne Einarbeitungszeit – quasi Handbuchfrei – unterstützt wird? Wie manifestieren sich Intentionen und Interessen eines Benutzer und wie lassen sie sich erkennen, um den Benutzer bei der Informationsbeschaffung über das Internet zu führen?

Ziel dieser Arbeit ist es ein System zu erstellen, welches insbesondere darauf spezialisiert sein soll die Augenbewegungen des Zuschauers (sog. Eye-Tracking) zu nutzen, um seine Interessen zu erkennen. Dementsprechend können weiterführende Informationen über das Internet beschafft und dargestellt werden. Desweiteren soll anhand einer Usability-Untersuchung festgestellt werden, ob und wie geeignet Eye-Tracking zur Interaktion mit einem Fernsehgerät ist.

1.2 Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit teilt sich im Wesentlichen in vier Teile, die hier kurz umrissen werden sollen.

Kapitel 2 widmet sich den Grundlagen, also der Erläuterung von Begriffen und Zusammenhängen, die für das Verständnis dieser Arbeit vorausgesetzt werden. Neben der Einführung der Begriffe Human-Computer-Interaction (Abschnitt 2.1) und Usability (Abschnitt 2.2), wird auch kurz die Funktionsweise des visuellen Systems des Menschen vorgestellt (Abschnitt 2.3) und erläutert was unter Eye-Tracking zu verstehen ist.

Kapitel 3 Analyse dient dazu die Problemstellung genauer zu untersuchen. Dafür werden Anwendungsszenarien vorgestellt (Abschnitt 3.1) und diese dann ausgewertet (Abschnitt 3.2), um die zugrundeliegenden Fragestellungen herauszuarbeiten. Anschließend werden die Ziele für die Entwicklung eines Prototypen festgelegt (Abschnitt 3.3) und die Anforderungen an diese Implementierung definiert (Abschnitt 3.4).

Kapitel 4 befasst sich mit dem Entwurf und der Realisierung eines solchen prototypischen Systems. Zunächst wird die Grobarchitektur des Systems vorgestellt (Abschnitt 4.1). Anschließend werden nacheinander die Teile Filterung und Vorverarbeitung (Abschnitt 4.2), Ereigniserkennung (Abschnitt 4.3) und Applikationsschicht (Abschnitt 4.4) beschrieben. Das Kapitel wird mit einem Fazit (Abschnitt 4.5) abgeschlossen, welches einen Überblick über den Entwicklungsstand des Prototypen gibt.

Kapitel 5 beschreibt die Usability-Untersuchungen, um die prototypische Entwicklung zu evaluieren. Zunächst werden die Schritte zur Vorbereitung der Tests genannt (Abschnitt 5.1) und anschließend die Durchführung beschrieben (Abschnitt 5.2). Abschließend werden die Ergebnisse der Tests untersucht und bewertet (Abschnitt 5.3).

In Kapitel 6 wird diese Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Fazit (Abschnitt 6.1) sowie einem Ausblick auf mögliche weiterführende Untersuchungen und Arbeiten (Abschnitt 6.2) abgeschlossen.

Kapitel 2

Grundlagen

In diesem Kapitel werden Begriffe und Zusammenhänge eingeführt, die die Basis für diese Arbeit bilden. Neben einer kurzen Erläuterung der Begriffe „Human-Computer-Interaction“ (Abschnitt 2.1) und „Usability“ (Abschnitt 2.2), folgt auch ein Überblick über die relevanten Eigenschaften des visuellen Systems des Menschen (Abschnitt 2.3). Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einer Einführung in das Thema Eye-Tracking und den damit verbundenen Problemstellungen (Abschnitt 2.4). Weiterführende Informationen sind den jeweils benannten Quellen zu entnehmen.

2.1 Human-Computer-Interaction

Human-Computer-Interaction (HCI), oder Mensch-Computer-Interaktion, ist ein Teilgebiet der Informatik, für das es keine feste, allgemein gültige Definition gibt. Innerhalb der ACM¹ gibt es die SIGCHI², die sich mit diesem Thema auseinandersetzt und deren Definition hier vorgestellt wird.

Im weitesten Sinne ist HCI eine Wissenschaft, die sich mit Design, Evaluierung und Implementierung von interaktiven Computer-Systemen für menschliche Nutzer beschäftigt und die damit verbundenen Phänomene untersucht (siehe Hewett u. a. (1992)). Als einfaches Beispiel kann also eine Textverarbeitungs-Software genannt werden, die an einem gewöhnlichen Desktop-PC von einem Menschen verwendet wird, typischerweise mit Computer-Maus und Tastatur.

¹Association for Computing Machinery - Eine wissenschaftliche Gesellschaft für Informatik - <http://www.acm.org/>

²Special Interest Group on Computer-Human Interaction - <http://sigchi.org/>

Betont wird in diesem Zusammenhang jedoch, dass die drei Begriffe Computer, Mensch und Interaktion sehr flexibel sein können. Es geht bei HCI also nicht ausschließlich um Desktop-Computer, sondern alle Geräte, in denen Rechenmaschinen stecken (wie z.B. in einem Mobiltelefon, einer Waschmaschine oder einem Mikrowellenherd). Auch der Aspekt Mensch kann auf Gruppen von Menschen erweitert werden, deren Interaktions-Möglichkeiten natürlich nicht auf Computer-Maus und Tastatur beschränkt sind. Dementsprechend ergibt sich ein sehr großes Feld von Möglichkeiten.

Es wird außerdem erwähnt, dass es andere Blickwinkel auf das Thema HCI gibt, die weniger Informatik-zentriert sind, sondern den Schwerpunkt in Bereiche wie Psychologie, Soziologie oder Kognitionswissenschaften verlagern.

Diese Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Sicht der Informatik auf das Thema. Von besonderem Interesse ist hier die Interaktion über Eye-Tracking, also das Ablesen der Intentionen des Menschen aus seinen Blicken.

2.2 Usability

Nach Nielsen (1993) ist „Usability“ gewissermaßen nur ein Teilaspekt der Systemakzeptanz („System acceptability“) im Ganzen, also der Frage danach, ob das System den Anforderungen und Wünschen aller Beteiligten gerecht wird (siehe Abbildung 2.1). Die Systemakzeptanz setzt sich aus der sozialen Akzeptanz („Social acceptability“) sowie der praktischen Akzeptanz („Practical acceptability“) zusammen.

Als Beispiel für eingeschränkte soziale Akzeptanz eines Systems, könnte die Nutzung persönlicher Daten in einem sozialen Netzwerk, herangezogen werden. Selbst die anonymisierte Auswertung der privaten Nutzerdaten, zum Zwecke personalisierter Werbung, kann bei Nutzern eine ablehnende Haltung hervorrufen (vgl. Tagesschau (2007)).

Unter den Aspekt der praktischen Akzeptanz fallen neben den eher traditionellen Kriterien der Software-Entwicklung, wie z.B. Entwicklungskosten, Zuverlässigkeit, Kompatibilität zu anderen Systemen, auch die Brauchbarkeit („Usefulness“) des Systems. Bei der Brauchbarkeit unterscheidet Nielsen (1993) zwischen Nützlichkeit („Utility“) und Gebrauchstauglichkeit („Usability“).

Die Nützlichkeit beschreibt hier in erster Linie, ob das System grundsätzlich alle Funktionen bereitstellt, um die geplanten Aufgaben zu bewältigen. Nielsen (1993) stellt klar, dass die Nützlichkeit nicht zwingend auf die „harten“ Funktionen beschränkt sein muss. Eine Unterhaltungssoftware verfügt beispielsweise über eine große Nützlichkeit, wenn es Spaß macht, sie einzusetzen.

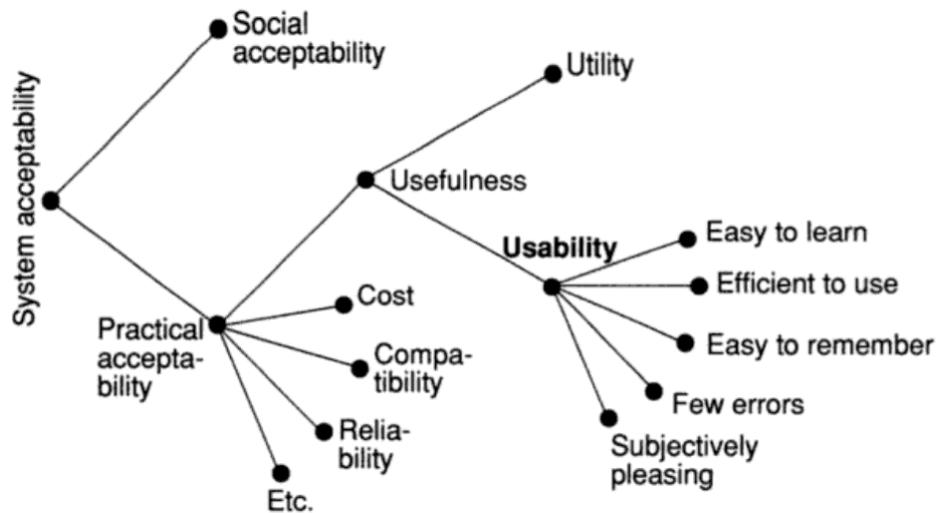


Abbildung 2.1: Ein Modell der Attribute von Systemakzeptanz aus Nielsen (1993)

Die Gebrauchstauglichkeit wiederum widmet sich der Frage, wie gut Benutzer die Funktionen des Systems überhaupt einsetzen können. Gemessen und bewertet wird die Gebrauchstauglichkeit üblicherweise, indem das System von einer Reihe von Testbenutzern verwendet wird, um im Vorfeld festgelegte Aufgaben zu erledigen. Alternativ kann die Verwendung des Systems auch in Form eines Feldexperiments oder Feldversuchs anhand von realen Benutzern beobachtet werden.

Unabhängig davon, ob es sich bei einer Untersuchung um ein Labor- oder ein Feldexperiment handelt, stehen verschiedene Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Zum einen können objektive Messungen durchgeführt werden, wie z.B. die Zeit, die zur Bewältigung einer Aufgabe benötigt wurde oder die Häufigkeit von Fehlern, egal ob es sich um anwender- oder systembedingte Fehler handelt. Zum anderen ist die Nutzerbefragung ein wichtiges Instrument, um die Gebrauchstauglichkeit zu einzuschätzen. Hierbei sollte beachtet werden, dass die Ergebnisse einer Befragung immer die subjektiven Eindrücke der Befragten widerspiegeln und aufgrund der Zusammensetzung der Testteilnehmer evtl. keine Verallgemeinerung auf alle potentiellen Anwender zulässt.

Usability beschreibt also die Gebrauchstauglichkeit oder auch die Benutzerfreundlichkeit eines Systems aus Sicht des Benutzers. Ein System wird dann als benutzerfreundlich betrachtet, wenn es, unter Berücksichtigung der Zielgruppe und der jeweiligen Aufgabenstellung, eine einfache und angemessene Bedienung aufweist.

2.2.1 Usability-Kriterien

Die internationale Normenreihe DIN EN ISO 9241 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“ enthält entsprechende Richtlinien und Leitkriterien, die zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit eines Systems herangezogen werden können. Im Kontext dieser Arbeit werden, zur Usability-Untersuchung der erarbeiteten Lösung, insbesondere Teil 11 „Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze“ und Teil 110 „Grundsätze der Dialoggestaltung“ dieser Reihe näher betrachtet. Da das entwickelte System jedoch keine Dialoge bzw. Dialogfenster im traditionellen Sinne aufweist, sind nicht alle genannten Kriterien anwendbar.

2.2.1.1 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit

Da die Gebrauchstauglichkeit eines Systems vom entsprechenden Anwendungskontext abhängt, nennt die Norm DIN EN ISO 9241-11 lediglich drei Leitkriterien, die zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden sollen:

- **Effektivität zur Lösung einer Aufgabe**
Die Effektivität meint das Verhältnis zwischen erreichtem Ergebnis und dem definierten Ziel, das erreicht werden sollte. Ein System ist also als effektiv anzusehen, wenn es zur vollständigen Lösung einer gegebenen Aufgabenstellung genutzt werden kann.
- **Effizienz der Handhabung des Systems**
Die Effizienz meint das Verhältnis zwischen dem Nutzen und dem Aufwand, der für die Erzielung dieses Nutzens nötig ist. Je geringer der Aufwand zur Lösung einer gegebenen Aufgabenstellung ist, umso effizienter ist das System.
- **Zufriedenheit der Nutzer einer Software**
Die Zufriedenheit meint, in wie weit die Nutzer mit den Leistungen und der Bedienung des gegebenen Systems einverstanden sind.

2.2.1.2 Grundsätze der Dialoggestaltung

Die Norm DIN EN ISO 9241-110 beschreibt sieben Grundsätze, die als Orientierung für die Erstellung von Dialogen in Computersystemen beachtet werden sollen:

- **Aufgabenangemessenheit**
Dialoge sollten so gestaltet werden, dass sie ihrer jeweiligen Bestimmung angemessen sind. Für einfache Aufgaben sollten also möglichst einfache Dialoge erstellt werden, die geeignete Funktionalitäten bereitstellen und unnötige Interaktionen minimieren.

- **Selbstbeschreibungsfähigkeit**

Die Verständlichkeit der Dialoge kann durch Hilfetexte, kontextsensitive Tipps und sinnvolle Rückmeldungen gesteigert werden. Das Ziel sollte also möglichst ein System sein, welches sich auch ohne Handbücher verstehen lässt.

- **Steuerbarkeit**

Die Steuerung des Dialogs durch den Benutzer sollte möglichst einfach gehalten werden, damit sie sowohl leicht verständlich ist, als auch wenig Aufwand erfordert.

- **Erwartungskonformität**

Die Dialoge sollten sich möglichst nahe am sog. „Mentalen Modell“ der Zielgruppe bewegen (vgl. Sears und Jacko (2007)) und untereinander sowie im Bezug auf die Laufzeitumgebung bzw. das Betriebssystem möglichst konsistent sein. Durch die Anpassung des Systems an die Erwartungen der Benutzer, wird die Arbeit mit dem System deutlich vereinfacht.

- **Fehlertoleranz**

Durch eine sinnvolle Dialoggestaltung sollen Anwenderfehler von vorne herein vermieden werden. Außerdem ist es wichtig, dass im Falle solcher Fehler, der Benutzer dennoch nicht daran gehindert wird sein Ziel zu erreichen. Dazu sollten Fehler aktiv erkannt und dem Benutzer mit verständlichen Meldungen bekannt gegeben werden. Hierzu muss dem Benutzer außerdem die Möglichkeit eingeräumt werden, Fehler überhaupt korrigieren zu können.

- **Individualisierbarkeit**

Dialoge sollten sich sowohl an den Benutzer, als auch an den Arbeitskontext anpassen lassen, damit sie leichter verständlich und leichter zugänglich sind.

- **Lernförderlichkeit**

Unter Zuhilfenahme von Assistenten und geeigneten Metaphern soll der Benutzer durch die Dialoge geführt und somit bei der Erledigung seiner Aufgaben angeleitet werden.

2.3 Das visuelle System

In diesem Abschnitt sollen – in aller Kürze – die Eigenschaften des visuellen Systems des Menschen vorgestellt werden, die für diese Arbeit am Bedeutendsten sind.

Das menschliche Auge deckt ein Blickfeld von etwa 100° ab (siehe Schandry (1998)). Die Dichte der Sehzellen ist jedoch ungleichmäßig verteilt. Ungefähr in der Mitte dieses Kegels liegt der Bereich des schärfsten Sehens, während die Schärfe zu den Rändern des Blickfelds

sehr stark abnimmt. Das scharfe Sehen umfasst selbst nur einen Winkel von ca. 1° . Bei einer Entfernung von 1 m ergibt sich ein Kreis mit einem Durchmesser von 1,75 cm, dessen Inhalt scharf gesehen wird. Insbesondere diese Eigenschaft verhindert es, aus dem Blickwinkel der Augen den fixierten Punkt exakt zu bestimmen (siehe Majaranta und Riih  (2007)).

Um seine Umgebung zu erkunden, müssen alle Objekte, die scharf gesehen werden sollen, mit Hilfe von Kopf- und Augenbewegungen in das Zentrum des Blickfeldes gebracht werden. Bei den Augenbewegungen wird grundsätzlich zwischen Sakkaden und Fixationen unterschieden (siehe Jacob (1995)).

Sakkaden sind sehr schnelle Bewegungen des Auges, während denen fast keine Informationen aufgenommen werden. Sie verschieben den Blickwinkel typischerweise um $1\text{--}40^\circ$ und dauern 30–120 ms an. Auf Sakkaden folgen, wenn das zu betrachtende Objekt in die Blickfeldmitte gerückt ist, sog. Fixationen. Fixationen sind Perioden relativer Ruhe, in welchen ein Objekt betrachtet werden kann. Fixationen dauern i.d.R. 200–600 ms an.

Tatsächlich driftet das Auge jedoch während einer Fixation immer wieder bis zu 1° vom eigentlichen Ziel ab, was anschließend durch sog. Mikrosakkaden ausgeglichen wird. Hinzu kommt der sog. Tremor, der das betrachtete Bild nur um wenige Sehzellen verschiebt, um diese ständig mit neuen Reizen zu versorgen. Eine Fixation stellt also für das Empfinden des Menschen eine Ruhestellung des Auges dar, setzt sich aber tatsächlich aus den drei Mikrobewegungen – Drift, Mikrosakkade und Tremor – zusammen.

2.4 Eye-Tracking

Eye-Tracking bezeichnet den Vorgang, den Blickwinkel einer beobachteten Person zu ermitteln. Dazu wurden verschiedene Techniken entwickelt, von denen im Folgenden eine kurz vorgestellt werden soll. Darüber hinaus werden Probleme vorgestellt, die typischerweise bei Eye-Tracking-Anwendungen auftreten, und entsprechende Lösungsansätze kurz präsentiert.

2.4.1 Eye-Tracking-Techniken

Einen umfassenden Überblick über die historische Entwicklung sowie aktuelle Techniken zum Eye-Tracking gibt Kumar (2007) in seiner Dissertation. Hier soll nun lediglich die sog. Cornea-Reflex-Methode vorgestellt werden, die letztendlich im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurde.

Bei der Cornea-Reflex-Methode werden die Augen von einer oder mehreren Kameras aufgezeichnet. Außerdem werden die Augen mit Infrarot-Licht beleuchtet, so dass eine Reflektion dieser Lichtquelle auf der Hornhaut (Cornea) entsteht (siehe Abbildung 2.2). Mit Hilfe von

Verfahren zur Bildmustererkennung werden, innerhalb der aufgezeichneten Bilder, sowohl diese Reflektionen, als auch die Pupillen, gesucht und deren jeweilige Positionen bestimmt. Aufgrund der relativen Lage dieser beiden Merkmale zueinander kann dann auf die Blickrichtung geschlossen werden. Voraussetzung hierfür ist i.d.R. eine Kalibrierung, bei der der Benutzer aufgefordert wird, in bestimmte Richtungen zu blicken. Während der Kalibrierung werden Lage der Reflektion und Pupillen aufgezeichnet und als Referenzdaten vorgehalten. Weiterhin wird bei dieser Technik zwischen der sog. „Bright-Pupil“- und der „Dark-Pupil“-Methode unterschieden. Befindet sich die Infrarot-Lichtquelle auf einer optischen Achse mit der bzw. den Kameras, dann erscheint die Pupille in den Videobildern hell. Dieser Effekt ist vergleichbar mit dem „Rote-Augen-Effekt“, der bei Kompaktkameras häufig auftritt und ist dadurch bedingt, dass das Licht von der Netzhaut reflektiert wird. Befindet sich die Lichtquelle nicht auf einer optischen Achse der bzw. den Kameras, erscheinen die Pupillen in den Videobildern dunkel. Die „Bright-Pupil“-Methode hat grundsätzlich zwei Vorteile: Erstens lassen sich die Pupillen in den Kamerabildern leichter auffinden, weil sie weniger anfällig für Störungen ist, wie z.B. Wimpern, die die Pupillen überdecken. Zweitens eignet sich diese Methode für fast alle Lichtverhältnisse gleichermaßen. Ausgenommen sind jedoch Situationen in denen viel Infrarot-Licht von außen hinzukommt. Hier ist das „Dark-Pupil“-Verfahren vorzuziehen.

Ein besonderer Vorteil der Cornea-Reflex-Methode gegenüber anderen gängigen Verfahren ist, dass diese Technik vollständig kontakt-frei angewendet werden kann. Der Benutzer nimmt das Eye-Tracking so i.d.R. kaum bis gar nicht wahr und wird so weniger bei seiner Arbeit behindert.

2.4.2 Eye-Tracking-Probleme

Bei vielen Anwendungen von Eye-Tracking in der Informatik machen sich die gleichen Probleme bemerkbar. Im Folgenden werden die Probleme, die auch diese Arbeit betreffen kurz beschrieben sowie ggf. etablierte Lösungsansätze aufgezeigt.

Midas-Touch-Problem

Das Midas-Touch-Problem wurde erstmals von Jacob (1991) beschrieben. Ein naiver Ansatz, Maschinen mittels Eye-Tracking zu steuern, war es seiner Ansicht nach, Mausbewegungen durch Augenbewegungen zu ersetzen und Mausclicks durch Fixationen. Obwohl es zunächst interessant erscheinen mag, eine Anwendung alleine durch Blicke auf den Bildschirm zu steuern, ergibt sich in der Praxis schnell ein Problem. Normale visuelle Wahrnehmung erfordert, dass sich die Augen viel bewegen müssen, um die Umgebung wahrzunehmen. In Anlehnung an den mythischen König Midas, der alles in Gold verwandelte, was er berührte,

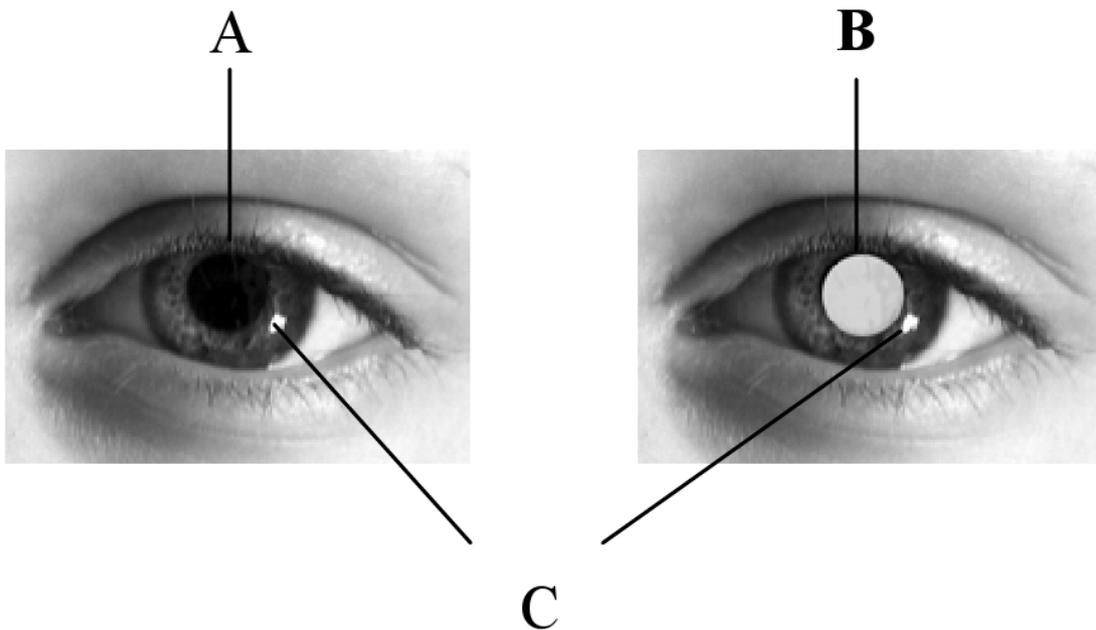


Abbildung 2.2: Beispielbilder für „Dark-Pupil“ (A) und „Bright-Pupil“ (B) sowie der Infrarot-Reflektionen auf der Hornhaut (C) aus Milekic (2003)

würde der Benutzer alles anklicken, was er anschaut. Eine einfache Erkundung der Benutzeroberfläche wird unmöglich. Jacob (1991) beobachtet, dass Benutzer nicht daran gewöhnt sind, Maschinen allein durch Blicke zu bedienen. Menschen erwarten Dinge anschauen zu können, ohne mit den Blicken eine besondere Bedeutung beizumessen.

Im Allgemeinen ist es nicht möglich zu unterscheiden, wann ein Benutzer etwas anschaut, um es einfach nur genau zu betrachten und wann er etwas bewirken möchte. Im Laufe der Jahre wurden einige Lösungsansätze entwickelt, von denen viele jedoch einen sehr speziellen Kontext haben und nicht ohne Weiteres auf andere Szenarien angewendet werden können. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei vorhandene Ansätze eingesetzt, die nun kurz vorgestellt werden.

Dwell-Time: Jacob (1991) schlägt vor, ein betrachtetes Element nur dann zu Aktivieren, wenn der Benutzer es über eine bestimmte Zeitspanne hinweg angeschaut hat. Er schlägt beispielsweise Zeitspannen zwischen 150–400 ms für Buttons oder Drop-Down-Menüs vor. Einen allgemeingültigen Richtwert kann es aber nicht geben, da es auch immer darauf ankommt, wie lange ein Benutzer benötigt, um zu verstehen, was er gerade betrachtet. Die Länge der Dwell-Time ist also kontextabhängig.

Gesten: Wobbrock u. a. (2008) haben die Brauchbarkeit von Gesten für die Eye-Tracking-gestützte Texteingabe untersucht. Dazu wurden in den Ecken eines Anwendungsfen-

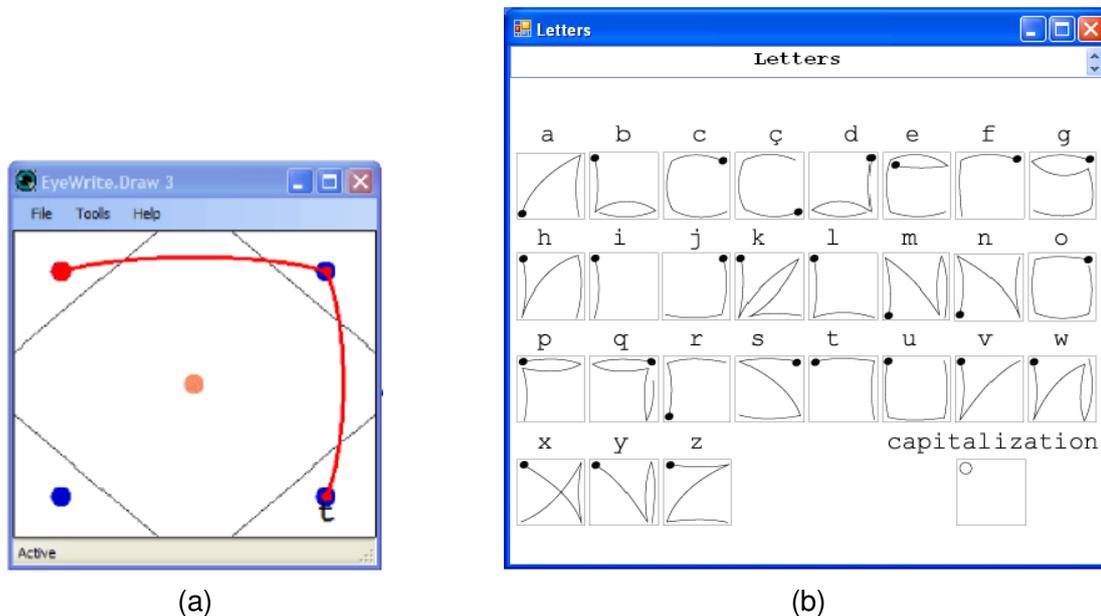


Abbildung 2.3: EyeWrite: Gesten-Erfassungsfenster (a) und mögliche Buchstabengesten (b) aus Wobbrock u. a. (2008)

sters vier Referenzpunkte markiert. Der Benutzer konnte gedachte Linien zwischen diesen Punkten abfahren, indem er die richtigen Punkte in entsprechender Reihenfolge fixierte. Das System verwendet Gesten, deren Länge zwischen 3–5 Punkten (also 2–4 Linien) enthalten (siehe Abbildung 2.3).

Sakkaden-Fixations-Erkennung

Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, lassen sich die Bewegungen der Augen vereinfacht in Sakkaden und Fixationen unterteilen. Typischerweise drückt sich Interesse über Fixationen aus, während Sakkaden fast nichts über die Intentionen des Benutzers aussagen. Da Eye-Tracker i.d.R. periodisch nur die Blickrichtung des Benutzers ausgeben, bleibt die Unterscheidung von Sakkaden und Fixationen der Anwendung selbst überlassen. Aufgrund der Mikrobewegungen, die das Auge während einer Fixation vollführt, fällt die korrekte Erkennung von Fixationen nicht immer leicht, da die erfasste Blickrichtung dadurch stark verrauscht wirkt.

Für die Fixations-Erkennung wurden bereits einige Verfahren entwickelt, wobei sich die meisten nur für die nachträgliche Analyse von aufgezeichneten Eye-Tracking-Sitzungen eignen (siehe Kumar u. a. (2008)). Wird Eye-Tracking jedoch bei interaktiven Anwendungen eingesetzt, sollte die Erkennung jedoch gewissen Anforderungen im Bezug auf die Echtzeitverarbeitung genügen. Von Kumar u. a. (2008) wird ein Verfahren zur „Real-Time Saccade De-

tection And Fixation Smoothing" vorgeschlagen und evaluiert, welches sich ausdrücklich für solche Anwendungen eignet. Dieses Verfahren wird in Abschnitt 4.2.3 wieder aufgegriffen.

Hand-Auge-Koordination

Ein weiteres, häufiges Problem wird von Kumar u. a. (2008) im Bezug auf die Interaktion mit Hilfe einer zusätzlichen Modalität, hier der Computermaus, beschrieben. Bei den beschriebenen Versuchen wurde der Mauszeiger mit den Augen bewegt, ein Mausklick erfolgte aber weiterhin über die Computermaus.

Typischerweise tritt beim Eye-Tracking immer eine Verzögerung bei der Erkennung der Augenbewegungen auf, die z.B. durch die videobasierte Bildmustererkennung, aber auch durch Algorithmen zur Sakkaden-Fixations-Erkennung, verursacht wird.

Beim Versuch ein Bildelement zu betrachten und gleichzeitig anzuklicken, kann es aufgrund dieser Verzögerung zu sog. „early trigger“-Fehlern kommen. Wenn der Mausklick vom System verarbeitet wird, bevor der Mauszeiger, aufgrund des langsamen Eye-Trackings, auf die gewünschte Position bewegt wurde, dann wird möglicherweise eine falsche Aktion ausgelöst.

Auf der anderen Seite kann es selbst bei minimalen Verzögerungen im Eye-Tracking zu sog. „late trigger“-Fehlern kommen. Diese treten dann auf, wenn der Benutzer ein betrachtetes Element anklicken möchte, aber sich mit den Augen bereits nach etwas Anderem umschaute. Dieses Verhalten ist der Benutzer von der Computer-Interaktion mit Maus und Tastatur gewöhnt.

Verallgemeinert treten „early trigger“- und „late trigger“-Fehler also immer dann auf, wenn die Intention, ein Element zu aktivieren, zwar richtig erkannt wurde, jedoch die Aktivierung dem falschen Element zugeordnet wird. Die „early trigger“-Fehler werden durch eine verzögerte Erkennung der Blickrichtung begünstigt, während „late trigger“-Fehler durch eine verzögerte Aktivierung auftreten.

Kapitel 3

Analyse

Dieses Kapitel beschreibt zunächst das Anwendungsszenario aus der ursprünglichen Vision und macht Vorschläge für weitere Szenarien mit ähnlichen Problemstellungen (Abschnitt 3.1). Anschließend werden diese Szenarien ausgewertet (Abschnitt 3.2), um die Fragestellungen, die sie gemeinsam haben, zu isolieren. Abschließend werden die Ziele des zu entwickelnden Systems (Abschnitt 3.3) sowie dessen formalen Anforderungen (Abschnitt 3.4) festgehalten.

3.1 Anwendungsszenarien

Hier werden die Szenarien beschrieben, die durch Eye-Tracking unterstützt werden könnten. Neben dem ursprünglichen TV-Newsticker-Szenario werden auch zwei ähnliche, eher PC-zentrierte Szenarien beschrieben.

3.1.1 Newsticker im TV

Einige Fernsehsender verwenden Lauftexte am unteren Bildschirmrand, um z.B. Nachrichten oder Aktienkurse einzublenden (siehe Abbildung 3.1). Häufig werden solche Nachrichten nur stark gekürzt, also in Form von Schlagzeilen oder Zusammenfassungen, angezeigt. Sie erlauben es dem Benutzer „auf dem Laufenden“ zu bleiben und gleichzeitig die aktuelle Sendung zu verfolgen, anstatt aktiv diverse Nachrichtenquellen zu verfolgen. Interessiert sich der Betrachter jedoch für weiterführende Informationen, so hat er keine Möglichkeit dieses Interesse auszudrücken und muss selbstständig andere Informationswege hinzu ziehen.

Die ursprüngliche Vision dieser Arbeit war es, zu erkennen, welche Inhalte für den Betrachter interessant sind und für diese automatisch weitere Informationen anzubieten. Erkennt



Abbildung 3.1: TV-Bild mit Laufschrift aus Wikipedia (2009)

das System beispielsweise Interesse an einer bestimmten Schlagzeile, so könnte anschließend die dazu passende Zusammenfassung dargestellt werden. Darüber hinaus kann bei weiterhin bestehendem Interesse der vollständige Artikel dargestellt werden. Von hier aus ergeben sich möglicherweise Verknüpfungen zu weiterführenden Artikeln. Umgekehrt sollte das System nachlassendes Interesse erkennen und den Benutzer wieder zu der laufenden Sendung zurückkehren lassen.

3.1.2 Verwandte Szenarien

Aus dem zuvor beschriebenen Szenario lassen sich weitere, eng verwandte Szenarien ableiten, die alle sehr ähnliche Probleme und Fragen aufwerfen. Ziel ist es, später ein geeignetes Szenario auszuwählen, um dann exemplarisch eine Brauchbarkeitsuntersuchung von Eye-Tracking in diesem Kontext durchzuführen.

Darstellung abonmierter XML-Newsfeeds

In den vergangenen Jahren haben sich sog. XML³-Newsfeeds im Internet fest etabliert. Im Wesentlichen geben sie eine wohl definierte Schnittstelle zwischen einem Daten-

³XML steht für Extensible Markup Language und wird u.a. für den Datenaustausch zwischen Computersystem eingesetzt.

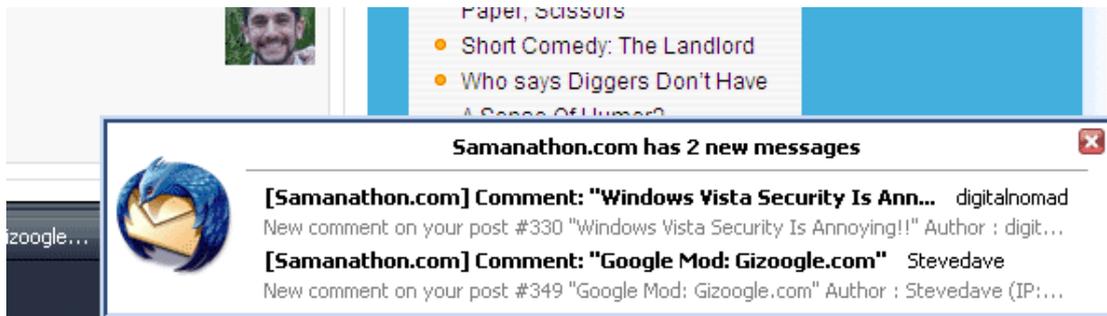


Abbildung 3.2: Benachrichtigung über Eingang neuer E-Mails aus Sadeghi (2007)

Produzenten und seinen Konsumenten, in Form von XML-Dateien, vor. Software-Tools, die Webseiten für einen Benutzer auf Veränderungen bzw. Aktualisierungen hin überwachen, müssen so nicht mehr speziell an die individuelle Struktur der entsprechenden Seite angepasst sein. XML-Newsfeeds werden u.a. von Nachrichten-Webseiten, Weblogs und Internetforen angeboten.

Im ersten Anwendungsszenario in Kapitel 3.1.1 ist der Lauftext fest im Bild eingebettet und kann nicht ohne weiteres getrennt angesprochen und/oder manipuliert werden. Günstiger ist also die Verallgemeinerung dieses Szenarios auf eine beliebige Videoquelle und „Nachrichten“ aus XML-Newsfeeds. Schlagzeile und Zusammenfassung können dann i.d.R. direkt aus dem XML-Newsfeed entnommen werden, während der eigentliche „Artikel“ immer eine Webseite ist. Ein weiterer Vorteil dieses verallgemeinerten Szenarios ist die Individualisierbarkeit der angezeigten Inhalte, da die abonnierten XML-Newsfeeds und das Videomaterial beliebig gewählt werden können.

Auf Basis dieses Szenarios und der Anforderungen in Abschnitt 3.4, wird in Kapitel 4 ein Prototyp skizziert und dieser in Kapitel 5 evaluiert.

Eingang neuer Nachrichten per E-Mail, Instant-Messaging o.ä.

Einige E-Mail-Clients, aber auch viele Instant-Messaging-Programme, zeigen bei Eingang neuer Nachrichten für kurze Zeit eine Benachrichtigung am unteren Bildschirmrand, z.B. in Form eines Popups (siehe Abbildung 3.2). Diese werden in der Regel durch anklicken mit der Maus oder über Tastaturkürzel aktiviert, um die vollständige Nachricht anzuzeigen.

Analog zum interaktiven TV-Newsticker wäre auch hier das Ziel, bei Interesse an der neuen E-Mail, weitere Informationen zur eingegangenen Nachricht (z.B. die ersten 50 Wörter) bzw. die gesamte E-Mail anzuzeigen.

3.2 Auswertung der Szenarien

Aus o.g. Szenarien ergeben sich nun einige Fragen, denen im Rahmen dieser Arbeit und bei der Implementierung eines Prototypen (siehe Kapitel 4) nachgegangen wurde.

Wie äußert der Benutzer Interesse an einem Element der grafischen Oberfläche?

Wie in Abschnitt 2.4.2 beschrieben, ist es für den Benutzer ungewohnt mit seinen Blicken Aktionen zu initiieren (Midas-Touch-Problem). Wie kann also die Interaktion mit dem System gestaltet werden, dass sie sowohl intuitiv ist, als auch dem Benutzer erlaubt seine Intentionen eindeutig zu äußern?

Wie erkennt das System Interesse seitens des Benutzers?

Auf der anderen Seite ist die korrekte und robuste Erkennung der Augenbewegungen des Benutzers (siehe Abschnitt 2.4.2) von grundlegender Bedeutung. Wie können aber auf Basis dieser Daten die Intentionen der Benutzer richtig eingeschätzt werden?

Wie werden Informationen benutzerfreundlich aufbereitet?

Wie schnell und wie groß dürfen ein Lauftext oder eine Zusammenfassung sein, damit sie sowohl für den Benutzer gut lesbar sind, als auch fehlerfrei den erfassten Augenbewegungen zugeordnet werden können?

3.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein System, wie es in Abschnitt 3.1.1 beschrieben ist, beispielhaft zu implementieren. Das System soll also Videos abspielen und diese mit einem Newsticker überlagern, der auf das Verhalten des Benutzers reagiert. Anhand der Implementierung ist zu evaluieren, ob und in wieweit die Anwendung von Eye-Tracking in diesem Szenario sinnvoll ist.

Die Anwendungsschicht von den Datenmassen, die ein Eye-Tracker produziert, zu befreien erschien bereits Jacob (1991) sinnvoll. In den bisherigen Bachelorarbeiten an der HAW Hamburg, die im Kontext von Eye-Tracking stehen (siehe Charousset (2008); Wehner (2009)), wurde auf eine Reduzierung des Datenstroms verzichtet. In dieser Arbeit jedoch soll das Augenmerk auf der Ereignisverarbeitung, auf einer logisch höheren Ebene, liegen. D.h. es

ist nicht jede minimale Augenbewegung von Interesse, sondern es sollen z.B. nur solche Bewegungen gemeldet werden, denen eine Bedeutung beigemessen werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen, aber auch um zukünftige Arbeiten im Eye-Tracking-Umfeld zu unterstützen, erscheint es sinnvoll eine wiederverwendbare Komponente für die Filterung der Daten zu entwickeln. Eine solche Komponente oder Bibliothek sollte ggf. verschiedene, parametrisierbare Filter-Algorithmen zur Verfügung stellen und leicht erweiterbar sein.

Auf der Filterung aufbauend spielt die Extraktion von relevanten Ereignissen eine fundamentale Rolle für die Anwendung von Eye-Tracking im Rahmen dieser Arbeit. Die Art und Weise, wie die (ggf. gefilterten) Daten des Eye-Trackers interpretiert und bestimmten Ereignissen zugeordnet werden kann dabei, je nach Anwendungskontext, verschieden sein. Auch hier ist die Entwicklung einer wiederverwendbaren Komponente zur Ereignis-Extraktion sinnvoll und dürfte auch für kommende Arbeiten hilfreich sein. Die entsprechende Komponente sollte ggf. auch verschiedene, parametrisierbare Ereignis-Extraktoren zur Verfügung stellen und erweiterbar sein.

3.4 Anforderungsanalyse

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Prototyp entwickelt, anhand dessen die Zweckmäßigkeit von Eye-Tracking für TV-Newsticker untersucht werden kann. Dementsprechend ist es nicht das Ziel eine perfekte Medienzentrale zur Verfügung zu stellen, sondern eine minimale Applikation, die das Szenario aus Abschnitt 3.1.1 hinreichend annähert.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die funktionalen Anforderungen an den Prototypen, getrennt nach Benutzeranforderungen und Systemanforderungen. Benutzeranforderungen beschreiben die Dienste des Systems aus Sicht des Endanwenders. Die Systemanforderungen stellen eine detailliertere und präzisere Beschreibung der Dienste und Beschränkungen des Systems aus Sicht des Systems bzw. des Systemarchitekten dar (vgl. Sommerville (2007)). Im Anschluss werden die nichtfunktionalen Anforderungen in Anlehnung an die Normen ISO/IEC 9126 bzw. DIN 66272 diskutiert.

3.4.1 Benutzeranforderungen

Das Zustandsdiagramm in Abbildung 3.3 zeigt eine Übersicht über die gültigen Systemzustände und wie diese erreicht werden können. Die Dienste des Systems sollen sich, aus Sicht des Benutzers, folgendermaßen verwenden lassen:

1. Der Benutzer betrachtet mit dem System ein Video. Dieses Video wird am unteren Bildschirmrand von einem Lauftext überlagert. Der Lauftext enthält Schlagzeilen bzw. Überschriften aktuellen Nachrichtenartikel.

2. Der Benutzer kann den Lauftext mit seinen Blicken aktivieren.
 - (a) Das System stellt hierfür geeignete Interaktionsmodi zur Verfügung.
 - (b) Bei Aktivierung des Lauftextes wird die passende Nachrichten-Zusammenfassung (Abstract) anstelle des Lauftextes gezeigt. Der Benutzer kann die Zusammenfassung mit seinen Blicken aktivieren.
 - i. Bei Aktivierung der Zusammenfassung wird diese ausgeblendet. Das Video wird verkleinert und in eine Ecke des Bildschirms verschoben. Der vollständige Nachrichtenartikel wird angezeigt.
 - ii. Aus der Ansicht des Nachrichtenartikels, kann der Benutzer, durch Aktivierung des verkleinerten Videos, zum ursprünglichen Zustand zurückkehren.
 - iii. Wird die Zusammenfassung nicht aktiviert, so blendet sie sich selbstständig aus und der Lauftext erscheint wieder.
 - (c) Bei Ausbleiben der Aktivierung des Lauftextes zeigt der Lauftext jeweils eine weitere Schlagzeile bzw. Überschrift an.

3.4.2 Systemanforderungen

An dieser Stelle sollen die Teile des Systems, die in den Benutzeranforderungen nur oberflächlich dargestellt wurden präziser festgehalten werden.

Wiederhabe von Videos

Das System soll in der Lage sein Videos abzuspielen. Die Darstellung sollte dabei wahlweise das gesamte Applikationsfenster ausfüllen können (Vollbild-Modus), als auch eine verkleinerte Darstellung erlauben. Die verkleinerte Darstellung erlaubt es den größten Teil des Applikationsfensters für andere Inhalte (wie den Nachrichten-Artikeln) freizugeben.

Das System sollte alle gängigen Video-Formate und auch die Wiedergabe von verschiedenen Quellen (z.B. Netzwerkstreams oder DVB-T-Empfängern⁴) erlauben. Mindestens jedoch sollen Dateien mit MPEG-4 part 2-kodierung (ISO/IEC-14496), z.B. Xvid⁵, abspielbar sein.

⁴DVB-T steht für „Digital Video Broadcasting Terrestrial“ und bezeichnet die terrestrische (erdgebundene) Verbreitung digitaler Fernsehsignale.

⁵Xvid ist ein freier MPEG-4-Video-Codec, <http://www.xvid.org/>

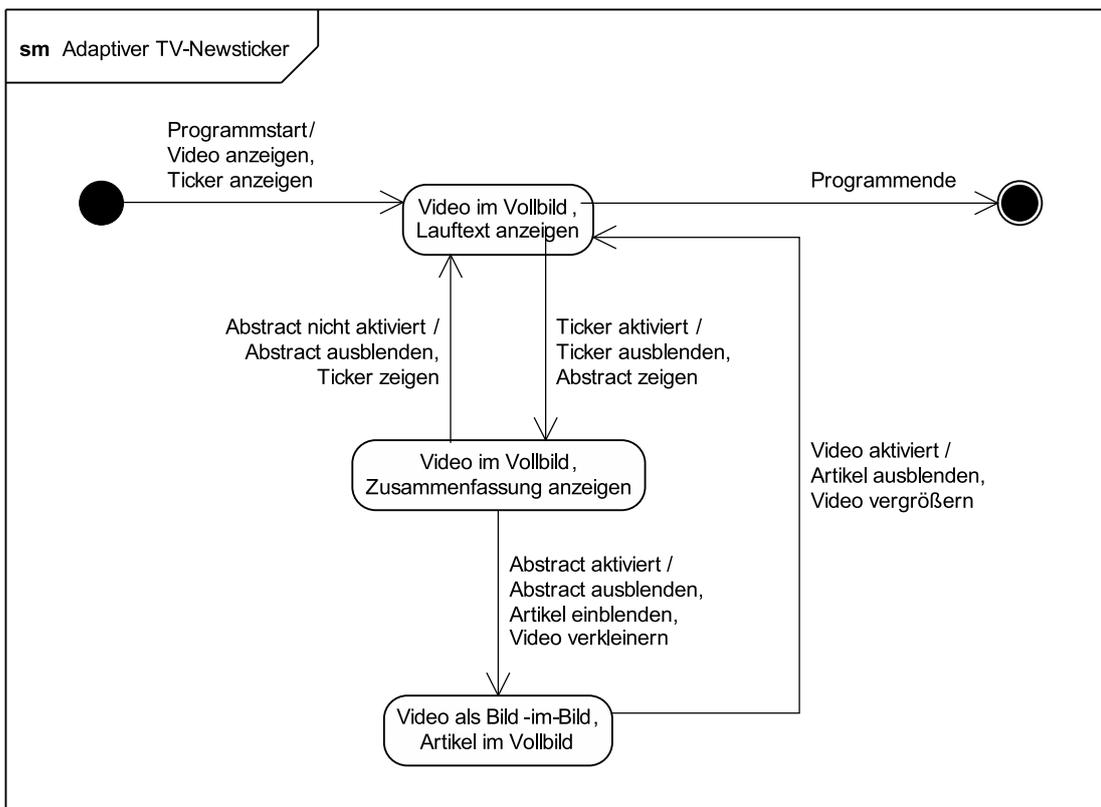


Abbildung 3.3: Zustandsdiagramm aus Benutzersicht

Laden von XML-Newsfeeds

Das Einbinden von XML-Newsfeeds aus dem Internet muss unterstützt werden. Dazu soll das System über geeignete Parser für RSS 1.0⁶, RSS 2.0⁷ und Atom 1.0⁸ verfügen.

Anzeige eines Newstickers

Die Darstellung eines Newstickers in Form einer Laufschrift am unteren Rand des Applikationsfensters muss möglich sein. Dieser Newsticker soll in der Lage sein andere Anzeigeelemente überlagern zu können. Der Newsticker soll die Schlagzeilen aus XML-Newsfeeds erhalten.

Anzeige einer Nachrichtenzusammenfassung (Abstract)

Die Darstellung einer Nachrichtenzusammenfassung (Abstract) aus XML-Newsfeeds am unteren Rand des Applikationsfensters muss möglich sein. Diese Zusammenfassung soll in der Lage sein, andere Anzeigeelemente überlagern zu können.

Anzeige von Nachrichtenartikeln

Das System muss über eine Möglichkeit verfügen die Artikel, die in den XML-Newsfeeds verknüpft sind, darstellen zu können, wenn es sich hierbei um Webseiten handelt. Die Darstellung soll das gesamte Applikationsfenster ausfüllen, kann jedoch von anderen Anzeigeelementen überlagert werden. Sollte die Darstellung eines Artikels größer sein, als das Applikationsfenster, so muss das System eine Möglichkeit bereitstellen, um den dargestellten Artikelausschnitt zu verschieben.

Unterscheidung von Sakkaden und Fixationen

Es ist hilfreich die Augenbewegungen, die mit dem Eye-Tracker erfasst werden zu filtern, um aus ihnen aussagekräftige Ereignisse zu generieren. Das System soll hierfür eine Komponente zur Extraktion und Klassifikation der Augenbewegungen bereit stellen. Hierzu sind geeignete real-time-fähige Algorithmen auszuwählen.

⁶<http://web.resource.org/rss/1.0/spec>

⁷<http://www.rssboard.org/rss-specification>

⁸<http://www.atompub.org/rfc4287.html>

Aktivierung von Anzeigeelementen

Um die Anwendungsebene weiter vom Vorgang des Eye-Trackings zu entkoppeln, soll das System eine Komponente zur Aktivierungserkennung von Bildelementen bzw. -regionen bereit stellen. Diese Komponente nutzt die erkannten Sakkaden und Fixationen, um ggf. die Aktivierung eines Anzeigeelementes bekannt zu geben. Um dem Midas-Touch-Problem (siehe Abschnitt 2.4.2) zu begegnen, sollen verschiedene geeignete Verfahren zur Aktivierungserkennung ausgewählt und implementiert werden.

Konfigurierbarkeit

Da die zu entwickelnde Lösung lediglich ein Hilfsmittel zur Untersuchung der Eignung von Eye-Tracking für benutzeradaptive TV-Newsticker ist, sollte das System umfangreiche Konfigurationsmöglichkeiten bieten. Dies ermöglicht schnelle Anpassung verschiedener Parameter ohne das Programm erneut übersetzen zu müssen. Folgendes soll konfigurierbar sein:

- Newsticker und Abstract:
 - Die zu verwendende Methode zur Aktivierungserkennung soll jeweils für beide Komponenten einstellbar und ggf. parametrisierbar sein.
 - Laufgeschwindigkeit des Textes soll jeweils für beide Komponenten einstellbar sein.
 - Schriftart, -größe und -farbe soll jeweils für beide Komponenten einstellbar sein.
 - Hintergrund- und Rahmenfarbe soll jeweils für beide Komponenten einstellbar sein.
- Anwendungsweite Optionen:
 - Die Konfigurationsoptionen sollen zur Wiederverwendung gespeichert und geladen werden können.
 - Die abzurufenden XML-Newsfeeds sollen konfigurierbar sein.
- Video-Player:
 - Datenquelle soll einstellbar sein.

3.4.3 Nichtfunktionale Anforderungen

Nichtfunktionale Anforderungen sind in ebenso großem Maße wichtig für den Erfolg einer Software, wie die funktionalen Anforderungen. Sie beziehen sich dabei oft auf das System als Ganzes – nicht auf einzelne Komponenten oder Funktionen – und schränken damit die Dienste des Systems bzw. die Rahmenbedingungen, unter denen diese Dienste erbracht werden müssen, ein.

Im folgenden Abschnitt werden die nichtfunktionalen Anforderungen in Anlehnung an die Normen ISO/IEC 9126 bzw. DIN 66272 erfasst. Die Gliederung erfolgt hier nach den Hauptqualitätsmerkmalen, die in den Normen beschrieben sind.

Funktionalität

Das Qualitätsmerkmal *Funktionalität* erfasst inwieweit die Anforderungen aus den Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2 erfüllt sind.

Insbesondere die Merkmale *Angemessenheit* und *Richtigkeit* stehen für diese Arbeit im Vordergrund. Zum einen müssen die implementierten Funktionen eine angemessene bzw. geeignete Lösung für die spezifizierten Aufgaben darstellen, damit das System überhaupt zur Evaluierung von Eye-Tracking-basierten, adaptiven TV-Newstickern geeignet ist. Zum anderen spielen richtige und genaue Ergebnisse eine zentrale Rolle, damit das System überhaupt von den Probanden angenommen und sinnvoll verwendet werden kann.

Das Merkmal *Interoperabilität* steht in dieser Arbeit grundsätzlich im Hintergrund, da es sich bei dem zu entwickelnden System um eine in sich geschlossene Anwendung mit einem eng eingegrenzten Anwendungskontext handelt. Wie bereits in Abschnitt 3.4.2 erwähnt, wäre jedoch die Wiedergabe von Videos über Netzwerkstreams (z.B. über RTP⁹) oder über DVB-T wünschenswert.

Sowohl das Merkmal *Sicherheit*, im Sinne von Schutz vor unberechtigten Zugriffen, als auch *Ordnungsmäßigkeit*, im Sinne von Normen, gesetzlichen Bestimmungen und ähnlichem, finden in dieser Arbeit keine Verwendung.

Zuverlässigkeit

Mit dem Qualitätsmerkmal *Zuverlässigkeit* ist die Fähigkeit eines Systems gemeint, seine Dienste auf einem bestimmten Leistungsniveau über einen festgelegten Zeitraum anzubieten.

⁹RTP steht für „Real-Time Transport Protocol“ und ist ein Protokoll zur Übertragung von Daten über IP-Netzwerke mit real-time-Anforderungen (Schulzrinne u. a. (2003))

Keines der typischen Merkmale *Reife*, *Fehlertoleranz*, *Robustheit*, *Wiederherstellbarkeit* oder *Konformität* trifft auf diese Arbeit zu. In der hier entwickelten, prototypischen Anwendung braucht kein ordnungsgemäßer Betrieb unter widrigen Bedingungen garantiert werden. Unerwartete Fehler dürfen also zum Beenden des Systems führen.

Die „normalen“ Umgebungsbedingungen richten sich hier in erster Linie nach dem verwendeten Eye-Tracking-Verfahren. Bei einem Kamera-basiertem Verfahren beispielsweise kann die Größe der Pupillen je nach Lichtverhältnissen variieren und somit die Erkennung und Verfolgung dieser in den Kamerabildern erschweren.

Benutzbarkeit

Über das Qualitätsmerkmal *Benutzbarkeit* wird der Aufwand für den Einsatz und die Benutzung der Software durch eine bestimmte Benutzergruppe festgehalten. Da die Usability von Eye-Tracking im Kontext benutzeradaptiver TV-Newsticker untersucht werden soll, ist dieses Qualitätsmerkmal von hoher Bedeutung.

Insbesondere im Hinblick auf *Human-Computer-Interaction* (siehe Abschnitt 2.1) sollten die Interaktion mit dem System leicht *verständlich* und einfach *erlernbar* sein, mit dem Ziel eine gute *Bedienbarkeit* und hohe Benutzerakzeptanz zu erreichen. Wenn die Probanden das System jedoch als kompliziert oder nicht intuitiv empfinden, dann lassen sich aus den entsprechenden Usability-Untersuchungen keine aussagekräftigen Ergebnisse zum eigentlichen Thema der Arbeit ableiten, sondern bestenfalls zur Brauchbarkeit der prototypischen Anwendung.

Die *Attraktivität*, also die Anziehungskraft der Anwendung auf den Benutzer, sollte auch nicht ungeachtet bleiben, da auch sie sich negativ auf die Akzeptanz auswirken könnte. Das System sollte also wenigstens so attraktiv gestaltet und präsentiert werden, dass sich ein Proband auch freiwillig damit auseinandersetzen würde.

Effizienz

Unter dem Qualitätsmerkmal *Effizienz* ist das Verhältnis zwischen der Leistung des Systems und der Menge der eingesetzten Betriebsmittel zu verstehen.

Für das System in dieser Arbeit ist das *Verbrauchsverhalten* nicht allzu wichtig, da die Software nur innerhalb eines bestimmten Kontextes zum Einsatz kommt und nicht zur allgemeinen Verwendung als TV-Ersatz gedacht ist. Das *Zeitverhalten* spielt hierbei dennoch eine zentrale Rolle, da es sonst leicht zu sog. „early trigger“- bzw. „late trigger“-Problemen (siehe Abschnitt 2.4.2) kommen kann. Zum Beispiel könnte der Benutzer versuchen eine Schlagzeile auf dem TV-Bildschirm mit seinen Blicken zu aktivieren. Eine verzögerte Erkennung der

Aktivierung durch das System, kann durch „early trigger“- bzw. „late trigger“-Problemen dazu führen, dass die Aktivierung der nächsten Schlagzeile zugeordnet wird. Das Subsystem zur Vorverarbeitung der Augenbewegungen und der Aktivierungserkennung unterliegt also weichen Echtzeit-Anforderungen. Eine Verzögerung ist zwar nicht kritisch, wirkt sich jedoch negativ auf die Benutzerakzeptanz aus.

Änderbarkeit

Der Aufwand, der für die Durchführung vorgegebener Änderungen notwendig ist, wird durch das Qualitätsmerkmal *Änderbarkeit* beschrieben.

Durch die Verwendung geeigneter Entwurfsmuster (siehe Gamma u. a. (1995)) soll eine hohe Kohäsion erreicht werden, so dass jede Software-Komponente eine wohl definierte Aufgabe erfüllt. Dies wirkt sich positiv auf den Aufwand zur Fehlersuche (*Analysierbarkeit*) aus und reduziert die Kosten für Mängelbeseitigung sowie Erweiterungen der Software (*Modifizierbarkeit*). Außerdem sinkt so die Wahrscheinlichkeit unerwarteter Seiteneffekte bei Änderungen am System (*Stabilität*) und das Testen der veränderten Software wird vereinfacht (*Testbarkeit*).

Wünschenswerte Nebenwirkungen dieses Vorgehens wären außerdem die vereinfachte Austauschbarkeit verschiedener Komponenten, um z.B. andere Filter bzw. Vorverarbeitungstechniken oder neue Mechanismen zur Aktivierungserkennung zu integrieren. Darüber hinaus erleichtert eine saubere Trennung der Verantwortlichkeiten die Wiederverwendbarkeit einzelner Softwarekomponenten. Es ist beispielsweise sinnvoll die Vorverarbeitungs- und/oder die Aktivierungserkennungs-Komponenten in eine oder mehrere eigenständige Programmbibliotheken zu extrahieren, damit auch andere Eye-Tracking-Projekte an der HAW Hamburg davon profitieren können.

Übertragbarkeit

Das Qualitätsmerkmal *Übertragbarkeit* ist ein Maß für den Aufwand der Übertragung des Systems in eine andere Umgebung. Hierbei könnte es sich sowohl um andere Hardware-, als auch Software-Umgebungen handeln.

Da in den Laboren der HAW Hamburg die Betriebssysteme Windows, Mac OS X und Linux gleichermaßen zum Einsatz kommen, sollte ein besonderes Augenmerk auf die *Anpassbarkeit* und *Installierbarkeit* der Software gelegt werden. Dies sollte also bei der Auswahl der Programmiersprache und -werkzeuge berücksichtigt werden, um den Aufwand der Portierung gering zu halten.

Kapitel 4

Design und Realisierung

In diesem Kapitel wird die Realisierung einer prototypischen Anwendung diskutiert, anhand derer die Nützlichkeit von Eye-Tracking im Zusammenhang mit TV-Newstickern untersucht werden soll. In Abschnitt 4.1 wird ein Überblick über die geplante Architektur der Lösung sowie die eingesetzten Hard- und Software-Werkzeuge gegeben. Die dort vorgestellten Schichten des Entwurfs werden anschließend in den Abschnitten 4.2 Filterung und Vorverarbeitung, 4.3 Ereigniserkennung und 4.4 Anwendungsschicht näher ausgeführt.

4.1 Grobarchitektur der Intentionserkennungsmaschine

Zur Strukturierung der Funktionalitäten der Anwendung kommt eine Schichtenarchitektur – siehe Masak (2005) – zum Einsatz. Dies hat mehrere Vorteile: Zum einen wird die Komplexität der Abhängigkeiten innerhalb des Systems verringert, zum anderen wird eine höhere Kohäsion, bei geringerer Kopplung der Schichten, erreicht. Insbesondere die geringere Kopplung und Komplexität der Abhängigkeiten erleichtert die Austauschbarkeit (z.B. um neue Algorithmen zu erproben) und Wiederverwendbarkeit (in anderen Projekten/Arbeiten) der einzelnen Schichten.

Im Folgenden sollen die in Abbildung 4.1 gezeigten Schichten jeweils kurz erläutert werden, um einen Überblick über das Gesamtsystem zu geben.

Eye-Tracking (Schicht 0)

Hier findet die Erfassung der eigentlichen Eye-Tracking-Daten statt. Mit Hilfe geeigneter Verfahren sollen die Augenbewegungen des Benutzers erfasst und auf normalisierte Koordinaten der Betrachtungsfläche – in dieser Arbeit ein PC-Monitor – abgebildet werden. Eine

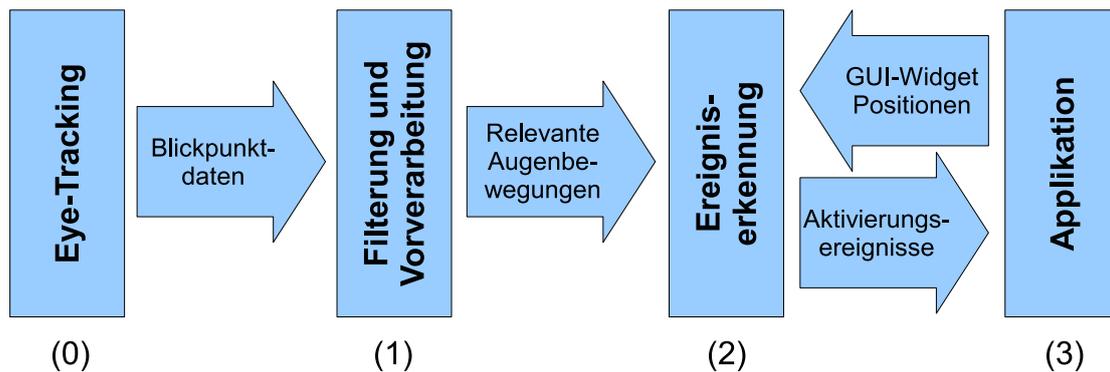


Abbildung 4.1: Grobarchitektur der Intentionserkennungsmaschine

detailliertere Beschreibung entfällt, da für die Umsetzung auf ein kommerzielles Gerät (siehe Abschnitt 4.1.1) und die entsprechende Programmierschnittstelle zurückgegriffen wurde. Die erfassten Daten werden unverändert zur nächsten Schicht – der Filterungs- und Vorverarbeitungsschicht – weitergereicht.

Filterung und Vorverarbeitung (Schicht 1)

Die Filterungs- und Vorverarbeitungsschicht hat die Aufgabe, den Strom von erfassten Augenbewegungen aus Schicht 0, zu filtern. In dieser Schicht sollen die relevanten Augenbewegungen von den irrelevanten getrennt und aufbereitet werden. Ziel ist es, das Datenaufkommen soweit wie möglich zu reduzieren, ohne dabei nützliche Daten auszulöschen oder an Genauigkeit zu verlieren. Eine ausführlichere Beschreibung folgt in Abschnitt 4.2. Die bearbeiteten Daten werden dann an die nächste Schicht – die Ereigniserkennungsschicht – weitergeleitet.

Ereigniserkennung (Schicht 2)

Aus den gefilterten Daten der Schicht 1 soll in der Ereigniserkennungsschicht die Intention des Benutzers ermittelt werden. Dazu bekommt diese Schicht aus der nächsthöheren Schicht – der Applikation – mitgeteilt, in welchen Bereichen des Bildschirms sich Elemente befinden, mit denen der Benutzer interagieren kann. Aus den gefilterten Eye-Tracking-Daten und den gemeldeten Bildschirmbereichen sollen dann, mit Hilfe geeigneter Verfahren, Aktivierungsereignisse generiert werden. Diese Schicht wird in Abschnitt 4.3 genauer beschrieben. Die erzeugten Ereignisse werden anschließend an die nächste Schicht – die Applikations- bzw. Service-Schicht – gemeldet.



Abbildung 4.2: Der X120-Eye-Tracker von Tobii Technology AB aus Tobii (2007)

Applikations- / Serviceschicht (Schicht 3)

Hier werden die, für den Benutzer sichtbaren (siehe Abschnitt 3.4 Anforderungsanalyse), Dienste zur Verfügung gestellt. D.h. hier werden Videos, Newsticker, Abstracts und ganze Artikel angezeigt. Die Bereiche, die von diesen Elementen auf dem Bildschirm eingenommen werden, werden der Schicht 2 mitgeteilt. Im Gegenzug werden die von Schicht 2 gemeldeten Aktivierungsereignisse ausgewertet und gemäß dem Zustandsdiagramm in Abbildung 3.3 abgearbeitet. Weiterführende Informationen zur Implementierung dieser Schicht finden sich in Abschnitt 4.4.

4.1.1 Verwendete Hardware

Zur Erfassung der Augenbewegungen des Benutzers kam das kommerzielle Eye-Tracking-System X120 der schwedischen Firma Tobii Technology AB (siehe Abbildung 4.2) zum Einsatz. Die Wahl fiel auf dieses System, da in den Laboren der HAW Hamburg bereits zwei dieser Geräte zur Verfügung standen.

Der X120-Eye-Tracker eignet sich aufgrund seiner Eigenschaften sehr gut für diese Arbeit:

Kamera-basiertes Tracking: Die Erfassung erfolgt Kamera-basiert und somit kontaktfrei, so dass sich der Proband während der Tests relativ natürlich und frei bewegen kann. Prinzip bedingt – es kommt die Cornea-Reflex-Methode zum Einsatz – ist die Bewegungsfreiheit des Probanden relativ eingeschränkt, da sonst die Genauigkeit stark abnimmt.

Integrierte Lösung: Alle Komponenten des Eye-Trackers sind in einem kompakten Gehäuse integriert. Der Datenaustausch erfolgt über Ethernet. Somit eignet sich der X120

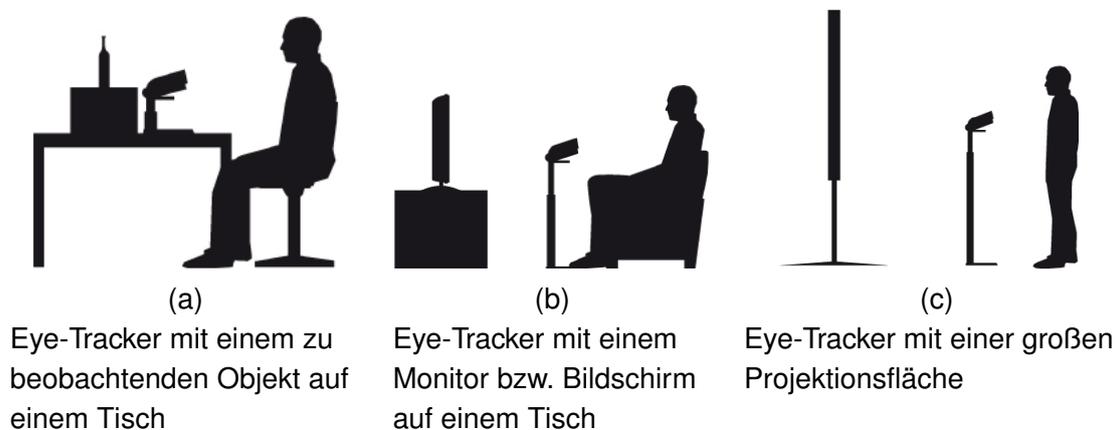


Abbildung 4.3: Vorschläge zur Positionierung des Eye-Trackers aus Tobii (2007)

gleichermaßen für Bildschirme, Projektoren oder reale Objekte, die von Probanden beobachtet werden. Der Eye-Tracker muss jedoch unterhalb des Blickfeldes positioniert werden und sollte ca. 70 cm vom Probanden entfernt sein (siehe Abbildung 4.3).

Datenerfassung: Die Erfassung der Daten erfolgt wahlweise mit 60 Hz oder 120 Hz. Der Messfehler beträgt laut Hersteller Tobii (2007) ca. 0,5°.

Ausstattung: Die mitgelieferte Windows-Software Tobii Studio erlaubt es Usability-Tests im Zusammenhang mit Eye-Tracking zu erstellen, durchzuführen, auszuwerten und die Ergebnisse für weitere Untersuchungen abzuspeichern. Daneben wird noch eine umfangreiche API¹⁰ für 32-Bit Windows-Plattformen ausgeliefert. In der API sind Kalibrierung und andere Diagnose-Tools bereits integriert. Außerdem liegen der API einige Quellcode-Beispiele bei, die den schnellen Einstieg erleichtern.

4.1.2 Verwendete Software

Zum Zwecke der Portierbarkeit war geplant die Anwendung in der Programmiersprache Java zu entwickeln. Leider steht die Programmierschnittstelle für den Tobii X120-Eye-Tracker nur für Windows-Plattformen, in Form einer COM¹¹-DLL¹², zur Verfügung. Die Anbindung einer solchen Bibliothek unter Java ist zwar grundsätzlich möglich, aber nicht trivial.

Die gewählte Architektur erlaubt es grundsätzlich die einzelnen Schichten in verschiedenen Sprachen zu implementieren und ggf. über eine geeignete Interprozesskommunikation zu

¹⁰Application Programming Interface - Programmierschnittstelle

¹¹Component Object Model - Eine Microsoft Plattform-Technologie, die sprachunabhängig Interprozesskommunikation und Objekterzeugung erlaubt.

¹²Dynamic Link Library - Programm-Bibliothek, die zur Laufzeit eingebunden wird.

verbinden. Dementsprechend wurde die Eye-Tracking-Schicht als eigenständige Anwendung in der Programmiersprache C# unter Verwendung der Tobii API entwickelt. Die Kommunikation zur nächsten Schicht findet über UDP¹³-Sockets statt.

Die Gaze-Tracking-Schicht sowie die darüber liegende Anwendung wurden in Java implementiert. Zusätzlich wurden folgende Java-Bibliotheken verwendet, die alle unter verschiedenen Open-Source-Lizenzen verfügbar sind:

Java Media Framework¹⁴ (JMF)

Ein von Sun Microsystems entwickeltes Java-Framework zur plattformunabhängigen Wiedergabe von Audio- und Videodaten. Darüber hinaus erlaubt es die Aufnahme über Mikrofone und Kameras. Ein besonderer Schwerpunkt wurde bei der Entwicklung auf leichte Erweiterbarkeit über sog. Plug-Ins gelegt, um beliebige Audio- und Videoformate zu unterstützen. Von Hause aus unterstützt JMF nur wenige und relativ selten genutzte Formate.

FFmpeg¹⁵

Das FFmpeg-Projekt stellt eine Programmbibliothek zur Verfügung, welche eine Fülle von Audio- und Videoformaten unterstützt. Diese, in der Programmiersprache C implementierte, Bibliothek wird unter anderem für Windows, Linux und Mac OS X angeboten.

Fobs4JMF¹⁶

Fobs4JMF ist eine Objekt-orientierte Wrapper-Bibliothek, die die Funktionen von FFmpeg in Form von JMF-Plug-Ins zur Verfügung. Je nach verwendeter Plattform wird automatisch die richtige native FFmpeg-Bibliothek ausgewählt und geladen.

LightWeight Java Game Library¹⁷

Eine Bibliothek, die u.a. die Verwendung von 3D-Beschleuniger-Hardware durch OpenGL (Open Graphics Library) in Java erlaubt. LWJGL greift auf native Bibliotheken zurück, die für Windows, Linux und Mac OS X verfügbar sind.

¹³User Datagram Protocol - ein verbindungsloses Netzwerkprotokoll

¹⁴<http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jmf/index.jsp>

¹⁵<http://ffmpeg.org/>

¹⁶<http://fobs.sourceforge.net/index.html>

¹⁷<http://www.lwjgl.org/>

jMonkeyEngine¹⁸

Ist eine sog. Scenegraph-basierte 3D-Engine für Java, die auf LWJGL aufbaut. Sie abstrahiert die primitiven Strukturen der 3D-Grafik und erlaubt eine einfachere Interaktion mit den Objekten einer 3D-Szene innerhalb des Programmcodes. Unter anderen unterstützt jMonkeyEngine die Integration von JMF-Videos und Java Swing-GUIs¹⁹ in 3D-Szenen.

JTidy²⁰

Eine Java-Bibliothek mit der beliebige HTML-Seiten in wohlgeformte, fehlerfreie XHTML-Dokumente überführt werden können. Häufig lassen sich nicht alle Elemente einer HTML-Seite automatisiert übertragen lassen, so dass das resultierende XHTML-Dokument nicht immer identisch aussieht, wie die Quelldatei.

Flying Saucer - XHTMLRenderer²¹

Ist eine in Java implementierte Bibliothek um XHTML-Dokumente darzustellen. Sie lässt sich von Hause aus problemlos mit Java Swing-GUIs integrieren. Erfahrungsgemäß liefern nur wenige Webseiten im Internet wohlgeformte und fehlerfreie XHTML-Dateien aus, weshalb diese sich oft nur in Verbindung mit JTidy oder ähnlichen Bibliotheken darstellen lassen.

4.2 Filterung und Vorverarbeitung

In der Filterungs- und Vorverarbeitungsschicht soll die Datenmenge, die aus Schicht 0 empfangen wird, zum einen reduziert und zum anderen so vorverarbeitet werden, dass nur aussagekräftige Augenbewegungen weitergereicht werden. Dafür werden in Abschnitt 4.2.1 zunächst die Eye-Tracking-Daten aus Schicht 0 analysiert, um einen Überblick über das typische Verhalten des eingesetzten Eye-Trackers zu gewinnen. In Abschnitt 4.2.2 wird festgehalten, welche Augenbewegungen als relevant einzustufen sind und wie diese anhand der Eingabedaten erkannt werden können. Abschließend werden in Abschnitt 4.2.3 verschiedene Verfahren zur Datenreduktion und Erkennung der Augenbewegungen diskutiert.

¹⁸<http://www.jmonkeyengine.com/>

¹⁹Graphical User Interface - Grafische Benutzerschnittstelle

²⁰<http://jtidy.sourceforge.net/>

²¹<https://xhtmlrenderer.dev.java.net/>

4.2.1 Analyse der Eye-Tracking-Daten

Typischerweise gibt es beim Eye-Tracking zwei Faktoren, die die Brauchbarkeit gegenüber anderen Zeigegegeräten (z.B. einer Computermouse) einschränken (siehe Ashmore u. a. (2005)):

Eye-Tracker-Genauigkeit: Aktuelle Eye-Tracker haben durchschnittlich einen Messfehler von $0,5\text{--}1^\circ$ bei der Bestimmung der Blickrichtung eines Benutzers. Bei einem Abstand von 70 cm zwischen Benutzer und Eye-Tracker, beträgt der Messfehler bei der Bestimmung des Blickpunktes auf einem Bildschirm, der in der selben Entfernung platziert ist, bereits $0,6\text{--}1,2$ cm. Ausgehend von einem 19" Monitor mit einer Auflösung von 1280×1024 Bildpunkten beträgt der Messfehler also $20\text{--}40$ Bildpunkte.

Fixation-Jitter: Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, kommt es selbst bei einer Fixation zu ungewollten und unbewussten Augenbewegungen (Drift, Tremor und Mikrosakkaden). Diese Miniaturbewegungen verursachen eine Abweichung des Blickwinkels von bis zu 1° .

Um diese Eigenschaften näher zu untersuchen, wurde zunächst eine Testanwendung erstellt, bei der der Benutzer aufgefordert wurde einen markierten Punkt in der Bildschirmmitte zu fixieren. Dabei wurden die gemessenen Blickpunkte gesammelt und in einer Datei für spätere Auswertungen gespeichert. Die Messdauer wurde jeweils auf zwei Sekunden begrenzt, da eine längere Fixierung eines festen Bildpunktes von der Testperson als anstrengend empfunden wurde. Es wurden knapp über 20.000, auf den Wertebereich $[0, 1]$ normierte, Messwerte zur Untersuchung aufgezeichnet.

Bei der Auswertung wurden die erwarteten arithmetischen Mittelwerte sowohl auf der x-, als auch auf der y-Achse bestätigt (der fixierte Punkt war in der Bildschirmmitte). Außerdem wurden für beide Koordinatenachsen die empirische Standardabweichung ermittelt, wobei auffällt, dass die Streuung der Messwerte auf der y-Achse fast doppelt so groß ausfällt, als auf der x-Achse.

$$\begin{aligned}\bar{x} &\approx 0,499996 & \bar{y} &\approx 0,499976 \\ \sigma_x &\approx 0,005644 & \sigma_y &\approx 0,010938\end{aligned}$$

Die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 4.4 legt nahe, für die Messwerte eine Normalverteilung anzunehmen. Auf zuvor beschriebenen Versuchsaufbau bezogen, bedeutet es, dass beim Fixieren eines festen Bildpunkts ca. 68 % aller Messwerte bis zu $0,21$ cm (auf der x-Achse) und $0,33$ cm (auf der y-Achse) abweichen (einfache Standardabweichung), bzw. ca. 95 % der Messwerte bis zu $0,42$ cm (auf der x-Achse) und $0,66$ cm (auf der y-Achse) abweichen (zweifache Standardabweichung). Die horizontalen Maße $0,21$ cm bzw. $0,42$ cm

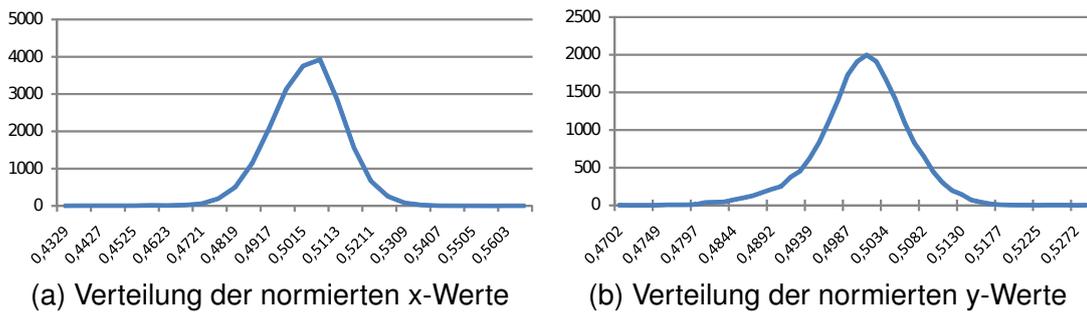


Abbildung 4.4: Häufigkeitsverteilung der Messwerte

entsprechen etwa 7 bzw. 14 Pixeln, die vertikalen Maße 0,33 cm bzw. 0,66 cm entsprechen etwa 11 bzw. 22 Pixeln.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Leistung des verwendeten Eye-Trackers sich zwar im Rahmen der Herstellerangaben aus Tobii (2007) bewegt, jedoch o.g. typische Einschränkungen bzgl. der Genauigkeit aus Ashmore u. a. (2005) dennoch zutreffen. Insbesondere im Bezug auf die Reaktionszeiten konnte keine spürbar größere Verzögerung (vgl. Charouset (2008)), als die vom Hersteller angegebenen 35 ms festgestellt werden. Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Genauigkeit, erscheint das Gerät für Echtzeit-Anwendungen gut geeignet.

4.2.2 Erkennen relevanter Bewegungen

Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, gibt es verschiedene Arten von Augenbewegungen, die für diese Arbeit unterschiedlich relevant sind. Vereinfacht ausgedrückt müssen nur zwei unterschieden werden können:

Sakkaden: Bei einer Sakkade wird das Auge auf einen neuen Punkt ausgerichtet. Während dieser Zeit nimmt das Auge fast keine Informationen auf. Sakkaden deuten an, dass der Benutzer sein Interesse auf einen anderen Punkt lenkt.

Fixationen: Bei einer Fixation wurde ein Bildbereich in die Mitte des Blickfeldes gerückt, um ihn scharf sehen zu können. Der Benutzer bekundet Interesse an der betrachteten Stelle.

Eine einfache Heuristik, um Sakkaden und Fixationen, anhand der rohen Blickpunktdaten des Eye-Trackers, zu unterscheiden, basiert auf der durchschnittlichen Dauer und Veränderung des Blickwinkels dieser Bewegungen (siehe Jacob (1991)). Sakkaden dauern typischerweise 30–120 ms an, während Fixationen etwa 200–600 ms dauern. Eine Sakkade verändert den Blickwinkel durchschnittlich um 1–40°, eine Fixation i.d.R. bis zu 1°.

Eine Erkennung und Unterscheidung der Augenbewegungen, die der Benutzer vollführt hat, reduziert den Umfang der Eye-Tracking-Daten drastisch. Aufgrund der durchschnittlichen Dauer der Augenbewegungen, sind selten mehr als fünf Fixationen pro Sekunde zu erwarten. Es kann über die verrauschten Daten der Blickwinkel, die einer Fixation zugerechnet werden, ein Durchschnitt gebildet werden.

4.2.3 Verfahren zur Sakkaden-Fixations-Erkennung

Im vorherigen Abschnitt wurde beschrieben, wie auf Basis der Daten des Eye-Trackers wieder auf Sakkaden und Fixationen geschlossen werden kann. Im Folgenden werden verschiedene Verfahren zur Sakkaden-Fixations-Erkennung in Echtzeit vorgestellt und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt.

4.2.3.1 Vergleich der Verfahren

Zur Gegenüberstellung der Verfahren wurden zwei weitere Testanwendungen entwickelt. Die erste Anwendung zeigt ein 5x5 Pixel großes Quadrat für jeweils zwei Sekunden an sieben verschiedenen Positionen auf dem Bildschirm an und protokolliert die Daten des Eye-Trackers zur späteren Auswertung in eine Datei. Der geringste Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Quadraten beträgt nur 20 Pixel. Dies entspricht der Veränderung des Blickwinkels um ca. $0,5^\circ$ bei einem Abstand von 70 cm zum Eye-Tracker bzw. zum Bildschirm und liegt somit an die Grenze der Genauigkeit des Eye-Trackers.

In der zweiten Anwendung wurden zuvor erwähnte Verfahren implementiert und auf die protokollierten Daten aus der ersten Testanwendung angewendet. Die jeweiligen Ausgaben, also die Positionen der vermuteten Fixationen aus den jeweiligen Verfahren, wurden wiederum in einer CSV²²-Datei zur späteren Visualisierung gespeichert. Hierbei sollte angemerkt werden, dass alle drei Verfahren in der Weise modifiziert worden sind, dass sie im Anschluss an eine Fixation nicht sofort die nächste Fixation melden dürfen. Stattdessen wurden absichtlich 0-Werte ausgegeben, damit in den anschließenden Grafiken sofort ersichtlich ist, ob die Verfahren zwischen zwei sehr dichten Fixationen unterscheiden (also auf 0 abfällt) oder ob sich lediglich Position der aktuell angenommenen Fixation verschiebt.

Abbildung 4.5 zeigt den Verlauf der Blickpositionen in horizontaler Richtung, die mit erstgenannter Testanwendung vom Eye-Tracker erfasst wurden. Da der Eye-Tracker mit einer Bildwiederholfrequenz von 60 Hz betrieben wurde, entsprechen 60 Einheiten auf der x-Achse des Diagramms einer Sekunde. Zum Ende der sechsten und zehnten Sekunde finden o.g. Wechsel der fixierten Blickposition um nur 20 Pixel bzw. $0,5^\circ$ statt.

²²Comma Separated Values ist Textdatei-Format zum Austausch einfach strukturierter Daten

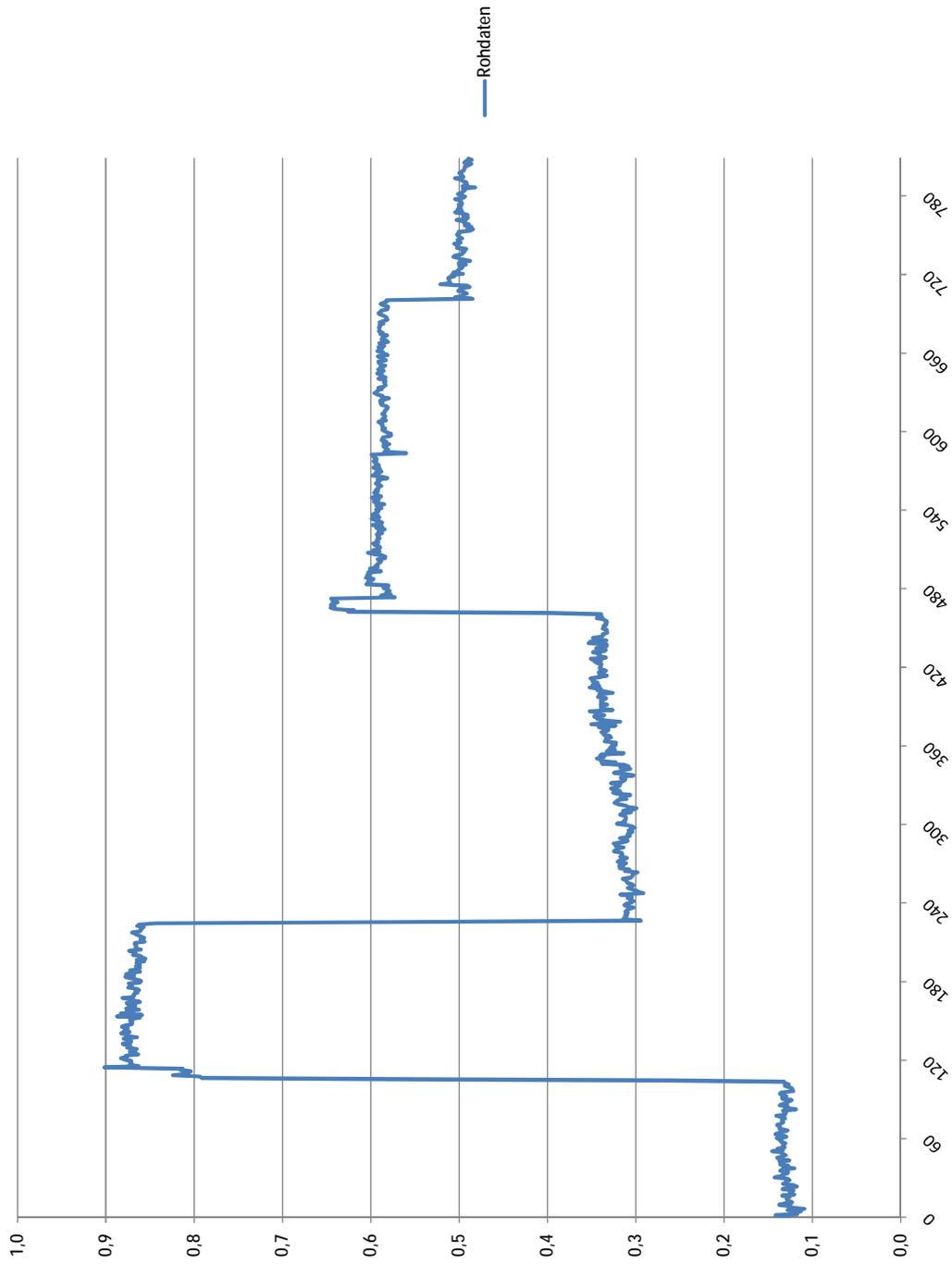


Abbildung 4.5: Verlauf Blickpositionen in horizontaler Richtung

4.2.3.2 Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Jacob (1991)

Jacob (1991) analysiert die Daten der letzten 100 ms. Bleibt der Blickwinkel innerhalb dieses Zeitfensters in einem Bereich von $0,5^\circ$, wird eine Fixation angenommen. Beendet wird eine Fixation, wenn 50 ms lang Blickwinkel außerhalb von 1° gemessen werden. Weiterhin wird vorgeschlagen, das arithmetische Mittel über alle Blickwinkel einer Fixation zu bilden. Dies wurde in o.g. Arbeit, aufgrund mangelnder Rechenleistung, jedoch nicht durchgeführt.

Dieser Algorithmus berücksichtigt einerseits die durchschnittliche Dauer von Sakkaden und Fixationen und andererseits die zu erwartenden Abweichungen des Blickwinkels. Fixationen werden zwar erst nach 100 ms erkannt, aber diese Verzögerung wird dadurch kompensiert, dass Fixationen in seiner Arbeit 150–400 ms lang sein müssen (sog. Dwell-Time), um eine Aktion auszulösen.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es sehr leicht umzusetzen ist. Als Nachteil wären die verschiedenen Schwellwerte, deren Herkunft nicht näher benannt ist und die dementsprechend einen geringen formalen Charakter haben. Die Schwellwerte $0,5^\circ$ und 1° , die den Bereich der erlaubten Abweichungen einschränken, gehen vermutlich auf die Eigenschaften des eingesetzten Eye-Trackers zurück, welcher nicht genannt wird. Die Schwellwerte von 100 ms und 50 ms um Fixationen zu beginnen bzw. zu beenden werden ebenfalls nicht begründet und scheinen daher eher Erfahrungswerte zu sein.

Abbildung 4.6 zeigt neben den verarbeiteten Blickpositionen die Ausgabe des beschriebenen Verfahrens. Grundsätzlich folgt dieses Verfahren den tatsächlichen Fixationen relativ gut. Deutlich zu erkennen ist die um 100 ms verzögerte Erkennung jeder Fixation, die jedoch je nach Anwendungszweck ausgeglichen werden kann.

Negativ fällt jedoch die Verzögerung beim Beenden einer Fixation auf, die nicht einfach ausgeglichen werden kann und leicht zu „late trigger“-Fehlern (siehe Abschnitt 2.4.2) führt. Mit der verzögerten Beendigung einer Fixation ist außerdem verbunden, dass die gemessenen Werte auch dann in die aktuell angenommene Fixation eingehen, wenn sie gar nicht mehr zu dieser gehören. Leicht erkennbar ist dies z.B. am Ende der ersten Fixation (nach zwei Sekunden).

Auch die kleinen Wechsel zwischen den Fixationen, die sich jeweils nur um $0,5^\circ$ bzw. 20 Pixel unterscheiden, werden nicht erkannt. Dies war jedoch auch nicht zu erwarten, da der Schwellwert zum Beenden einer Fixation 1° beträgt.

4.2.3.3 Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Kumar u. a. (2008)

Kumar u. a. (2008) verwenden zwei Listen: Eine für die aktuelle Fixation und eine weitere für eine mögliche nächste Fixation. Für beide Listen wird der gewichtete gleitende Mittelwert

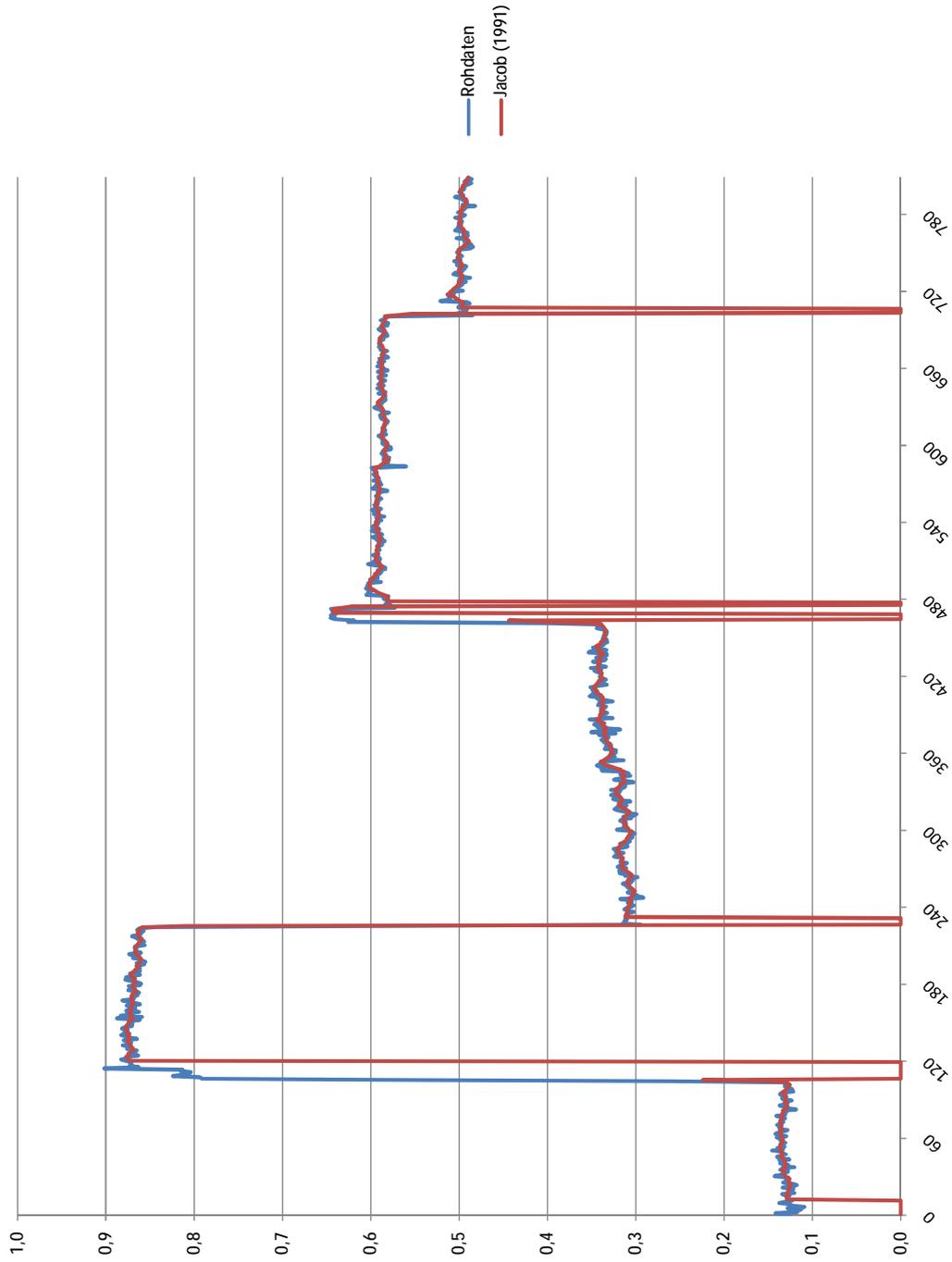


Abbildung 4.6: Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Jacob (1991)

gebildet, als Blickwinkel der aktuellen Fixation und der potentiell nächsten Fixation. Ein neu gemessener Blickwinkel wird zunächst mit diesen Mittelwerten der beiden Listen verglichen. Außerdem wird die Distanz zum jeweiligen Listen-Mittelwert mit einem bestimmten Schwellwert („slightly more than 1° of visual angle“) verglichen.

Liegt der gemessene Blickwinkel näher am Mittelwert der aktuellen Fixation und ist innerhalb des Schwellwertes, wird er in die Liste der aktuellen Fixation eingetragen. Liegt er außerhalb dieser Schwelle, dann wird die Liste der potentiell nächsten Fixation mit diesem Datenwert neu initialisiert. Sollte der neu gemessene Blickwinkel jedoch näher zum Mittel der potentiell nächsten Fixation liegen und sich innerhalb der Schwelle befinden, so wird der Datenwert in die Liste der potentiell nächsten Fixation eingetragen und diese Liste wird jetzt als aktuelle Fixation angenommen. Liegt der Wert außerhalb der Schwelle, dann wird die Liste der potentiell nächsten Fixation mit diesem Datenwert neu initialisiert.

Dieser Algorithmus ist aufwändiger zu implementieren, Kumar u. a. (2008) führen jedoch zwei Vorteile an. Erstens werden einzelne Ausreißer explizit berücksichtigt und zunächst nur als potentielle neue Fixation gehandelt. Erst beim nächsten gelesenen Wert wird dann geprüft, ob es „nur“ ein Ausreißer war oder tatsächlich der Beginn einer neuen Fixation. Zweitens erkennt der Algorithmus eine Fixation bereits beim zweiten gelesenen Datenwert, was bei Frequenz von 60 Hz einer Verzögerung von etwa 16 ms entspricht. Als nachteilig ist hier der fest vorgegebene Schwellwert von etwas mehr als 1° anzusehen, für den es auch in dieser Arbeit keine Erklärung oder Begründung gibt. Zwar wird erwähnt, dass ein Tobii 1750 Eye-Tracker zum Einsatz kommt, dieser aber eine Genauigkeit von etwa 0,5° aufweise. Dies verhindert die Erkennung zweier Fixationen, die nur bis zu 1° von einander abweichen, obwohl diese mit dem verwendeten Eye-Tracker möglicherweise unterscheidbar wären.

Abbildung 4.7 zeigt neben den verarbeiteten Blickpositionen die Ausgabe des beschriebenen Verfahrens. Auch dieses Verfahren folgt den tatsächlichen Fixationen relativ gut, gleicht aber das Rauschen besser aus. Bedingt ist dies dadurch, dass die Anzahl der Werte, über die die Fixation gemittelt wird, größer ist.

Sowohl Beginn, als auch Ende der Fixationen werden schneller erkannt, als im zuvor genannten Verfahren. Trotzdem werden auch hier die Wechsel zwischen den Fixationen, die sehr nah bei einander liegen, nicht erkannt. Wie bei Jacob (1991) wird dies durch den festen Schwellwert bedingt, der hier etwas mehr als 1° beträgt.

4.2.3.4 Sakkaden-Fixations-Erkennung unter Berücksichtigung der Streuung

Auch bei diesem Verfahren sollen zwei Listen verwendet werden. Eine Liste wird als Puffer für die letzten n gelesenen Datenwerte x_i verwendet. Die andere Liste dient als Puffer für die Datenwerte \bar{x}_i , die der aktuellen Fixation x_{fix} zugeordnet sind. Außerdem wird die, in

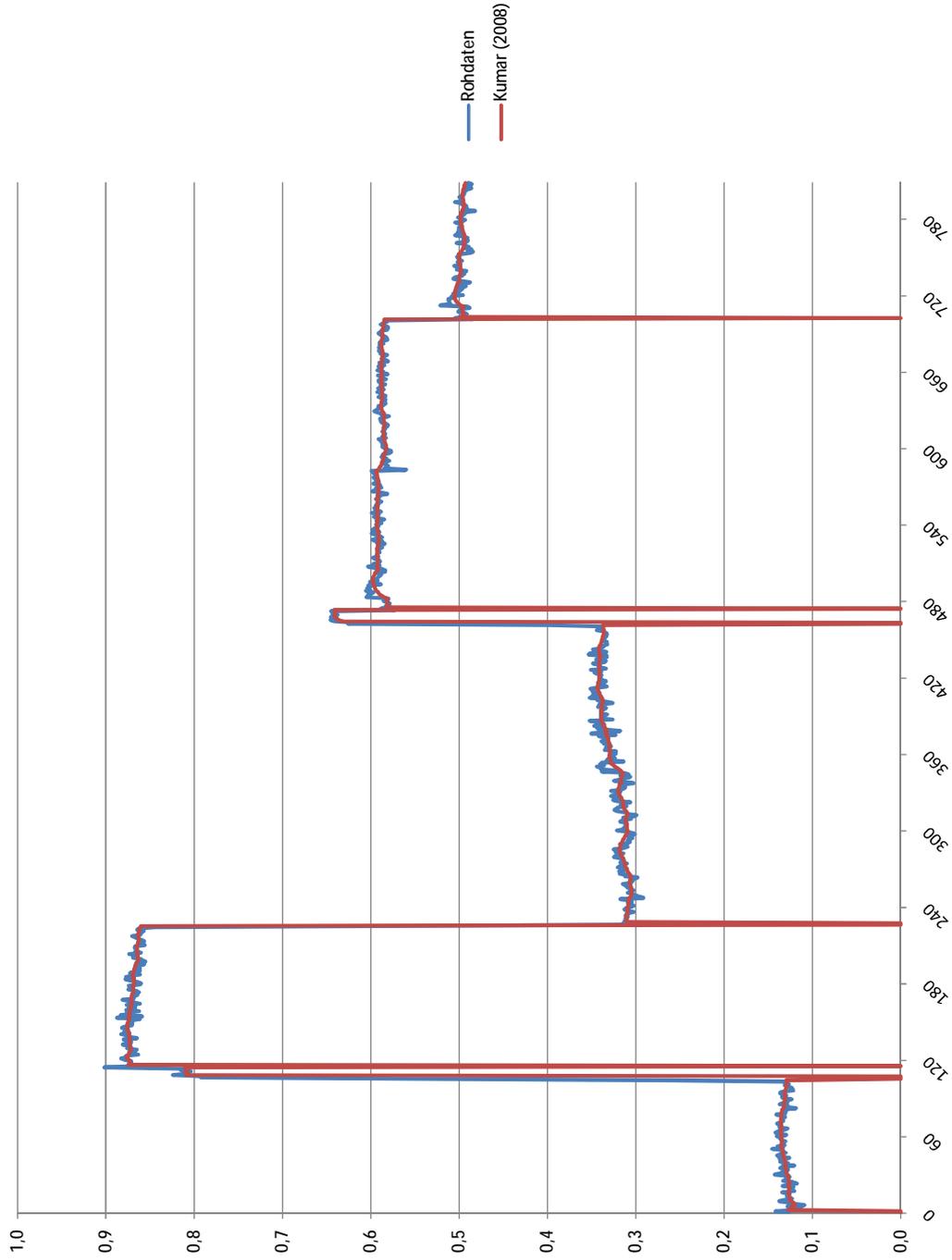


Abbildung 4.7: Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Kumar u. a. (2008)

Abschnitt 4.2.1 ermittelte, Standardabweichung σ für die Wahl der Schwellwerte herangezogen.

Der Beginn einer Fixation wird angenommen, wenn die letzten j Datenwerte weniger als ein Vielfaches der Standardabweichung σ vom Durchschnitt derselben j Datenwerte abweichen. Dieser Durchschnitt wird also als potentielle Fixation angenommen und für die j Datenwerte wird geprüft, ob sie nahe bei dieser möglichen Fixation liegen. Für j wurden die Werte 3–5 verwendet, so dass für den Beginn einer Fixation eine der folgenden Bedingungen gelten muss:

- Die letzten 3 Datenwerte weichen weniger als die einfache Standardabweichung vom Durchschnitt der letzten 3 Datenwerte ab (Wahrscheinlichkeit etwa 32%) oder
- die letzten 4 Datenwerte weichen weniger als die zweifache Standardabweichung vom Durchschnitt der letzten 4 Datenwerte ab (Wahrscheinlichkeit etwa 83%) oder
- die letzten 5 Datenwerte weichen weniger als die dreifache Standardabweichung vom Durchschnitt der letzten 5 Datenwerte ab (Wahrscheinlichkeit etwa 99%).

Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten basieren auf der Normalverteilung der Eye-Tracking-Daten (siehe Abschnitt 4.2.1) und der Annahme, dass die geprüften Datenwerte zu einer einzigen Fixation gehören. Die Fixation wird also frühestens beim dritten, spätestens jedoch beim fünften Datenwert einer Fixation erkannt. Das entspricht bei einer Frequenz von 60 Hz einer Verzögerung von etwa 33–66 ms. Die zweifache Standardabweichung entspricht der vom Hersteller angegebenen Genauigkeit von etwa 0,5°.

Diese Bedingungen sind in den Formeln (4.1) bis (4.3) festgehalten.

$$AVG(j) = \frac{1}{j} \cdot \sum_{i=n}^{n-j-1} x_i \quad (4.1)$$

$$DEV(j, k) = |AVG(j) - x_k| < (j - 2) \cdot \sigma \quad (4.2)$$

$$\exists j(3 \leq j \leq 5 \rightarrow \forall k(1 \leq k \leq j \rightarrow DEV(j, k))) \quad (4.3)$$

Das Ende einer Fixation wird angenommen, wenn der Durchschnitt der letzten j Datenwerte mehr als ein Vielfaches der Standardabweichung σ von der aktuellen Fixation abweicht. Für j wurden die Werte 2–4 verwendet, so dass für das Ende einer Fixation eine der folgenden Bedingungen gelten muss:

- Der Durchschnitt der letzten 2 Datenwerte weicht weniger als die vierfache Standardabweichung von der aktuellen Fixation ab (Wahrscheinlichkeit etwa 99,99%) oder
- der Durchschnitt der letzten 3 Datenwerte weicht weniger als die dreifache Standardabweichung von der aktuellen Fixation ab (Wahrscheinlichkeit etwa 99,99%) oder
- der Durchschnitt der letzten 4 Datenwerte weicht weniger als die zweifache Standardabweichung von der aktuellen Fixation ab (Wahrscheinlichkeit etwa 99,99%).

Für die angegebenen Wahrscheinlichkeiten gelten dieselben Annahmen, wie im Fall der Fixations-Anfangserkennung: Das „Rauschen“ des Eye-Trackers unterliegt der Normalverteilung und die aktuell angenommene Fixation wird fortgesetzt. Das Ende einer Fixation wird frühestens beim zweiten, spätestens jedoch beim vierten gelesenen Datenwert erkannt. Das entspricht bei zuvor genannter Frequenz einer Verzögerung von etwa 16–50 ms. Heftige Abweichungen führen früher zum Ende einer Fixation als schwache Abweichungen. Diese Bedingungen sind in Formel (4.4) festgehalten.

$$\forall i (2 \leq i \leq 4 \rightarrow |AVG(i) - x_{fix}| < (6 - i) \cdot \sigma) \quad (4.4)$$

Aufgrund dieser Vorgehensweise kann die Größe der Liste, die als Puffer für die letzten n Datenwerte x_i verwendet wird auf 5 Elemente begrenzt werden. Die zweite Liste wird verwendet, sobald eine Fixation festgestellt wird und enthält bis zu 36 Datenwerte \bar{x}_i (entspricht 600 ms gesammelte Daten). Die angenommene Fixation wird, wie beim Algorithmus von Kumar u. a. (2008), als (einfach) gewichtetes Mittel (Formel (4.5)) über diese zweite Liste errechnet.

$$x_{fix} = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n i} \quad (4.5)$$

Abbildung 4.8 zeigt neben den verarbeiteten Blickpositionen die Ausgabe des beschriebenen Verfahrens. Wie bei Kumar u. a. (2008) folgt die Ausgabe den tatsächlichen Fixationen etwas weicher als Jacob (1991), da die Liste der Werte, über die das Mittel gebildet wird, größer ist.

Verglichen mit Kumar u. a. (2008) werden Beginn und Ende der Fixationen teilweise langsamer erkannt, was ggf. zu „late trigger“-Problemen führen kann. Insbesondere der Wechsel zwischen Fixation der nahe beieinander liegenden Blickpositionen wird aber bei diesem Verfahren erkannt, da sich der entsprechende Schwellwert nach dem charakteristischen Verhalten des konkret verwendeten Eye-Trackers richtet.

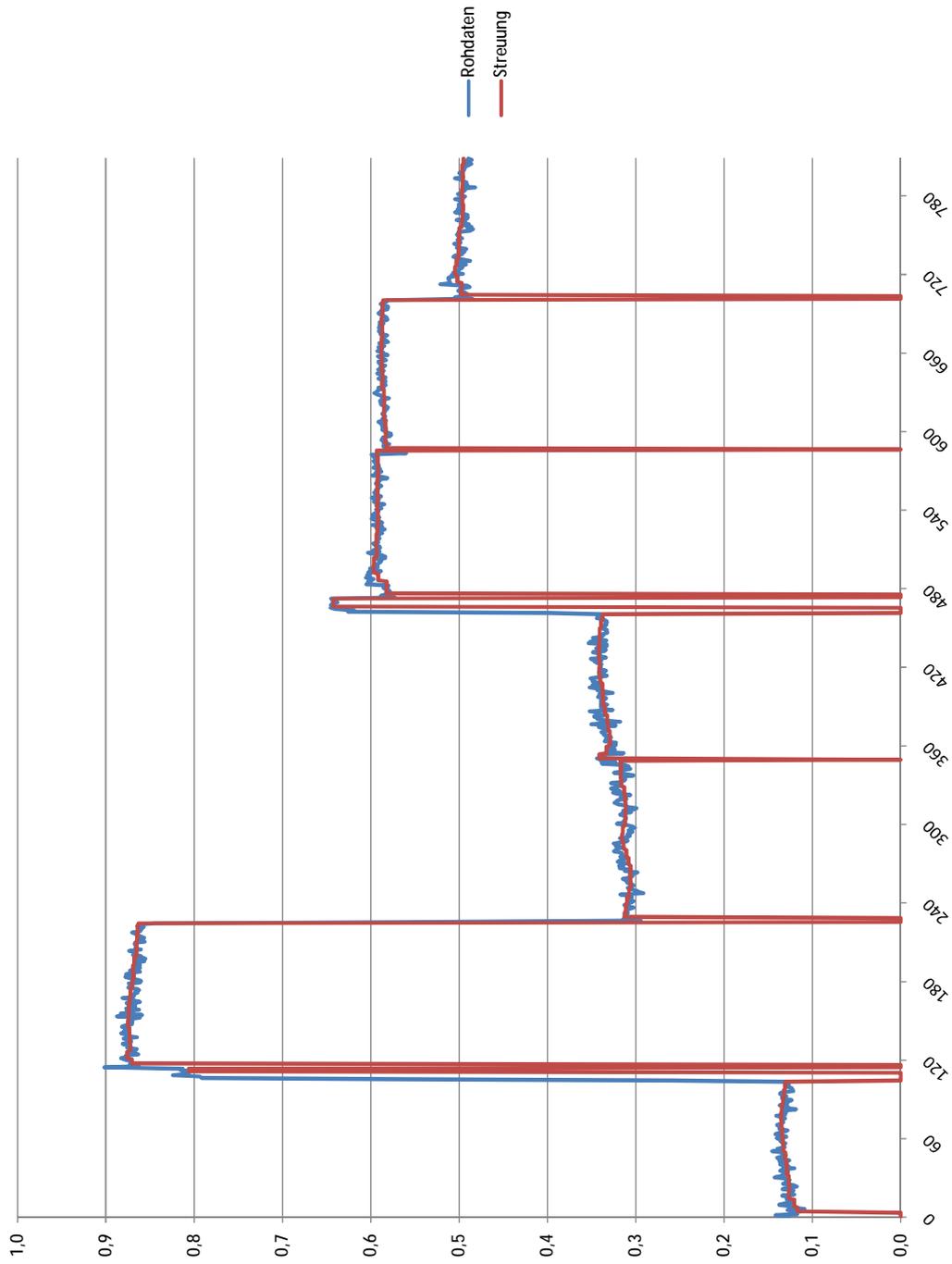


Abbildung 4.8: Sakkaden-Fixations-Erkennung unter Berücksichtigung der Streuung

4.2.3.5 Bewertung der Verfahren

Um die Verfahren bewerten zu können, muss zunächst die Aufgabenstellung berücksichtigt werden. Sie leisten zwar eine Unterscheidung von Fixationen und Sakkaden in Echtzeit, jedoch mit einer Verzögerung, die sicherlich nicht für alle Anwendungen von Eye-Tracking hinnehmbar ist.

Insbesondere beschreibt Jacob (1991), dass bei interaktiven Anwendungen Elemente der Benutzerschnittstelle dahingehend unterschieden werden können, ob sie „schwerwiegende“ Aktionen auslösen oder nicht. Eine schwerwiegende Aktion ist in diesem Kontext das Betätigen eines Buttons oder eines Menüs in der Anwendung. Also Aktionen, die schwer wieder rückgängig gemacht werden können. Um solche Aktionen durchzuführen, muss ein entsprechendes Element häufig über eine längere Zeit betrachtet werden. Eine verzögerte Fixationserkennung kann also problemlos ausgeglichen werden.

Im Gegensatz dazu werden Komponenten beschrieben, die lediglich weitere Kontextinformationen offenbaren, wenn der Benutzer sie ansieht. Hat der Benutzer das falsche Element angesehen, braucht er nur das Richtige zu betrachten, um die entsprechenden Kontextinformationen zu sehen. In diesem Fall sollte die Verzögerung bei der Erkennung einer Fixation möglichst gering gehalten werden.

Im Kontext dieser Arbeit sollen Aktionen nur durch sicher erkannte Fixationen ausgelöst werden. Da diese typischerweise wenigstens 200 ms (siehe Jacob (1991)) in Anspruch nehmen, eignen sich grundsätzlich alle drei vorgestellten Verfahren.

Der größte Nachteil der beiden erstgenannten Verfahren ist die Wahl der Schwellwerte im Bezug auf den Blickwinkel. Die Herkunft der Schwellwerte wurde in beiden Fällen weder erläutert, noch begründet, wodurch die Anwendbarkeit dieser Verfahren auf andere Eye-Tracker in Frage zu stellen ist. Um diesem Problem entgegen zu wirken, wurde im dritten Verfahren die Streuung als Schwellwert herangezogen. Diese kann dann entsprechend für jeden Eye-Tracker ermittelt und eingesetzt werden, ohne am Verfahren selbst Änderungen durchführen zu müssen. Dadurch konnte die Genauigkeit der Sakkaden-Fixations-Erkennung gesteigert werden, weshalb dieses Verfahren im Folgenden eingesetzt wird.

4.3 Ereigniserkennung

In der Ereigniserkennungsschicht soll die Aktivierung von Elementen der grafischen Benutzerschnittstelle erkannt werden. Einerseits wird dazu auf die erkannten Fixationen aus Schicht 1 (Filterung und Vorverarbeitung) zurück gegriffen, die Aufschluss darüber geben, wohin der Benutzer zurzeit auf dem Bildschirm blickt. Andererseits wird erwartet, dass

Schicht 3 (Applikations- / Serviceschicht) die Position und Größe aller grafischen Elemente meldet, für die eine Aktivierung gewünscht ist.

4.3.1 Bekanntgabe der relevanten Regionen

Zur Bekanntgabe der relevanten Regionen in der grafischen Benutzeroberfläche wurde die Schnittstellenklasse bzw. das Interface Region (siehe Abbildung 4.9), unter Verwendung des „Template method“-Entwurfsmusters nach Gamma u. a. (1995), entworfen. Die Teilung der Verantwortlichkeiten sieht vor, dass die Anwendungsschicht Objekte des Typs Region bereitstellt, über eine entsprechende Funktion bei der Ereigniserkennungsschicht anmeldet und ggf. die Attribute dieser Objekte bei Veränderungen in der grafischen Benutzeroberfläche anpasst. Aufgabe der Regions-Objekte ist zu bestimmen, ob ein beliebiges Koordinatenpaar innerhalb oder außerhalb der Region liegt. Die Ereigniserkennungsschicht kann nun die Fixationen aus der Filterungs- und Vorverarbeitungsschicht gegen die angemeldeten Regionen prüfen und bei erkannten Kollisionen weitere Schritte durchführen.

Die Verwendung des „Template method“-Entwurfsmusters ermöglicht es beliebig komplexe Regionen mittels Vererbung zu unterstützen, ohne an der Ereigniserkennungsschicht Änderungen durchführen zu müssen. In der entwickelten prototypischen Anwendung wurden zunächst drei Regionen implementiert: Rechteck, Dreieck und Kreis. Die Seiten der Rechteck-Klasse sind der Einfachheit halber an den Koordinatenachsen ausgerichtet, also genau senk- und waagrecht. Da die Blickpositionen des Eye-Trackers typischerweise nicht exakt sind, wurden die Regionen bereits so implementiert, dass sie sich selbstständig entsprechend vergrößern. Der Betrag der Vergrößerung ergibt sich aus der ermittelten Streuung des Eye-Trackers (normiert zwischen 0 und 1) und der Bildschirmauflösung.

Außerdem wurde unter dem Namen KomplexeRegion eine vierte Region-Klasse entwickelt. Diese erlaubt es, unter Verwendung des „Composite“-Entwurfsmusters nach Gamma u. a. (1995), beliebige Regionen in einem Objekt zu kombinieren und wie eine Region zu behandeln.

4.3.2 Verfahren zur Ereignisaktivierung

Wie in Kapitel 2 Grundlagen beschrieben, reicht es ggf. nicht aus eine Fixationen, die auf einem Button stattfindet, als Aktivierung anzusehen bzw. zu melden. Das Ergebnis wäre das sog. Midas-Touch-Problem, also die Aktivierung aller Buttons, die man kurz betrachtet. Die Erkundung einer Anwendung wäre unmöglich. Zur Bewältigung dieses Problems wurden zwei gut untersuchte Verfahren vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit angewendet werden.

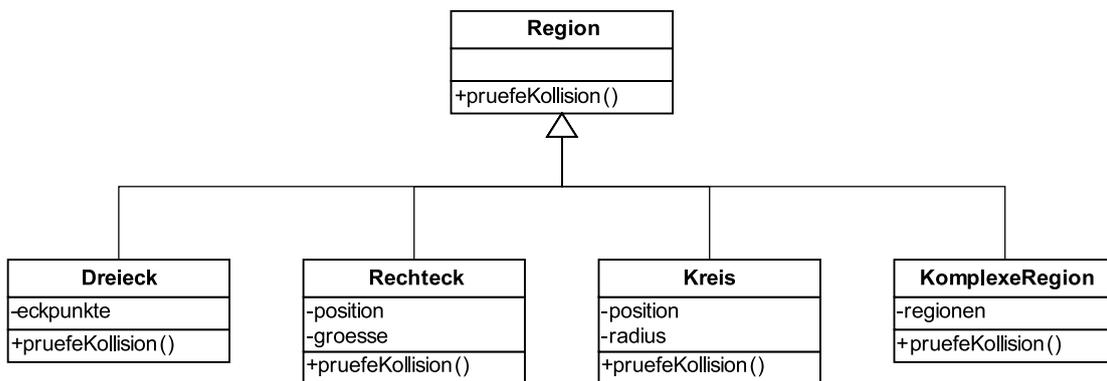


Abbildung 4.9: Klassendiagramm für Schnittstellenklasse Region

Durch die Verwendung des „Observer“-Entwurfsmusters (Gamma u. a. (1995)) in den zuvor erläuterten Region-Klassen können erkannte Aktivierungsereignisse an die Applikationsschicht zurückgemeldet werden. Die Region-Instanzen sind hierbei die Observables, die Klassen der Applikationsschicht als Observer aufnimmt. Hierdurch wird eine losere Kopplung zwischen den beiden Schichten erreicht.

4.3.2.1 Dwell-Time-basiertes Tracking

Bei dieser Methode wird Interesse *passiv* ausgedrückt. Es wird erkannt, wenn ein Benutzer über einen bestimmten Zeitraum hinweg ein Bildelement ansieht. Die Länge dieses Zeitraums sollte sich i.d.R. nach der Komplexität des zu betrachteten Objekts richten. Auf den Anwendungsfall bezogen sollten lange Schlagzeilen im TV-Newsticker eine längere Dwell-Time haben, als kurze Schlagzeilen. Für die Usability-Untersuchung wurden zwei verschiedene Aktivierungsmechanismen implementiert.

Zum einen gibt es einen Modus mit *statischer* Dwell-Time. Hier ist der Aktivierungszeitraum bei allen Regionen gleich lang. Da die dargestellten Schlagzeilen nicht die gleiche Länge haben werden, muss eine Dauer gefunden werden, die es dem Benutzer in jedem Fall erlaubt die Schlagzeile zu lesen, ohne sie versehentlich zu aktivieren. Dieser Nachteil steht dem Vorteil gegenüber, dass ein Benutzer nach einer gewissen Eingewöhnungsperiode ein Gefühl dafür entwickeln wird und somit den Prozess der Aktivierung möglicherweise besser steuern kann.

Zum anderen gibt es einen Modus mit *dynamischer* Dwell-Time. In diesem Fall richtet sich der Aktivierungszeitraum nach der Größe der Region. So müssen kurze Schlagzeilen zur Aktivierung proportional weniger lange betrachtet werden, als lange Schlagzeilen. Hier kann der Benutzer relativ schlecht voraussehen wie lange er ein Element noch fixieren muss, bis es aktiviert wird. Bei gleichmäßiger Lesegeschwindigkeit über verschiedene Schlagzeilen

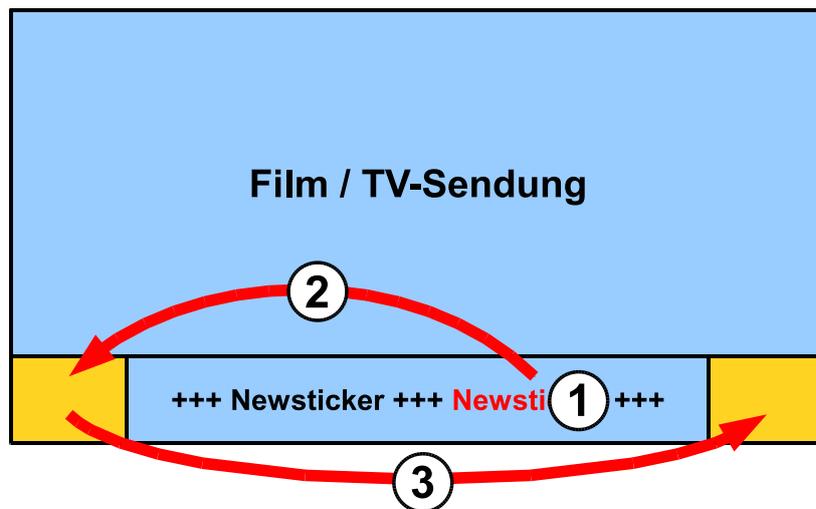


Abbildung 4.10: Schematische Darstellung des Gesten-basierten Aktivierungsmechanismus

hinweg, dürfte die zusätzliche Zeit zur Aktivierung der Region also in etwa konstant sein. Hierdurch sollte ein Benutzer nach einer gewissen Eingewöhnung also auch in der Lage sein abzuschätzen, wie lange eine Schlagzeile nach dem eigentlichen Lesen noch zu betrachten ist.

4.3.2.2 Gesten-basiertes Tracking

Bei dieser Methode wird das Interesse *aktiv* ausgedrückt. Der Benutzer muss der Reihe nach verschiedene Punkte auf dem Bildschirm fixieren. Dies muss zum einen in der richtigen Reihenfolge geschehen und zum anderen gewöhnlich innerhalb eines bestimmten Zeitfensters. Eine schematische Darstellung der konkreten Umsetzung für diese Arbeit ist in Abbildung 4.10 zu sehen. In der Anwendung müsste ein Benutzer im ersten Schritt eine Schlagzeile oder Zusammenfassung betrachten. Ist er an mehr Informationen interessiert, dann bekundet er dies indem er mit seinen Blick eine Geste von links-nach-rechts über den Bildschirm durchführt.

Hierfür werden je ein farblich pulsierendes Feld in der unteren linken sowie der unteren rechten Ecke des Bildschirms angezeigt. Diese muss der Benutzer nacheinander fixieren, damit eine Geste ausgelöst wird. Dadurch kann der Aufwand zur Erkennung der Geste dahingehend reduziert werden, dass nicht mehr alle erfassten Blickpositionen des Eye-Trackers untersucht werden müssen, sondern das Problem auf eine Folge von Fixationen reduziert wird.

Die farblich pulsierenden Feldern haben zwei Funktionen. Erstens vereinfachen sie die Start-Stop-Erkennung bei der Erfassung der Gesten (vgl. Heitsch (2008)) und reduzieren somit

den Grad der Komplexität der Gesten-Erkennung. Zweitens wirken sie dem Problem entgegen, dass es viele Menschen als schwierig empfinden bestimmte Bereiche anzuschauen, ohne einen festen Bezugspunkt zur Informationsaufnahme fixieren zu können (vgl. Kumar (2007)). Diese Felder sollen also einen intuitiveren Umgang mit dem System ermöglichen, da beim Fixieren einer Schlagzeile erst das linke Feld pulsiert und erst bei Fixation des linken Feldes das rechte zu pulsieren beginnt. Der Benutzer wird so bei der Aktivierung einer Schlagzeile geleitet und erhält außerdem darüber Feedback, in wie weit seine Blicke erkannt und interpretiert wurden.

4.4 Applikationsschicht

Die Applikationsschicht setzt die eigentliche Anwendung um, also die Wiedergabe von Videos sowie die Darstellung des Newstickers und der Newsartikel. Neben dem Architektur-entwurf, soll auch die eigentliche Anwendung kurz vorgestellt werden.

4.4.1 Architekturentwurf

Für die Umsetzung der TV-Anwendung wurde auf das MVC²³-Architekturmuster (siehe Reenskaug (2003)) zurückgegriffen. Bei MVC wird eine Anwendung in drei Einheiten geteilt, denen jeweils bestimmte Verantwortlichkeiten und Aufgaben zugeteilt sind. Dies wirkt sich positiv auf die Wartbarkeit und Erweiterbarkeit des Systems aus, da eine lose Kopplung zwischen dem Modell und der Präsentation gefördert wird. Diese drei Einheiten werden nun sowohl allgemein umrissen, als auch deren konkrete Rolle in der Anwendung vorgestellt. Einen Überblick über die Architektur gibt Abbildung 4.11.

Modell

Das Modell repräsentiert i.d.R. die Abbildung eines bestimmten Ausschnitts der realen Welt und ist typischerweise soweit wie möglich vereinfacht. Das Modell kann je nach Komplexität der Problemstellung aus einer beliebig großen Struktur von Objekten bestehen. Innerhalb des MVC-Architekturmusters hat das Modell keine direkten Abhängigkeiten zu den Teilen View und Controller. Solche Abhängigkeiten können jedoch indirekt unter Verwendung des „Observer“-Entwurfsmusters (siehe Gamma u. a. (1995)) realisiert werden.

In der Anwendung umfasst das Modell folgende Klassen:

²³Model-View-Controller

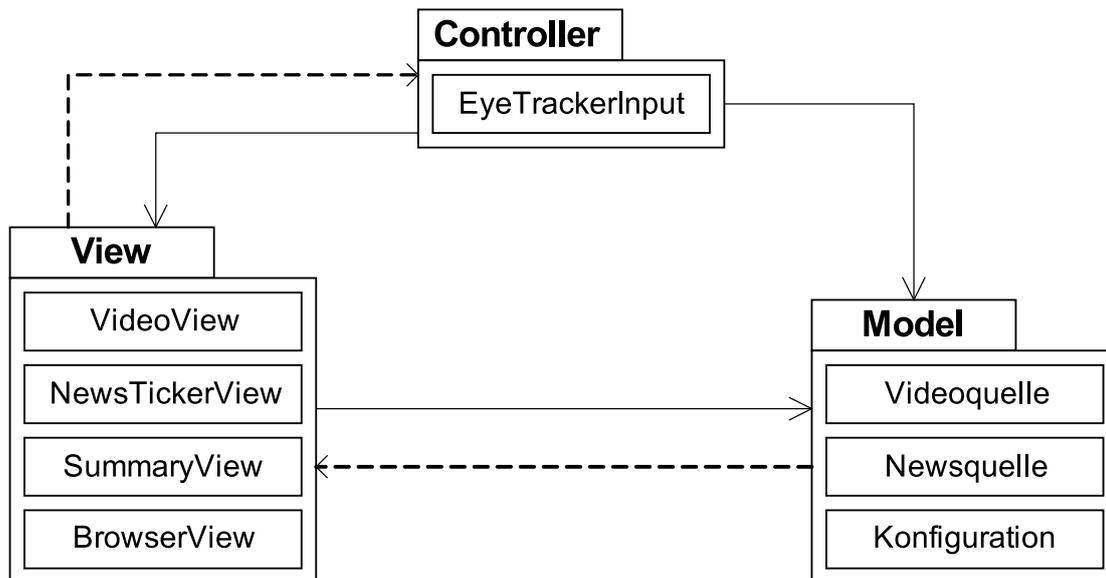


Abbildung 4.11: Architekturentwurf der Applikationsschicht

- **Videoquellen:**

Den Anforderungen (siehe Abschnitt 3.4) entsprechend sollten für die Applikation verschiedene Datenquellen für die Wiedergabe von Videos zur Verfügung stehen. Das Interface Videoquelle stellt hierfür eine einheitliche Schnittstelle zum Rest der Anwendung zur Verfügung. Ein solches Objekt hat zur Aufgabe, Audio- und Videodaten zur Verfügung zu stellen. Im Rahmen dieser Arbeit existiert lediglich eine Implementierung, um Video-Dateien von einem lokalen Datenträger abzuspielen. Weitere Implementierungen sollten beispielweise Videodaten über Netzwerkstreams oder etwa DVB-T-Empfänger anbieten.

- **Newsquelle:**

Newsquellen stellen Schlagzeilen, Zusammenfassungen und die URLs²⁴ zu Nachrichtenartikeln zur Verfügung. Die Klasse RssNewsQuelle kann dazu verwendet werden, um diese Informationen aus sog. RSS-XML-Newsfeeds (siehe Abschnitt 3.1.2) abzurufen und bei Bedarf zu aktualisieren. Für die Usability-Untersuchungen können dann vorbereitete XML-Dateien von der lokalen Festplatte verwendet werden, um für alle Testpersonen die gleichen Voraussetzungen zu schaffen. Weitere Implementierungen könnten beispielsweise E-Mail-Postfächer überwachen und dementsprechend Betreff, ersten Absatz und einen Verweis auf die komplette E-Mail bereit stellen.

- **Konfiguration:**

²⁴Uniform Resource Locator - URLs identifizieren und lokalisieren eine Ressourcen in Computernetzwerken

Die Konfigurationsklasse ist für die Persistenz der festgelegten Optionen zuständig und stellt diese Einstellungen für die Applikation bereit. Hier wurde lediglich eine Implementierung erstellt, die sich des Serialisierungs-Mechanismus von Java bedient, um die Daten persistent zu machen. Weitere Implementierungen könnten z.B. andere Mechanismen, wie Datenbanken oder Webservices zur Speicherung der Konfiguration verwenden.

View

Als View wird die Visualisierung des Modells für den Benutzer bezeichnet und stellt somit eine spezielle Sicht auf das Modell dar. Ein wichtiges Merkmal von Views ist, dass wahlweise nur bestimmte bzw. relevante Aspekte des Modells dargestellt werden können. Üblicherweise besteht zum Modell hin eine eher feste Kopplung, da die entsprechenden Klassen bzw. Schnittstellen direkt referenziert werden. In umgekehrter Richtung wird i.d.R. das „Observer“-Entwurfsmuster verwendet, um das Modell unabhängig von den verschiedenen Views zu halten.

In der Anwendung wird zur Ausgabe auf den Bildschirm auf die Bibliothek JMonkeyEngine (siehe Abschnitt 4.1.2) zurückgegriffen. Hierbei können die verschiedenen Aspekte der Visualisierung, also Video-Wiedergabe, Newsticker oder Newsartikel, in eigenen Klassen implementiert und bei der Ausgabe beliebig kombiniert werden.

Controller

Die Komponente Controller hat zur Aufgabe die Eingaben des Benutzers aufzunehmen, ggf. zu interpretieren und bei Bedarf zu behandeln. Üblicherweise beinhaltet der Controller keine Logik, die in den Verantwortungsbereich von Model oder View fällt. Die korrekte Behandlung von Eingabe beschränkt sich also darauf, entsprechende Nachrichten an View oder Model zu senden. Diese können sich dann wieder gegenseitig über Änderungen informieren. Der Controller referenziert also Model und View direkt, während auf umgekehrten Wege, vom View zum Controller, wiederum das o.g. Entwurfsmuster „Observer“ zur Anwendung kommt.

In der vorliegenden Anwendung nutzt der Controller sowohl die Konfigurationsinformationen aus dem Model, als auch die Positionen der grafischen Elementen aus dem View. Mit diesen Daten steuert er die Ereigniserkennungsschicht und erhält im Gegenzug Aktivierungsereignisse, wenn diese auftreten. Diese Ereignisse werden dann an das View zur Behandlung weitergeleitet.

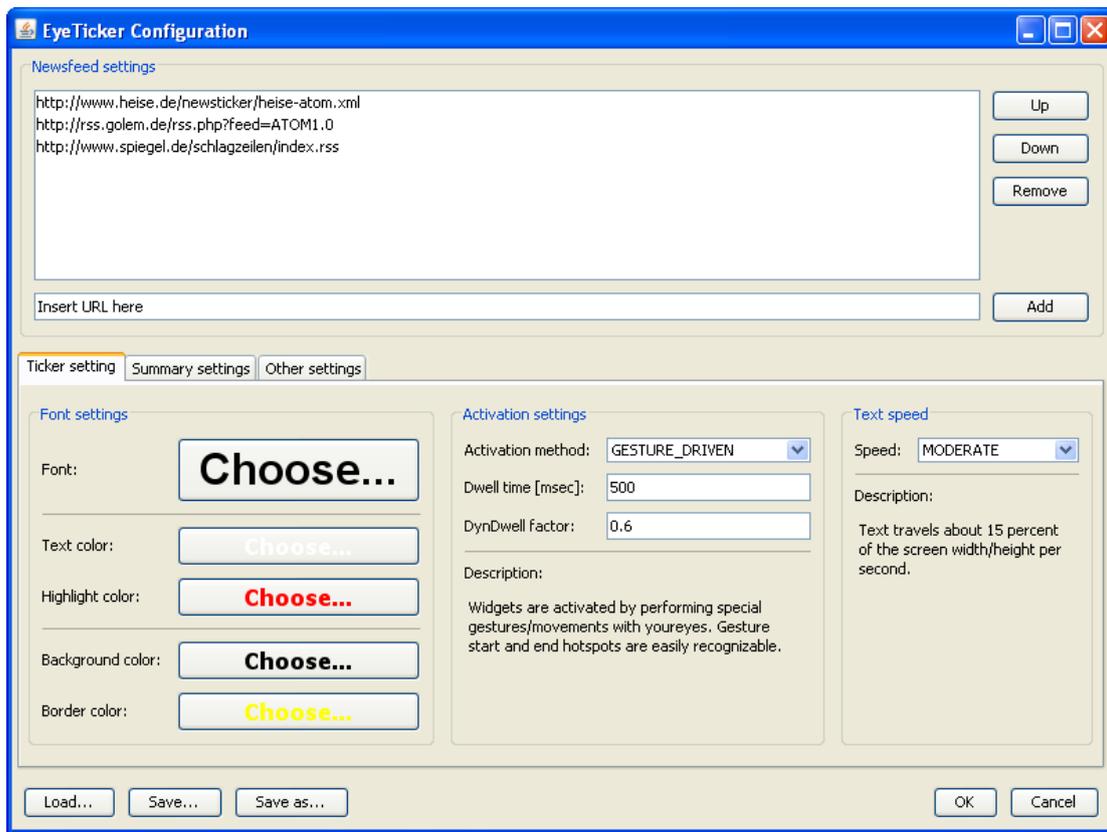


Abbildung 4.12: Screenshot mit Konfigurationsformular

4.5 Fazit

Das entwickelte System besteht zum einen aus einer eigenständigen C#-Anwendung, die alle vorgestellten Verfahren zur Sakkaden-Fixations-Erkennung implementiert. Der Rest des Systems wurde in Java implementiert und beinhaltet sowohl den Gesten-basierten, als auch die beiden Dwell-Time-basierten Aktivierungsmechanismen.

Da die Anwendung später für Usability-Tests herangezogen werden sollte, wurde ein besonderes Augenmerk auf die Konfigurierbarkeit gelegt. In Abbildung 4.12 ist das Konfigurationsformular zu sehen, über welches viele Parameter des Systems festgelegt werden können. Ganze Konfigurationen können in Dateien gespeichert werden, damit z.B. alle Testpersonen dieselben Konfigurationen testen können und somit eine bessere Vergleichbarkeit gewährleistet wird.

Wird die Anwendung über das Konfigurationsformular gestartet wird die konfigurierte Videoquelle abgespielt und die eingestellten XML-Newsfeeds werden geladen und am unteren

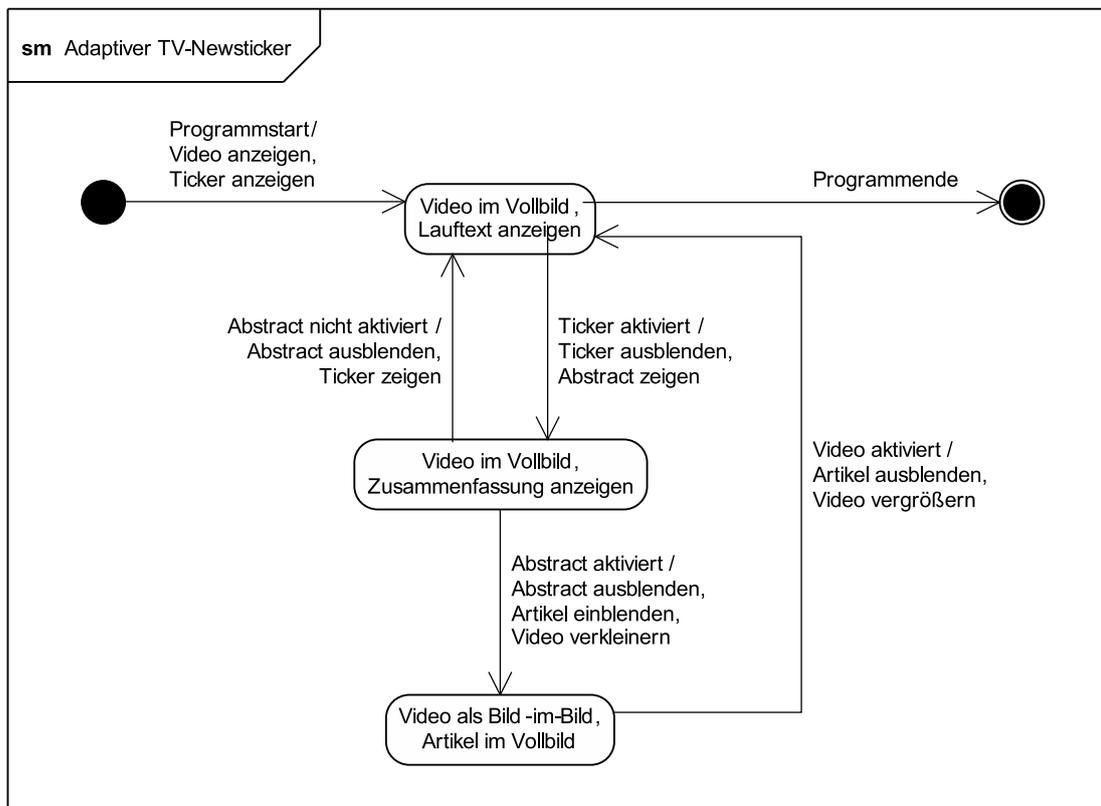


Abbildung 4.13: Zustandsdiagramm aus Benutzersicht

Bildschirmrand dargestellt. Das Erscheinungsbild des Newstickers, wie Schriftart, -größe, -farbe und weitere Parameter können über das o.g. Konfigurationsformular bestimmt werden.

Aus Sicht des Anwenders erfolgt die Interaktion mit dem System, wie in Abschnitt 3.4.1 beschrieben, drei-stufig (siehe Abbildung 4.13). Wird eine Schlagzeile und anschließend auch die entsprechende Zusammenfassung aktiviert, dann wird das Video verkleinert dargestellt und der gewünschte Artikel wird bildschirmfüllend angezeigt. Diese drei Schritte sind in Abbildung 4.14 gut zu erkennen.

Eine deutliche Einschränkung stellt hier die Zeit dar, bis der entsprechende Nachrichtenartikel tatsächlich angezeigt wird. Nach der Aktivierung der Zusammenfassung wird bereits das Video verkleinert, um Platz für den Artikel zu schaffen. Bis zur Anzeige des Artikels vergehen aber zwischen 2-4 Sekunden. Den größten Teil dieser Zeit beansprucht die XHTMLRenderer-Bibliothek. Im Rahmen der Usability-Untersuchung werden die Benutzer auf dieses Problem hingewiesen.

Da viele Artikel mehr als eine Bildschirmseite umfassen wurde außerdem ein Mechanismus zum Scrollen im Artikel vorgesehen. Hierbei wird der Bildschirm von oben nach unten

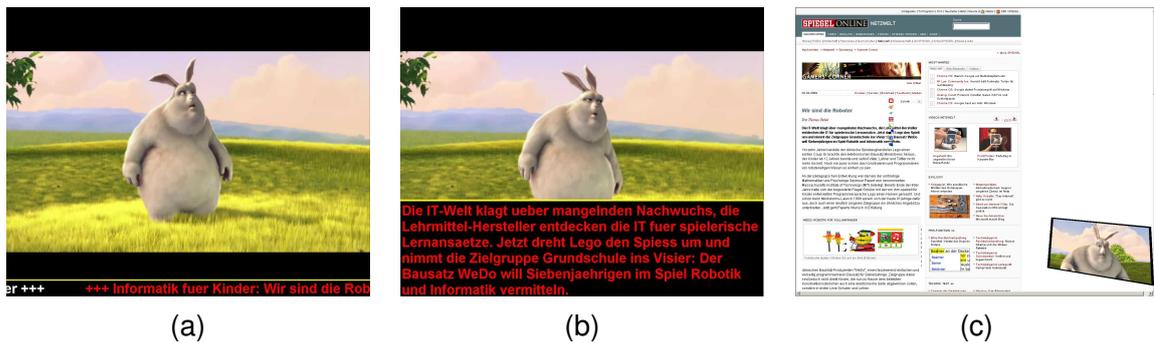


Abbildung 4.14: Drei-stufige Interaktion mit dem System

gedrittelt. Ruht der Blick des Benutzers im oberen oder unteren Drittel, dann wird der sichtbare Bereich in diese Richtung über den Artikel verschoben. Je weiter der Blick zum oberen bzw. unteren Rand gerichtet ist, desto schneller verschiebt sich die Darstellung. Je näher der Blickpunkt sich dem mittleren Drittel nähert, desto langsamer verschiebt sich die Darstellung. Ruhen die Augen im mittleren Drittel des Bildschirms, verschiebt sich der sichtbare Bereich gar nicht.

Kapitel 5

Usability-Untersuchungen

In diesem Kapitel wird die Vorbereitung (Abschnitt 5.1) sowie die Durchführung (Abschnitt 5.2) der Usability-Untersuchung des entwickelten Systems beschrieben. Die Ergebnisse der Tests werden hier ausgewertet und diskutiert (Abschnitt 5.3).

5.1 Vorbereitung der Untersuchung

Im Vorfeld einer Usability-Untersuchung muss das Ziel der Untersuchung formuliert und die Zielgruppe festgelegt werden. Stehen diese Parameter fest, muss weiterhin bestimmt werden, welche Teile des Systems getestet werden und wie diese Tests durchgeführt werden sollen. Am Schluss sollten Überlegungen stehen, wie man den Verlauf der Tests sinnvoll bzw. auswerten kann und welche Fragen ggf. im Rahmen einer Befragung gestellt werden sollen. Diese Problemstellungen werden in den folgenden Abschnitten beantwortet.

5.1.1 Ziel der Usability-Untersuchungen

Das Ziel der Usability-Untersuchungen ist es, zu ermitteln, ob Eye-Tracking ein geeignetes Mittel zur Interaktion mit TV-Newstickern darstellt. Neben der Frage, wie sinnvoll eine solche Anwendung von Eye-Tracking im Allgemeinen ist, soll weiterhin evaluiert werden, inwieweit die vorgeschlagenen Mechanismen zur Interaktion (vgl. Abschnitt 4.3.2) brauchbar sind. Da bei den Untersuchungen nur relativ grundlegende Probleme behandelt werden sollen, ist der in Kapitel 4 vorgestellte Prototyp völlig ausreichend, auch wenn hier nicht alle Funktionalitäten einer realen TV-Software abgebildet werden.

Durch die Beantwortung dieser Fragen, kann die Richtung weiterer Entwicklungen und Untersuchungen gesteuert werden.

5.1.2 Definition der Zielgruppe

Damit die Ergebnisse einer Usability-Untersuchung aussagekräftig sind, müssen u.a. die Testpersonen auch die Zielgruppe der eigentlichen Anwendung im realen Umfeld widerspiegeln. Da die Zielgruppe des entwickelten Systems im Prinzip alle TV-Zuschauer mit einschließt, müssten auch Testpersonen aller Altersgruppen, sozialen Schichten sowie beider Geschlechter gleichermaßen berücksichtigt werden. Dies würde jedoch den Rahmen dieser Bachelorarbeit bei weitem sprengen, so dass in dieser vorläufigen Untersuchung die Zielgruppe stark eingeschränkt wurde.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Zielgruppe auf technikaffine, junge Menschen festgelegt, so dass hierfür die Studierenden der Fakultät Technik und Informatik der HAW Hamburg herangezogen werden konnten. Grundsätzlich sollte das Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Probanden ausgeglichen sein, was sich jedoch aufgrund des geringen Anteils weiblicher Studierender an der vorgenannten Fakultät als schwierig erwies.

5.1.3 Ablaufplanung der Tests

Im entwickelten System kann das Interesse des Benutzers sowohl passiv (über die sog. Dwell-Time, vgl. Abschnitt 4.3.2.1), als auch aktiv (über Gesten, vgl. Abschnitt 4.3.2.2) erkannt werden. Im Falle der passiven Erkennung, kann weiterhin zwischen statischer und dynamischer Dwell-Time unterschieden werden. Die einzelnen Mechanismen können umfassend über die Konfigurationsschnittstelle des Systems eingerichtet werden und die Konfigurationen gespeichert werden.

Alle drei dieser Mechanismen zur Interaktion mit dem TV-Newsticker über Eye-Tracking sollen im Rahmen der Untersuchungen evaluiert werden. Dementsprechend ergeben sich drei Testphasen. Jeder Testphase geht eine sog. Spielphase voraus. In den Spielphasen haben die Probanden die Möglichkeit die Systemkonfiguration des anschließenden Tests kennen zu lernen und sich mit dem System vertraut zu machen. So kann den Testpersonen zum einen die Furcht vor dem unbekanntem System und etwaigen Anwenderfehlern genommen werden. Zum anderen werden die Fehler bei der Benutzung in der eigentlichen Testphase reduziert, so dass System-bedingte Probleme in Vordergrund rücken.

Für die Durchführung der Tests wurden insgesamt vier XML-Newsfeeds mit je 20 verschiedenen Nachrichten vorbereitet. Einer dieser Newsfeeds wird lediglich für die Spielphasen verwendet, während die anderen drei Newsfeeds je einer Testphase zugeordnet sind. In diesen drei Newsfeed-Dateien ist in fünf Nachrichten das Schlüsselwort „Informatik“ enthalten (siehe Anhang A).

Für die Testphasen werden Probanden angewiesen alle Nachrichten zu lesen, sich jedoch nur für Nachrichten mit dem Schlüsselwort „Informatik“ zu interessieren. Sowohl diese Nach-

richten, als auch deren jeweilige Zusammenfassung soll von den Benutzern aktiviert werden. Der vollständige Nachrichtenartikel, der anschließend im Browser erscheint, braucht nicht gelesen zu werden. Hier sollen die Benutzer wieder Interesse für den laufenden Film zeigen. Zur objektiven Erfassung der Effektivität des Systems wird protokolliert, wie oft Fehler gemacht werden. Als Fehler wird gewertet, wenn eine Nachricht mit Schlüsselwort nicht aktiviert oder eine Nachricht ohne Schlüsselwort aktiviert wird.

Darüber hinaus findet nach jeder der drei Testphasen eine Befragung statt. Die Befragung besteht aus einigen offenen Fragen und wird mit einem Fragebogen, der Skalierungsfragen enthält, abgeschlossen. Die offenen Fragen sollen den Probanden die Möglichkeit geben, auch Aspekte anzusprechen, die im Fragebogen gar nicht berücksichtigt werden. Der Fragebogen bezieht sich auf die vier Aspekte Erlernbarkeit, Effektivität, Effizienz und subjektive Zufriedenheit, die im Rahmen der Usability eines Systems eine bedeutende Rolle spielen (siehe Abschnitt 2.2).

Die offenen Fragen nach einer Testphase lauten:

- Was sind Deine Eindrücke des eben getesteten Systems?
- Würdest Du sagen es erfüllt seinen Zweck?
- Was hat Dir gut gefallen, was nicht so gut?
- Was würdest Du ändern, um das System zu verbessern?

Insbesondere die erste Frage ist bewusst unspezifisch gehalten, um möglichst alle Gedanken des Probanden bezüglich des Systems einzufangen. Häufig wurden bei der ersten Frage bereits die weiteren Fragen zu großen Teilen mit beantwortet.

Der anschließende Fragebogen enthält vier Fragen, bei denen der Proband je einem bestimmten Aspekt der Anwendung eine Bewertung in Form einer Zahl zuweist. Es sind nur natürliche Zahlen von 1 bis 6 erlaubt. Die Fragen des Fragebogens lauten:

- Erlernbarkeit: Wie schwer war es für Dich, die Verwendung des Systems zu erlernen? (sehr leicht) 1 bis 6 (sehr schwer)
- Effektivität: Wie gut erfüllt das System seinen Zweck? (sehr gut) 1 bis 6 (sehr schlecht/-gar nicht)
- Effizienz: Wie leicht lässt sich das System verwenden? (sehr leicht) 1 bis 6 (sehr umständlich)
- Zufriedenheit: Wie zufrieden bist Du mit dem System insgesamt? (sehr zufrieden) 1 bis 6 (sehr unzufrieden)

Nach Abschluss aller drei Testphasen und der entsprechenden Befragungen folgen noch einige offene Fragen sowie eine Skalierungsfrage, um das System im Ganzen zu bewerten. Die offenen Fragen lauten:

- Was sind Deine Eindrücke des interaktiven TV-Newstickers insgesamt?
- Hat Dir das System insgesamt gefallen, oder eher nicht?
- Könntest Du Dir vorstellen dieses System auch zu Hause zu verwenden?
- Hast Du irgendwelche Bedenken gegen das System?
- Kannst Du Dir andere Szenarien vorstellen, in denen ein ähnliches System sinnvoll wäre?

In der abschließenden Skalierungsfrage, soll der Proband die drei getesteten Konfigurationen danach ordnen, welche ihm am meisten gefallen hat und welche am wenigsten.

5.2 Durchführung der Tests

Da die Durchführung der Tests je Proband etwa 60 bis 70 Minuten beansprucht hat, wurden mit allen Probanden individuelle Termine vereinbart. Insgesamt haben 20 Probanden – 12 männlich (60%), 8 weiblich (40%) – an den Tests teilgenommen. Entgegen der Herstellerangaben (siehe Tobii (2007)) arbeitete der verwendete Eye-Tracker Tobii X120 nicht einwandfrei mit allen Brillen und Kontaktlinsen zusammen und machte bei einzelnen Probanden eine Kalibrierung unmöglich. Infolgedessen konnten nur 16 Probanden – 11 männlich (69%), 5 weiblich (31%) – erfolgreich an der Untersuchung teilnehmen, wodurch das Ziel eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen männlichen und weiblichen Probanden stärker als erwartet verfehlt wurde.

Bei den Probanden handelte es sich ausschließlich um Studierende bzw. Absolventen der Informatik oder Informatik-naher Studiengänge deren Alter zwischen 21 und 32 Jahren lag (Durchschnittsalter 26,6 Jahre).

Abgesehen von den genannten, vereinzelt Problemen bei der Kalibrierung des Eye-Trackers, konnten alle Untersuchungen problemlos durchgeführt werden. Die in Abschnitt 5.1 beschriebenen Fehler (bei Aktivierung falscher Nachrichten, bzw. Nicht-Aktivierung richtiger Nachrichten) wurden vom System erfasst und werden, ebenso wie die Antworten der Skalierungsfragen, später dargestellt und ausgewertet. Die Antworten der Probanden aus den Befragungen wurden zur späteren Auswertung aufgezeichnet.

5.3 Auswertung der Ergebnisse

Zunächst kann festgehalten werden, dass alle Probanden einem benutzeradaptiven TV-Newsticker in Verbindung mit Eye-Tracking positiv gegenüber standen. Dementsprechend konzentrieren sich die weiteren Ausführungen auf die Bewertung der verwendeten Interaktionsmechanismen und die zahlreichen Verbesserungsvorschläge die – größtenteils von den Probanden selbst – eingebracht wurden.

5.3.1 Auswertung der aufgetretenen Fehler

Wie in Abschnitt 5.1.3 beschrieben wurden zwei Fehlerarten unterschieden und vom System protokolliert:

Fehler A: Eine Nachricht, die das Schlüsselwort „Informatik“ enthielt, wurde fälschlicherweise nicht aktiviert.

Fehler B: Eine Nachricht, die das Schlüsselwort „Informatik“ *nicht* enthielt, wurde fälschlicherweise aktiviert.

Die Ursache dieser Fehler kann vielfältig sein und lässt sich in den wenigsten Fällen dem Benutzer oder dem System eindeutig zuordnen. Auch in der Befragung nach jeder Testphase konnten viele Benutzer selbst nicht gut einschätzen, wie viele Fehler aufgetreten sind oder was das Problem war.

Bei den Dwell-Time-basierten Testphasen kann Fehler A beispielsweise durch eine zu hoch gewählte Aktivierungszeit (Dwell-Time) verursacht werden. Bemerkt ein Benutzer also ein interessante Nachricht zu spät, dann kann diese bereits aus dem sichtbaren Bildbereich verschwinden, bevor die benötigte Zeit, die diese Nachricht hätte betrachtet werden müssen, erreicht wurde. Auf der anderen Seite kann ein Fehler A auch durch eine Unaufmerksamkeit seitens des Probanden entstehen.

Tabelle 5.1 zeigt eine Aufstellung der aufgetretenen Fehler je Proband.

Auffällig ist, dass in Phase 2 (dynamische Dwell-Time) im Schnitt doppelt so viele Fehler auftraten, als in Phase 1 (statische Dwell-Time). In Phase 1 war die Dwell-Time auf 7 Sekunden festgelegt, was vielen Probanden zur Aktivierung interessanter News zu lang war. Insbesondere problematisch war diese konstante Schwelle bei kurzen Schlagzeilen. In Phase 2 berechnete sich die Dwell-Time aus der Dauer eine Schlagzeile, bis sie vollständig in den sichtbaren Bereich gerollt ist und einem konfigurierbaren Faktor, der im Test 0,5 betrug. Die Dwell-Time für eine bildschirmfüllende Schlagzeile betrug so etwa 3,5 Sekunden in Phase 2. Die meisten Probanden bewerteten die schnellere Aktivierung interessanter Schlagzeilen

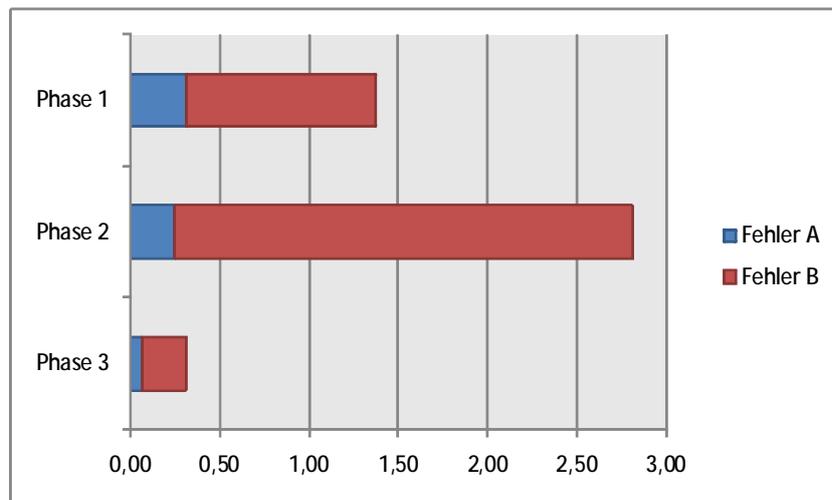


Abbildung 5.1: Relativer durchschnittlicher Fehler je Phase

zwar als positiv, dem gegenüber stehen aber die deutlich höhere Anzahl fälschlicherweise aktivierter Nachrichten. Viele Probanden waren zuversichtlich, über die Anpassung des zuvor genannten Faktors, Fehler B reduzieren zu können. Problematisch dürfte hier jedoch sein, dass eine Erhöhung des dynamischen Dwell-Time-Faktors zu einer Annäherung an die statische Dwell-Time der Phase 1 führen wird.

Abgesehen von den gemessenen Fehlern haben sich viele Probanden über eine Beeinträchtigung ihres natürlichen Leseflusses durch die Dwell-Time-basierte Aktivierung beklagt. Die Benutzer mussten sich sehr darauf konzentrieren, ihre Blicke von den Schlagzeilen fern zu halten, solange es noch keine neuen Informationen zu lesen gab. Andernfalls drohte die Dwell-Time unbeabsichtigt überschritten zu werden.

Als deutlich vielversprechender präsentierte sich Phase 3 der Usability-Tests. Die benutzergesteuerte Aktivierung der Nachrichten wurde von fast allen Probanden als interessanter wahrgenommen, da ihr natürlicher Lesefluss gewahrt blieb und sie somit Nachrichten in Ruhe gelesen werden konnten, ohne eine unbeabsichtigte Aktivierung zu riskieren. Etwa die Hälfte der Probanden gab jedoch an, die geforderte Geste als unangenehm oder umständlich wahrzunehmen.

In Phase 3 sind im Durchschnitt mehr als 75% weniger Fehler (siehe Abbildung 5.1) aufgetreten, als in den Dwell-Time-basierten Phasen. Auch unter diesem Gesichtspunkt scheinen benutzergesteuerte Aktivierungsmechanismen am besten geeignet für weitere Entwicklungen und Versuche.

	Phase 1			Phase 2			Phase 3		
	Fehler A	Fehler B	Fehler gesamt	Fehler A	Fehler B	Fehler gesamt	Fehler A	Fehler B	Fehler gesamt
Karolina B.	0	0	0	0	4	4	0	0	0
Jurgita K.	1	3	4	0	2	2	0	0	0
Azadeh M.	0	2	2	0	1	1	0	0	0
Andre V.	0	3	3	0	8	8	0	0	0
Heiner P.	0	3	3	0	5	5	0	1	1
Robert H.	0	2	2	0	2	2	0	0	0
Markus S.	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Ender B.	0	0	0	2	7	9	1	1	2
Frank H.	0	1	1	0	2	2	0	1	1
Thilo S.	3	0	3	2	0	2	0	0	0
Larissa M.	0	0	0	0	2	2	0	1	1
Jana A.	0	2	2	0	1	1	0	0	0
Oliver S.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thorsten L.	1	0	1	0	1	1	0	0	0
Jan S.	0	1	1	0	4	4	0	0	0
Ulf K.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	5	17	22	4	41	45	1	4	5
Ø	0,31	1,06	1,38	0,25	2,56	2,81	0,06	0,25	0,31

Tabelle 5.1: Anzahl und Art der Fehler während der Tests

5.3.2 Auswertung der Fragebögen

Wie in Abschnitt 5.1.3 beschrieben, fanden im Anschluss an jede Testphase Befragungen statt, in deren Rahmen auch jeweils vier Skalierungsfragen eines Fragebogens beantwortet werden sollten. Tabelle 5.2 zeigt eine Aufstellung aller Antworten dieses Fragebogens. Zunächst kann auch dieser Übersicht direkt entnommen werden, dass alle getesteten Konfigurationen im Bezug auf die subjektive Zufriedenheit im Schnitt gut bis sehr gut angenommen wurden. Kein Proband war mit dem getesteten System derart unzufrieden eine private Nutzung ausschließen zu können.

Wie in Abbildung 5.2 zu sehen ist, stellt sich auch hier Phase 3, also eine benutzergesteuerte Aktivierung, als die vielversprechendste Lösung heraus. In Hinsicht auf ihre Effizienz, Effektivität und die subjektive Zufriedenheit hat sie im Durchschnitt die besten Positionen erreicht. Lediglich im Hinblick auf die intuitive Erlernbarkeit hinkt sie hinter den Dwell-Time-basierten Ansätzen zurück. Auch hier sollte erwähnt werden, dass etwa die Hälfte der Probanden die geforderte Geste in Phase 3 als unangenehm oder umständlich empfunden haben. Eine alternative, benutzergesteuerte Aktivierung könnte hier zu einer noch höheren Akzeptanz führen.

Phase 2 konnte sich im Hinblick auf die subjektive Zufriedenheit von Phase 1 abheben, da viele Probanden die dynamische Dwell-Time als der statischen überlegen einschätzten. Weiterhin gaben viele Probanden an, dass sie sich eine Verbesserung der Punkte Effizienz sowie Effektivität vorstellen könnten, wenn sie den dynamischen Dwell-Time-Faktor auf ihre Lesegewohnheiten anpassen dürften.

5.3.3 Auswertung der Platzierungen der Testphasen

In der abschließenden Befragung der Usability-Untersuchung wurden die Probanden gebeten die Testphasen danach zu ordnen, wie zufrieden sie jeweils waren. Die Platzierung 1 sollte hierbei die höchste Zufriedenheit darstellen, Platzierung 3 dementsprechend die niedrigste Zufriedenheit. Die Antworten der Probanden können der Tabelle 5.3 entnommen werden.

Insbesondere die vereinfachte Darstellung in Abbildung 5.3 legt nahe die benutzergesteuerte Aktivierung aus Phase 3 weiter zu verfolgen und zu verbessern. Wichtigstes Argument der Probanden für die gute Platzierung der Phase 3 war die Beibehaltung ihres natürlichen Leseflusses und damit einhergehend eine bessere Kontrolle über das System insgesamt.

Phase 2 mit dynamischen Dwell-Time wurde generell besser bewertet, als Phase 1, da die meisten Probanden eine feste Dwell-Time, unabhängig von der Länge einer Schlagzeile, als ungünstig wahrgenommen haben. In Verbindung mit der Möglichkeit den Faktor der dynamischen Dwell-Time konfigurieren zu können, wurde Phase als eine vielversprechende

	Phase 1				Phase 2				Phase 3			
	Erlernbarkeit	Effektivität	Effizienz	Zufriedenheit	Erlernbarkeit	Effektivität	Effizienz	Zufriedenheit	Erlernbarkeit	Effektivität	Effizienz	Zufriedenheit
Karolina B.	1	3	3	3	1	2	2	2	1	1	1	1
Jurgita K.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Azadeh M.	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1
Andre V.	2	1	3	2	2	2	6	2	3	1	1	1
Heiner P.	1	2	3	1	1	1	3	1	1	2	1	1
Robert H.	1	3	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1
Markus S.	2	1	2	2	2	1	1	1	3	2	2	2
Ender B.	2	1	3	4	4	4	3	3	1	2	2	2
Frank H.	1	3	2	2	1	2	1	2	1	2	3	2
Thilo S.	1	3	3	4	1	3	2	3	3	2	2	3
Larissa M.	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1
Jana A.	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2
Oliver S.	2	2	4	4	2	2	3	3	3	2	2	3
Thorsten L.	1	2	1	2	1	3	1	2	1	1	1	2
Jan S.	2	2	1	1	3	2	2	2	1	2	2	1
Ulf K.	1	1	3	3	1	1	3	2	2	1	2	2
Ø	1,3	1,9	2,2	2,1	1,5	2,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,7	1,6

Tabelle 5.2: Antworten der Skalierungsfragen nach jeder Testphase

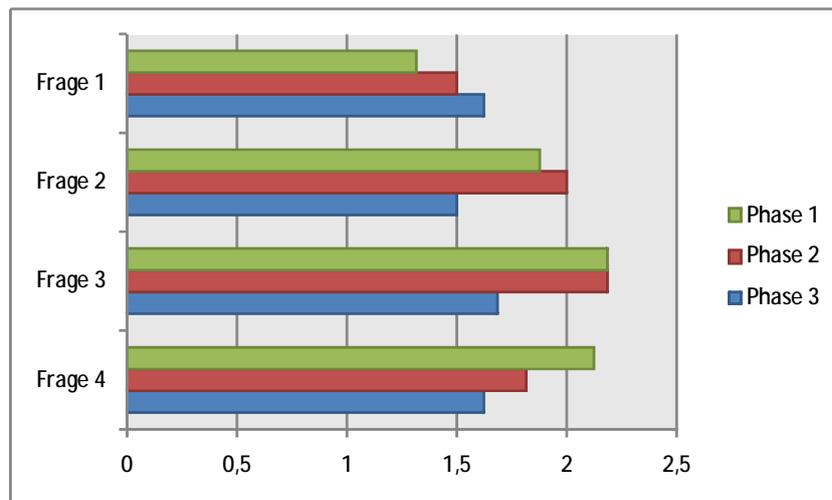


Abbildung 5.2: Grafische Gegenüberstellung der Skalierungsfragen

Alternative angesehen. Viele Probanden bezweifelten jedoch, dass ein Computersystem allein durch Eye-Tracking überhaupt in der Lage sein würde ihre Interessen zuverlässig zu erraten.

5.3.4 Auswertung der Befragungen

Aus den Befragungen nach jeder Testphase sowie zum Abschluss der gesamten Untersuchung ging im Wesentlichen hervor, dass alle Probanden Eye-Tracking als ein geeignetes Mittel zur Interaktion mit TV-Newstickern empfunden haben. Trotzdem gab es zahlreiche Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge die hier erwähnt werden sollen.

5.3.4.1 Befragungen im Anschluss an jede Testphase

Viele Probanden waren der Ansicht, die Dwell-Time sei zu lang gewählt, wodurch kurze Nachrichten unnatürlich lange angeschaut werden musste, um diese zu aktivieren. Auf der anderen Seite war die gewählte Dwell-Time für lange Nachrichten knapp bemessen, weswegen der Blick immer wieder von der Nachricht abgewendet werden musste, um sie nicht zu aktivieren bevor sie vollständig sichtbar war. Ein häufiger Verbesserungsvorschlag an dieser Stelle war es, die Aktivierung nicht vollständig sichtbarer Nachrichten zu deaktivieren und

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
	statische Dwell-Time	dynamische Dwell-Time	gesten-basierte Aktivierung
Karolina B.	3	2	1
Jurgita K.	2	1	3
Azadeh M.	2	3	1
Andre V.	3	2	1
Heiner P.	3	2	1
Robert H.	3	2	1
Markus S.	3	1	2
Ender B.	2	3	1
Frank H.	3	1	2
Thilo S.	3	2	1
Larissa M.	3	2	1
Jana A.	3	1	2
Oliver S.	3	2	1
Thorsten L.	3	2	1
Jan S.	2	3	1
Ulf K.	3	2	1
Ø	2,8	1,9	1,3

Tabelle 5.3: Subjektive Platzierungen der Testphasen zum Abschluss der Untersuchungen

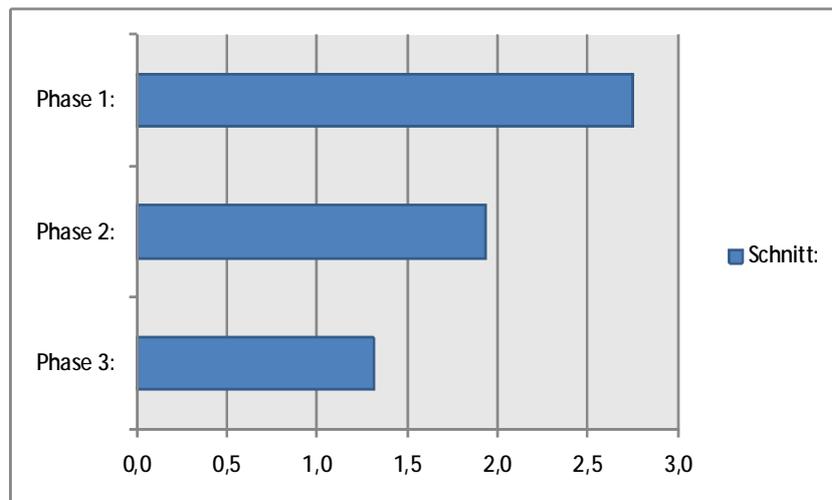


Abbildung 5.3: Grafische Gegenüberstellung der Platzierungen der Testphasen

ggf. sobald sie vollständig sichtbar sind eine kurze Dwell-Time zur Bestätigung des Interesses zu verwenden.

In Testphase 2 (dynamische Dwell-Time) reagierte das System schneller und in Abhängigkeit zur Länge der Schlagzeile. Die kürzere Reaktionszeit wurde bei den „interessanten“ Nachrichten positiv bewertet, führte bei den anderen Nachrichten jedoch häufig zu unfreiwilliger Aktivierung. Hier war das Problem der vorzeitigen Aktivierung, nämlich bevor die Nachricht vollständig sichtbar ist, noch deutlicher und sollte nach Möglichkeit von System verhindert werden.

Besonders aufgrund der vorzeitigen Aktivierungen in Testphase 1 und 2 fühlten sich die Probanden mehrheitlich in ihrem natürlichen Lesefluss gestört. Der Blick musste zu häufig vom Newsticker abgewendet werden, um auf die nächsten Worte zu warten.

Positiv bewertet wurde die generell vorhandene Möglichkeit die statische Dwell-Time bzw. den Faktor für die dynamische Dwell-Time selber konfigurieren zu können, auch wenn davon in den Tests nicht Gebrauch gemacht werden konnte. Die Einstellungsmöglichkeit als solche wäre aber für viele Probanden bei der alltäglichen Verwendung eines solchen Systems eine wichtige Anforderung.

Aufgrund der teils zu langen Dwell-Time gelang die Aktivierung einiger Nachrichten erst kurz bevor diese Nachrichten bereits wieder vom Bildschirm verschwunden waren. An dieser Stelle haben sich einige Probanden ein ähnliches Verhalten gewünscht, wie bei der Darstellung des Nachrichtenartikels selber (siehe Abschnitt 4.5): Abhängig vom Blickpunkt des

Benutzers sollte sich auch die Laufgeschwindigkeit und -richtung des Newstickers verändern. Schaut ein Benutzer beispielsweise an den rechten Rand des Newstickers, sollte der Newsticker schneller laufen, damit der Benutzer nicht unnötig auf die nächsten Worte warten muss. Richtet sich der Blick auf den linken Rand des Newstickers, dann sollte der Newsticker entweder langsamer werden, damit der Benutzer ihn in Ruhe lesen kann oder ggf. rückwärts laufen, damit verpasste Nachrichten oder Worte wieder zum Vorschein kommen.

Als positiv wurde das Feedback des Newstickers bei Fixierung einer Schlagzeile bewertet. Die Schlagzeile wurde in diesem Fall von weiß auf rot umgefärbt, so dass dem Benutzer zu jedem Zeitpunkt klar war, ob das Eye-Tracking funktionierte oder nicht. Als störend wurde hierbei jedoch der Kontrast zwischen den verwendeten Farben bemängelt, der teilweise als zu kräftig wahrgenommen wurde.

Als positive Merkmale in Phase 3 (Gesten-basierte Aktivierung) wurden der ungestörte und natürliche Lesefluss sowie die subjektiv höhere Kontrolle über das System genannt. Letzterer Punkt zeigt sich insbesondere auch in der Auswertung der aufgetretenen Fehler in Abschnitt 5.3.1.

Die Kritik an Phase 3 fiel vergleichsweise gering aus. Etwa die Hälfte der Probanden empfand die geforderte Geste – linke untere Ecke fixieren, anschließend rechte untere Ecke fixieren – als zu umständlich oder schlicht unangenehm.

Ein Verbesserungsvorschlag war mehrfaches Blinzeln als Aktivierungsmechanismus zu verwenden. Diese Möglichkeit wurde zu Beginn der Entwicklung bewusst nicht berücksichtigt, da sich bereits Jacob (1991) dagegen ausgesprochen hat. Die Ergebnisse seiner Arbeit legen nahe, dass einfaches, bewusstes Blinzeln schwer von unbewusstem Blinzeln zu unterscheiden ist. Mehrfaches Blinzeln wiederum würde den Benutzer davon abhalten seine Augen so natürlich wie möglich einzusetzen. Für weitere Untersuchungen sollte Blinzeln ggf. trotzdem implementiert und als Alternative zur Geste angeboten werden.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag war, anstatt zweier Felder, die nacheinander fixiert werden müssen, nur ein Feld in Verbindung mit einer Dwell-Time zu verwenden. Interessiert sich ein Benutzer also für eine Nachricht, dann schaut er anschließend für bspw. zwei Sekunden auf eine Schaltfläche „mehr lesen.“

Als alternative, benutzergesteuerte Aktivierungsform wurde außerdem Spracherkennung als Ersatz der Augengeste vorgeschlagen.

5.3.4.2 Befragung zum Abschluss der Untersuchung

Insgesamt wurde das System von allen Probanden positiv angenommen. Generell konnten sich alle Probanden vorstellen ein System, welches TV-Newsticker mit Eye-Tracking bereichert, privat einzusetzen. Unabhängig von den zahlreichen Kritikpunkten, befanden einige

Testteilnehmer die aktuelle Software bereits als praxistauglich. Im Folgenden sollen noch weitere Verbesserungsvorschläge aus der Abschlussbefragung genannt werden.

Für die Dwell-Time-basierten Konfigurationen wäre ein kürzerer Feedback-Zyklus, also die Möglichkeit jederzeit die Dwell-Time bzw. den dynamischen Faktor anzupassen, wünschenswert gewesen. So hätte auch leicht erprobt werden können, ob mit individuellen Einstellungen bessere Ergebnisse erzielt werden können oder ob die Dwell-Time-basierten Ansätze Prinzipbedingt weniger geeignet sind als die Gesten-basierte Aktivierung.

In einem realistischen Szenario sollte das System über weit mehr Konfigurationsmöglichkeiten im Bezug auf die XML-Newsfeeds verfügen. Im Moment können beliebige Feeds abonniert werden. Denkbar wäre aber ein lernfähiges System, welches Anhand des Nutzerverhaltens Newsfeeds bereits vorfiltern kann. Ähnlich einem adaptiven Spam-Filter in E-Mail-Clients, könnte das System dann, anhand der bisher aktivierten Nachrichten, die Schlagzeilen der abonnierten Newsfeeds im Sinne des Benutzers priorisieren. So würde der Benutzer zuerst Nachrichten sehen, die zu den Themen passen, für die er sich zuvor interessiert hat.

Kapitel 6

Schluss

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse dieser Arbeit zunächst zusammengefasst und bewertet (Abschnitt 6.1) werden. Der Ausblick (Abschnitt 6.2) zeigt Aufgaben und Themen für mögliche weiterführende Untersuchungen und Arbeiten auf, deren Bearbeitung im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich war.

6.1 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Brauchbarkeit von Eye-Tracking als Interaktionsmittel mit Fernsehgeräten untersucht. Hierzu wurden zunächst geeignete Szenarien untersucht und Anforderungen an ein solches System formuliert (Kapitel 3).

Auf Basis dieser Anforderungen wurde in Kapitel 4 eine prototypische Implementierung eines solchen Systems entwickelt. Dabei wurden verschiedene Verfahren zur Vorverarbeitung der Rohdaten eines Eye-Trackers diskutiert und bewertet sowie zwei verschiedene Ansätze zur Intentionserkennung vorgestellt. Unter Einsatz geeigneter Software-Engineering-Techniken wurde eine Anwendungsarchitektur vorgestellt, um die vorgenannten Komponenten zu integrieren. Die Möglichkeiten und Beschränkungen des entwickelten Prototypen werden am Ende des Kapitels 4 Design und Realisierung zusammengefasst.

Mit Hilfe des entwickelten Prototypen konnte eine Usability-Untersuchung (Kapitel 5) mit insgesamt 20 Probanden geplant und durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Test wurden untersucht und interpretiert.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Eye-Tracking von den Probanden der Untersuchung als ein geeignetes Mittel zur Interaktion mit TV-Newstickern wahrgenommen wurde. Dennoch sind bei den Usability-Untersuchungen viele Probleme und Schwierigkeiten zu Tage gefördert worden. Bei einigen dieser Probleme handelt es sich um Kleinigkeiten, deren

Beseitigung die Usability des Systems im Ganzen nur leicht beeinflussen würde, jedoch die subjektive Zufriedenheit der Anwender deutlich steigern könnte. Andere Probleme lassen sich möglicherweise mit intelligenteren und auf den Anwendungskontext angepassten Verfahren zur Intentionserkennung beseitigen.

Letztendlich hat sich jedoch auch gezeigt, dass die Interaktion mit TV-Newstickern allein über Eye-Tracking nicht vollständig zufriedenstellend ist. Die Intentionen einer Person können offensichtlich nicht allein durch die Interpretation seiner Augenbewegungen abgeleitet werden.

6.2 Ausblick

Da die Intentionen des Benutzers nicht allein aus den Augenbewegungen abgeleitet werden kann, wäre ein natürlicher Schritt weitere Sinnesmodalitäten mit einzubeziehen. Je Eingabemodalität könnte eine Hypothese über die Intentionen des Benutzers gebildet werden und ggf. angegeben werden mit welcher Wahrscheinlichkeit sie zutreffen könnte. Diese Hypothesen könnten dann beispielsweise mit Methoden der Fuzzylogik ausgewertet werden, um für eine solche multimodale Interaktion ein Aussage über die Intentionen des Benutzers zu treffen.

Besonders interessant in diesem Zusammenhang dürfte das Projekt SmartKom (2009) sein, welches sich schwerpunktmäßig mit natürlicher, multimodaler Interaktion befasst hat. Als ein großes Problem heutiger Mensch-Maschinen-Interaktion identifiziert das Projekt produktspezifische Bedienung, also dass der Benutzer gezwungen ist, sich den Maschinen anzupassen und ihre Sprache zu erlernen. Das Ziel ist jedoch der umgekehrte Sachverhalt:

Zur Überwindung des Interaktionsproblems von Mensch und Technik müssen intelligente Kommunikationsassistenten entwickelt werden, die verschiedene natürliche und miteinander zeitlich koordinierte Eingabemodalitäten wie Sprache, Gestik, Mimik bis hin zu Augenbewegungen analysieren und verstehen können. Durch Benutzermodellierung, Planerkennung und Lernverfahren adaptieren sich die Systeme an den individuellen Nutzer und werden zum persönlichen Assistenten. Durch Auswertung des Bedien- und Aufgabenkontextes können sie auch fehlerhafte, unvollständige und gestörte Eingaben noch sinnvoll interpretieren. Sie geben aktive Hilfe, ohne immer explizit dazu aufgefordert sein zu müssen. Die Kommunikationsagenten werden personalisiert, indem sie als animierte Life-like Characters visualisiert werden. Diese kann man sich beispielsweise wie Zeichentrickfiguren vorstellen.

Anhang A

XML-Newsfeeds der Usability-Untersuchungen

Listing A.1: XML-Newsfeed der Spielphasen

```
1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
2
3 <rss xmlns:content="http://purl.org/rss/1.0/modules/content/" version="2.0">
4   <channel>
5     <item>
6       <title>Gladbach-Trainer Meyer: Abschied des Trainerfuchses</title>
7       <link>http://www.spiegel.de/fotostrecke/fotostrecke-42891.html#ref=rss</link>
8       <description>Hans Meyer war der populaerste Trainer der ehemaligen DDR. Ueber den Umweg Enschede machte er
          auch im Westteil der Republik Karriere. Zuletzt rettete er Gladbach vor dem Abstieg. Nun zieht sich der
          ironischste Trainer der Liga ins Privatleben zurueck. Die Stationen einer bemerkenswerten Karriere.</
          description>
9     </item>
10    <item>
11      <title>Picassos Privatschloss: Kommt ein Genie ins Chateau</title>
12      <link>http://www.spiegel.de/kultur/gesellschaft/0,1518,627260,00.html#ref=rss</link>
13      <description>Flagge ueberm Bett, Blaetterwald im Badezimmer und ganz viel Staub: Im suedfranzoesischen
          Vauvenargues richtete sich Picasso als exzentrischer Burgherr ein. Jetzt sind die Raeume erstmals
          zugaenglich - dazu laeuft eine Schau ueber seine Auseinandersetzung mit Cezanne.</description>
14    </item>
15    <item>
16      <title>Millionen-Rueckzahlung: Citibank Deutschland entschaedigt Lehman-Opfer</title>
17      <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,627330,00.html#ref=rss</link>
18      <description>Kunden der Citibank Deutschland koennen hoffen: Das Institut will mit 27 Millionen Euro Anleger
          entschae digen, die durch den Kauf von Lehman-Zertifikaten Geld verloren haben. Bis zu 80 Prozent der
          Verluste werden erstattet - allerdings gehen drei Viertel der Kunden wohl leer aus.</description>
19    </item>
20    <item>
21      <title>Amnesty-Menschenrechtsbericht: "Wir erleben eine Katastrophe"</title>
22      <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,627225,00.html#ref=rss</link>
23      <description>Schelte fuer China, Kritik an den USA: Der Jahresbericht von Amnesty International ist bei
          Regierungen gefuerchtet, nun liegt die neue Ausgabe vor. AI-Chefin Khan sprach mit SPIEGEL ONLINE ueber
          Guantanamo-Haeftlinge, Nahrungsmittel-Entzug als politische Waffe - und die Sprengkraft der Rezession.
          </description>
24    </item>
25    <item>
26      <title>Reaktionen auf Barca-Triumph: ManU-Trainer schimpft seine Defensive "lausig"</title>
27      <link>http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,627265,00.html#ref=rss</link>
28      <description>Frust in England, Jubel in Spanien: Der 2:0-Erfolg des FC Barcelona ueber Manchester United im
          Champions-League-Finale sorgte fuer Freude bei den Katalanen - Lionel Messi war der gefeierte Held.
          ManU-Coach Alex Ferguson zeigte sich vor allem von der Defensivleistung seines Teams enttaeuscht.</
          description>
29    </item>
30    <item>
31      <title>Entscheidung bis Freitag: Deutschland setzt US-Regierung Opel-Ultimatum</title>
32      <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,627290,00.html#ref=rss</link>
33      <description>Die Nerven liegen blank: Nach dem geplatzten Opel-Gipfel herrschen bei den deutschen
          Unterhaendlern Frust und Ratlosigkeit. Als Schuldige machen sie die Amerikaner aus, die eine Loesung
          blockiert haetten. Jetzt soll die US-Seite bis Freitag neue Vorschlaege machen - sonst droht dem
          Autobauer die Insolvenz.</description>
```

```
34 </item>
35 <item>
36 <title>kicker.tv: Ein Argentinier ist Koenig von Europa</title>
37 <link>http://www.spiegel.de/video/video-1004740.html#ref=rss</link>
38 <description>Lionel Messi koepft Barcelona zum Sieg gegen Manchester United. Das Finale der Championsleague
    und das Duell zweier Fussballgiganten ist entschieden.</description>
39 </item>
40 <item>
41 <title>Gescheiterte Finanzaufsicht: BaFin-Praesident raeumt schwere Fehler ein</title>
42 <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,627326,00.html#ref=rss</link>
43 <description>Es ist ein Armutszeugnis fuer die BaFin - ausgestellt hat es der Praesident selbst: "Wir haben
    nicht erkannt, welcher Muell sich bei den Banken rund um den Globus aufgetuermt hat", geisselt Jochen
    Sanio die Arbeit seiner Behoerde. Gleichzeitig kritisiert er "gefaehrliche Luecken" im
    Regulierungssystem.</description>
44 </item>
45 <item>
46 <title>Umstrittene Geburt: 66-Jaehrige bringt Kind zur Welt</title>
47 <link>http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,627322,00.html#ref=rss</link>
48 <description>Sie ist im besten Oma-Alter, nun ist sie aber Mutter geworden: Eine 66-jaehrige Britin hat ein
    Kind zur Welt gebracht - dank Eizellspende in einer ukrainischen Klinik. Mutter und Kind seien wohlauf,
    heisst es.</description>
49 </item>
50 <item>
51 <title>Taucherattraktion: Ausgedienter Marine-Frachter vor Florida versenkt</title>
52 <link>http://www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,627293,00.html#ref=rss</link>
53 <description>Vom Schiff zum Riff: Der Untergang der "General Hoyt S. Vandenberg" vor der Kueste von Florida
    dauerte keine zwei Minuten. Kein Unfall, sondern volle Absicht - der ausgediente Marine-Frachter soll
    zur Attraktion fuer Taucher und Angler werden.</description>
54 </item>
55 <item>
56 <title>Bundestagsbeschluss: Besuch von Terror-Camps wird strafbar</title>
57 <link>http://www.spiegel.de/politik/deutschland/0,1518,627318,00.html#ref=rss</link>
58 <description>Die Ausbildung in einem Terrorlager kann kuenftig mit bis zu zehn Jahren Haft bestraft werden.
    Diese Verschaeferung des Strafrechts beschloss der Bundestag am Donnerstag gegen die Stimmen der
    Opposition.</description>
59 </item>
60 <item>
61 <title>Geruechte um Antrag auf Staatsbuergerschaft: Infineon-Aktien verlieren deutlich</title>
62 <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,627313,00.html#ref=rss</link>
63 <description>Schlechter Boersentag fuer Infineon: Die Aktien des Chip-Riesen haben zeitweilig um sieben
    Prozent an Wert verloren. Grund ist ein Zeitungsbericht, laut dem der Konzern einen Antrag auf
    Staatshilfen von rund 500 Millionen Euro gestellt habe.</description>
64 </item>
65 <item>
66 <title>Pakistan: Taliban bekennen sich zum Anschlag von Lahore</title>
67 <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,627302,00.html#ref=rss</link>
68 <description>Vergeltung fuer die Militaeroffensive im Swat-Tal: So begruenden die pakistanischen Taliban den
    Anschlag in der Metropole Lahore, dem viele Menschen zum Opfer fielen. Allerdings bekannten sich gleich
    zwei Gruppen zu der Tat. In Afghanistan toetete die Nato Dutzende Taliban.</description>
69 </item>
70 <item>
71 <title>Nationalmannschaft: Die Rumpfelf nimmt Gestalt an</title>
72 <link>http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,627267,00.html#ref=rss</link>
73 <description>Vor dem Spiel gegen China: Bundestrainer Loew gibt sich alle Muehe, die Begegnung wichtig zu
    finden und verraet erste Personalien. Zu seinem Debuet in der Nationalelf kommt auch Schalke-Torwart
    Manuel Neuer, der dem Werben der Bayern in Shanghai eine Abfuhr erteilte.</description>
74 </item>
75 <item>
76 <title>Misshandlungen im Irak: US-Folterfotos sollen Vergewaltigungen zeigen</title>
77 <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,627286,00.html#ref=rss</link>
78 <description>Ein fruereherer US-General hat Praesident Obama bestaerkt, weitere Fotos von
    Gefangenenmisshandlungen im Irak unter Verschluss zu halten. Denn auf den Aufnahmen sollen schlimmere
    Vergehen als bislang bekannt zu sehen sein: Vergewaltigungen und perverse Folterakte.</description>
79 </item>
80 <item>
81 <title>Bulgarien: Bus stuerzt in Touristengruppe - viele Tote</title>
82 <link>http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,627311,00.html#ref=rss</link>
83 <description>Schrecklicher Unfall im Suedosten Bulgariens: Ein Reisebus ist einen Abhang hinab und in eine
    Gruppe von Wanderern gestuerzt. 16 Menschen kamen dabei ums Leben.</description>
84 </item>
85 <item>
86 <title>Nahost-Konflikt: Clinton draengt Israel zum Siedlungsstopp</title>
87 <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,627257,00.html#ref=rss</link>
88 <description>In ungewoehnlich deutlicher Form hat US-Aussenministerin Hillary Clinton Israel aufgefordert,
    den Ausbau der juedischen Siedlungen im Westjordanland komplett zu beenden. Praesident Obama wolle
    einen voelligen Stopp sehen, sagte sie unmittelbar vor dem Besuch von Palaestinerspraesident Abbas in
    Washington. Doch Israels Regierung lehnte umgehend ab.</description>
89 </item>
90 <item>
91 <title>60 deutsche Autos: Der Porsche 356</title>
92 <link>http://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/0,1518,625160,00.html#ref=rss</link>
93 <description>Ohne dieses Auto gaebe es die Marke Porsche nicht: Am 8. Juni 1948 erteilte die
    Landesbaudirektion Kaernten dem so genannten Gmuend-Roadster die Betriebsgenehmigung. Ferdinand Porsche
    machte aus dem Prototypen seines Sohnes Ferry ein Coupé - der Porsche 356 war geboren.</description>
```

```
94     </item>
95     <item>
96         <title>Ifo-Studie: Konzerne klagen ueber schwere Kreditklemme</title>
97         <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,627301,00.html#ref=rss</link>
98         <description>Schlechte Aussichten fuer deutsche Unternehmer: Laut einer Umfrage des Muenchner Ifo-Instituts
          leiden immer mehr Firmen unter der restriktiven Kreditvergabe der Banken - besonders Industriekonzerne
          steckten in einer "besorgniserregenden Kreditklemme".</description>
99     </item>
100    <item>
101        <title>TV-Entertainer Stefan Raab: "Eine Parodie traegt nicht den ganzen Abend"</title>
102        <link>http://www.spiegel.de/spiegel/0,1518,626440,00.html#ref=rss</link>
103        <description>"Schlag den Raab", "Wok-WM" und jetzt "Eisfussball-Pokal": Stefan Raab ist der innovativste
          Entertainer im deutschen Fernsehen. Im SPIEGEL-Interview spricht er ueber die Grenzen zwischen Sport
          und Unterhaltung, die Wichtigkeit ernsthaften Wettkampfs und seine Haltung zum Grand-Prix-Debakel der
          ARD.</description>
104    </item>
105
106    <item>
107        <title>Fertig + Fertig + Fertig + Fertig + Fertig</title>
108        <link>http://www.informatik.haw-hamburg.de/</link>
109        <description>Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist
          abgeschlossen!</description>
110    </item>
111 </channel>
112 </rss>
```

Listing A.2: XML-Newsfeed für Testphase 1: statische Dwell-Time

```

1  <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
2
3  <rss xmlns:content="http://purl.org/rss/1.0/modules/content/" version="2.0">
4    <channel>
5      <item>
6        <title>Steigender Ifo-Index: Unternehmer beurteilen ihre Lage optimistischer</title>
7        <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626616,00.html#ref=rss</link>
8        <description>Hoffnungsschimmer in Deutschlands Chefetagen: Der Ifo-Index ist im Mai von 83,7 Punkten auf 84,2
          Punkte gestiegen. Die Stimmung bei den Unternehmern hat sich aufgehellt - auch wenn sie die aktuelle
          Lage schlechter bewerten als im April.</description>
9      </item>
10     <item>
11       <title>Geheimtreffen zu Opel: Steinmeier erhoehet Druck aufs Magna-Management</title>
12       <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626637,00.html#ref=rss</link>
13       <description>Geheimdiplomatie in Sachen Opel: Ausser der Kanzlerin und dem Wirtschaftsminister hat sich auch
          SPD-Kanzlerkandidat Steinmeier am Sonntag nach SPIEGEL-ONLINE-Informationen mit der Spitze des
          moeglichen Kaeufers Magna getroffen. Eine endgueltige Entscheidung soll schon Mitte der Woche fallen.</
          description>
14     </item>
15     <item>
16       <title>Informatik in Echt: Schwerer Systemstart</title>
17       <link>http://www.spiegel.de/schulspiegel/abi/0,1518,382020,00.html</link>
18       <description>Dass Informatik nicht nur Programmieren bedeutet, erfuhr Jan Wilamowski, 20, gleich im ersten
          Semester. Bevor er seine Leidenschaft fuer Rechner ausleben konnte, musste er sich mit Physik, Englisch
          und BWL herumschlagen.</description>
19     </item>
20     <item>
21       <title>Wortlaut: "Erfolgreicher Atomtest inspiriert Armee und Volk"</title>
22       <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,626633,00.html#ref=rss</link>
23       <description>Die Welt ist beunruhigt - und Nordkorea feiert einen grossen Erfolg. Ueber die amtliche
          Nachrichtenagentur KCNA liess die Regierung in Pjoengjang den Atomtest bejubeln. Im Folgenden der
          Wortlaut der Meldung.</description>
24     </item>
25     <item>
26       <title>Fast ein Apple: Der Mac, der aus Wolfsburg kommt</title>
27       <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/spielzeug/0,1518,625993,00.html#ref=rss</link>
28       <description>Einen Mac haben wollen viele, den Preis fuer einen Mac bezahlen aber nicht. Eine kleine Firma
          will diese Luecke nutzen, knauserige Apple-Aspiranten mit billigen Pseudo-Macs zu beliefern. Die sehen
          nicht so gut aus wie die Originale, sind aber rasend schnell - und kommen manchmal ins Stolpern.</
          description>
29     </item>
30     <item>
31       <title>Stuttgart: Dutzende Fluege muessen wegen Streiks ausfallen</title>
32       <link>http://www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,626632,00.html#ref=rss</link>
33       <description>Ueberfuellte Gates, stundenlange Wartezeiten: Wegen eines ganzaeagigen Streiks der Fluglotsen
          muessen am Flughafen Stuttgart zahlreiche Fluege ausfallen. Nur etwa ein Viertel der Starts und
          Landungen verkehrt nach Plan.</description>
34     </item>
35     <item>
36       <title>Sikh-Schiesserei in Wien: Ausschreitungen in Indien nach Tod von Guru</title>
37       <link>http://www.spiegel.de/panorama/justiz/0,1518,626620,00.html#ref=rss</link>
38       <description>Nach einer blutigen Auseinandersetzung zwischen rivalisierenden Sikh-Gruppen in einem Tempel in
          Wien ist es in Indien zu Ausschreitungen gekommen. Die Polizei verhaengte eine Ausgangssperre.</
          description>
39     </item>
40     <item>
41       <title>Toedliches Molekuel: Ursache fuer ungewoehnliche Pilzvergiftungen entdeckt</title>
42       <link>http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,626605,00.html#ref=rss</link>
43       <description>Japanische Forscher haben ein bisher unbekanntes Gift identifiziert, das in Asien fuer mehrere
          Faelle toedlicher Pilzvergiftungen verantwortlich ist. Die Substanz koennte auch raetselhafte
          Erkrankungen von Sammlern in Europa erklaren.</description>
44     </item>
45     <item>
46       <title>Studienwahl: Informatik ja - aber mit oder ohne Bindestrich?</title>
47       <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,233895,00.html</link>
48       <description>Digitale Medien, Computerlinguistik, Umweltinformatik: Ueber 100 verschiedene, Informatik-nahe
          Studiengaenge stiften Verwirrung. Abiturienten raetseln oft, was die klassische Informatik von ihren
          neuen Verwandten unterscheidet - und hoffen vergeblich, der ungeliebten Mathematik ausweichen zu
          koennen.</description>
49     </item>
50     <item>
51       <title>Informatik fuer Kinder: Wir sind die Roboter</title>
52       <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/spielzeug/0,1518,604564,00.html</link>
53       <description>Die IT-Welt klagt ueber mangelnden Nachwuchs, die Lehrmittel-Hersteller entdecken die IT fuer
          spielerische Lernansaetze. Jetzt dreht Lego den Spiess um und nimmt die Zielgruppe Grundschule ins
          Visier: Der Bausatz WeDo will Siebenjaehrigen im Spiel Robotik und Informatik vermitteln.</description>
54     </item>
55     <item>
56       <title>NBA-Cuts: Magic ringen Cavaliers nieder</title>
57       <link>http://www.spiegel.de/fotostrecke/fotostrecke-42777.html#ref=rss</link>
58       <description>Blut, Schweiss und jede Menge Freiwuerfe: Im dritten Spiel der Conference-Finals im Osten kam
          Orlando zu einem hart umkaempften Heimsieg gegen Cleveland. Cavs-Guard Mo Williams machte unliebsame

```

```

        Bekanntschaft mit einem Ellenbogen, Magic-Forward Hedu Turkoglu glaezte trotz mieser Wurfquote.</
description>
59     </item>
60     <item>
61         <title>Informatiker: IT-Ausbildung auf Schmalspur?</title>
62         <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/jobundberuf/0,1518,261158,00.html</link>
63         <description>Im Informatik-Studium muesse wieder mehr Wissen ueber Grossrechner vermittelt werden, fordert
        die IT-Beratungsfirma Harvey Nash. Unsinn aus der Computer-Steinzeit, kontern Professoren und die
        Gesellschaft fuer Informatik. Doch die Kritik an der Ausbildung von Informatikern ist damit nicht vom
        Tisch.</description>
64     </item>
65     <item>
66         <title>kicker.tv: Dzekos historischer Treffer (3D)</title>
67         <link>http://www.spiegel.de/video/video-1004116.html#ref=rss</link>
68         <description>Der VfL Wolfsburg ist Deutscher Meister und kann sich bei seinen Torjaegern Grafite und Edin
        Dzeko bedanken. Zusammen schossen sie mehr Tore als Gerd Mueller und Uli Hoeness in ihren besten Tagen.
        </description>
69     </item>
70     <item>
71         <title>Neue Streiks: Kita-Kampf setzt Kommunen unter Zugzwang</title>
72         <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626359,00.html#ref=rss</link>
73         <description>Schon wieder Streiks in den Kitas: Die entscheidenden Verhandlungen mit den kommunalen
        Arbeitgebern stehen bevor - die Gewerkschaften demonstrieren Kampfeswillen. Ab Dienstag werden in
        mindestens fuef Bundeslaendern Einrichtungen fuer Kleinkinder geschlossen bleiben.</description>
74     </item>
75     <item>
76         <title>Heute in den Feuilletons: "Der abgrundtiefe Hass der Westberliner"</title>
77         <link>http://www.spiegel.de/kultur/gesellschaft/0,1518,626618,00.html#ref=rss</link>
78         <description>Ueberall wird das Festival von Cannes resuemiert. Schauspieler Christoph Waltz wird als
        hocheleganter Nazi in Quentin Tarantinos "Inglorious Basterds" gefeiert. Die "NZZ" sucht unterdessen
        nach dem Gen fuer Sprache. </description>
79     </item>
80     <item>
81         <title>Nukleare Gefahr Nordkorea: Kims Atombomben-Test schockiert die Welt</title>
82         <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,626608,00.html#ref=rss</link>
83         <description>Die Weltgemeinschaft ist tief besorgt: Nordkorea hat einen neuen Atomsprengsatz gezuendet - laut
        russischen Angaben in der Staerke der Hiroshima-Bombe. Kurz darauf gingen Berichte ueber einen
        Raketenstart ein. Der Uno-Sicherheitsrat berief eine Eilsitzung ein, US-Praesident Obama fordert
        Konsequenzen.</description>
84     </item>
85     <item>
86         <title>60 deutsche Autos: Der Mercedes 300 SL</title>
87         <link>http://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/0,1518,626033,00.html#ref=rss</link>
88         <description>Die Rendite waere ebenso traumhaft wie das Auto: 29.000 Mark kostete 1954 ein Mercedes 300 SL,
        heute wird der Sportwagen mit den charakteristischen Fluegeltueren fuer gut eine halbe Million Euro
        gehandelt. Das Coupe gehoert zu den fruehen Ikonen der Bundesrepublik.</description>
89     </item>
90     <item>
91         <title>Grenzgaenger: Mit dem Telefonjoker durch Osteuropa</title>
92         <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,626240,00.html#ref=rss</link>
93         <description>Sie sind an die Grenzen Europas gegangen - und an ihre eigenen. Sie haben gestaunt und
        gestritten, gefeilscht und gefeiert. 16 Leipziger Studenten trampton durch die neuen EU-Staaten. Auf
        SPIEGEL ONLINE erzaehlen sie von rechten Politikern, Krisengewinnlern und den Vorzuegen polnischer
        Milchbars.</description>
94     </item>
95     <item>
96         <title>Amputationen und Augen-OPs: Mutmasslicher Kinderschaender gab sich als Arzt aus</title>
97         <link>http://www.spiegel.de/panorama/gesellschaft/0,1518,626612,00.html#ref=rss</link>
98         <description>Drei Jahrzehnte lang soll er die Behoerden genarrt haben: Jetzt wurde ein Australier in Indien
        unter dem Verdacht festgenommen, ohne Lizenz als Mediziner gearbeitet zu haben. Doch damit nicht genug
        - er soll ausserdem zwei Dutzend Jungen sexuell missbraucht haben.</description>
99     </item>
100    <item>
101        <title>Von Beruf Medizin-Informatiker: Elektronik fuer die Gesundheit</title>
102        <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/jobundberuf/0,1518,209602,00.html</link>
103        <description>Sie sind zwar keine "Halbgoetter in Weiss", doch ohne ihre Arbeit waere die moderne Medizin
        nicht mehr moeglich: Medizin-Informatiker verarbeiten Informationen aus Medizin und Gesundheitswesens
        und erstellen zum Beispiel elektronische Krankenakten - ein noch fast unbekannter Beruf.</description>
104    </item>
105    <item>
106        <title>Fertig + Fertig + Fertig + Fertig + Fertig</title>
107        <link>http://www.informatik.haw-hamburg.de/</link>
108        <description>Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist
        abgeschlossen!</description>
109    </item>
110 </channel>
111 </rss>
112
```

Listing A.3: XML-Newsfeed für Testphase 2: dynamische Dwell-Time

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
2
3 <rss xmlns:content="http://purl.org/rss/1.0/modules/content/" version="2.0">
4   <channel>
5     <item>
6       <title>Preiskampf: Aigner wirft Milchwirtschaft fehlendes Engagement vor</title>
7       <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626600,00.html#ref=rss</link>
8       <description>Deutliche Kritik an der Milchwirtschaft: Landwirtschaftsministerin Ilse Aigner hat der Industrie
          vorgehalten, zu wenig gegen die rapide fallenden Milchpreise zu tun. Der Bauernverband sieht jedoch
          vor allem die Regierung in der Pflicht.</description>
9     </item>
10    <item>
11      <title>Tarifstreit: Stuttgarter Fluglotsen streiken</title>
12      <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626599,00.html#ref=rss</link>
13      <description>Am Stuttgarter Flughafen wird gestreikt: Die Fluglotsen haben die Arbeit niedergelegt, bis zu
          drei Viertel aller Fluege drohen auszufallen. Die Arbeitnehmer fordern 30 Prozent mehr Gehalt.</
          description>
14    </item>
15    <item>
16      <title>Arcandor-Buergerschaftsbitte: Union will Handels гигантен sich selbst ueberlassen</title>
17      <link>http://www.spiegel.de/politik/deutschland/0,1518,626594,00.html#ref=rss</link>
18      <description>Der kriselnde Handelsriesen Arcandor soll nach dem Willen der Union seine Finanzprobleme aus
          eigener Kraft loesen. Laurenz Meyer, Chef-Wirtschaftspolitiker der Unionsfraktion, schliesst die
          erbetene Staatsbuergerschaft kategorisch aus. Auch Unions-Mittelstaendler Michael Fuchs ist dagegen.</
          description>
19    </item>
20    <item>
21      <title>Streit ueber Opel-Rettung: Merkel und Guttenberg schachern mit Magna</title>
22      <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626596,00.html#ref=rss</link>
23      <description>Fiat bessert sein Angebot nach - doch Magna bleibt der Favorit der Regierung fuer Opel:
          Kanzlerin Merkel und Minister Guttenberg haben einem Zeitungsbericht zufolge erneut das Management
          getroffen, um noch ueber Zugestaendnisse im Detail zu verhandeln. Eine endgueltige Entscheidung soll
          moeglichst schon Mitte der Woche fallen.</description>
24    </item>
25    <item>
26      <title>Joseph Weizenbaum: Der zornige alte Mann der Informatik</title>
27      <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/tech/0,1518,527122,00.html</link>
28      <description>Der Mann hat sich gewandelt - vom Computerpionier zum IT-Skeptiker. Vor allem aber ist der
          Mathematiker und Informatiker Joseph Weizenbaum ein Pragmatiker: Heute wird er 85 Jahre alt und ist
          laengst nicht muede, die Fehlentwicklungen seiner Zunft zu kritisieren.</description>
29    </item>
30    <item>
31      <title>Deutscher Meister VfL: Erfolgsmodell Wolfsburg</title>
32      <link>http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,626554,00.html#ref=rss</link>
33      <description>Ein Club verbessert die Lebensqualitaet in seiner Stadt und spaltet Deutschland. Der Titelgewinn
          der Wolfsburg ist kein Zufall, sondern eine Mischung aus unternehmerischem Geschick und dem Prinzip
          Magath. Auch der naechste Meister steht schon fest: Hoffenheim.</description>
34    </item>
35    <item>
36      <title>Fernverkehr: Warum deutsche Autos im Libanon out sind</title>
37      <link>http://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/0,1518,624985,00.html#ref=rss</link>
38      <description>Viele Rostlauben aus Duisburg, Hamburg oder Berlin wurden in Beirut bisher meistbietend
          verscherbelt. Doch Abwrackpraemie und Wirtschaftskrise veraendern jetzt auch im Libanon den
          Gebrauchtwagenmarkt. Neuerdings heisst die Devise: Cadillac statt Mercedes.</description>
39    </item>
40    <item>
41      <title>Spendenbereitschaft: Das Mitleid trotz der Krise</title>
42      <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,625665,00.html#ref=rss</link>
43      <description>Zwei Milliarden Euro spenden die Deutschen im Jahr - daran aendert ueberraschenderweise auch die
          Wirtschaftskrise nichts. Trotzdem fuerchten die grossen Hilfsorganisationen jetzt die maladen Banken.
          Denn ihre Arbeit haengt stark von den Konditionen der Geldhaeuser ab.</description>
44    </item>
45    <item>
46      <title>Nukleare Aufruestung: Nordkorea meldet neuen Atomtest</title>
47      <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,626592,00.html#ref=rss</link>
48      <description>Kim Jong Il stellt den Westen auf die Probe: Nordkorea hat nach eigenen Angaben zum zweiten Mal
          unterirdisch eine Atombombe getestet - kurz danach soll eine Rakete gestartet worden sein. Experten
          bestaetigen eine schwere Erschuetterung, versuchen, die Dimension einzuschaetzen. Nachbarlaender
          reagieren alarmiert.</description>
49    </item>
50    <item>
51      <title>Informatik-Studium: Abbruch aus Frust</title>
52      <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,182296,00.html</link>
53      <description>Deutsche Informatik-Studenten haben einen kurzen Atem: Jeder Zweite, meldet der Branchenverband
          Bitkom, bricht sein Studium ab - meistens aus Frust, selten wegen guter Jobangebote.</description>
54    </item>
55    <item>
56      <title>Rio Sass im Trentino: Canyon im Keller</title>
57      <link>http://www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,625794,00.html#ref=rss</link>
58      <description>Oben liegt die Piazza, unten tost ein rauschender Wasserfall: Der Rio-Sass-Canyon verlueft
59    </item>

```

```

        direkt unterhalb des italienischen Dorfes Fondo. Bis vor wenigen Jahren wussten die Einwohner wenig von
        dem Naturspektakel unter ihren Haeusern.</description>
60     </item>
61     <item>
62         <title>Streit ueber Opel-Rettung: Guttenberg erteilt Steinmeier Nachhilfe in Insolvenzrecht</title>
63         <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626582,00.html#ref=rss</link>
64         <description>Das Hickhack um Opel geht weiter: Aussenminister Steinmeier schaltet sich in die Gespraechе mit
        GM ein und kritisiert das "Insolvenz-Gerede" von Wirtschaftsminister Guttenberg. Der Gescholtene keilt
        zurueck - und laesst den Kollegen wissen: "Bei einer Insolvenz ist das Unternehmen nicht verloren."</
        description>
65     </item>
66
67     <item>
68         <title>Anziehung im All: Physiker auf der Spur der unbekanntен Kraft</title>
69         <link>http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,624894,00.html#ref=rss</link>
70         <description>Die Schwerkraft spuert jeder, die Wechselwirkung zwischen Protonen und Neutronen ist etwas fuer
        Experten - doch gibt es auch eine weitere, bisher unbekanntе Grundkraft der Physik? Diese umstrittene,
        fuenfte Wechselwirkung koennte viele Probleme der Kosmologie loesen - aber auch neue schaffen.</
        description>
71     </item>
72     <item>
73         <title>Gesellschaft fuer Informatik: Deutsche IT-Grundlagenforschung ist "katastrophal"</title>
74         <link>http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,72105,00.html</link>
75         <description>Die Gesellschaft fuer Informatik GI warnt vor der geplanten GMD-Fraunhofer-Fusion. Um die
        Grundlagenforschung sei es schon jetzt schlecht bestellt - die Fusion verschlimmere die Lage. In der
        Kritik steht Bundesbildungsministerin Edelgard Bulmahn, die an der Fusion festhalten will. Am Freitag
        soll es auf der Aufsichtsratssitzung der Gesellschaft fuer Mathematik und Datenverarbeitung GMD zum
        Showdown kommen.</description>
76     </item>
77     <item>
78         <title>Schummelnde Informatik-Studenten: Bestnoten mit Billigcode aus Bangladesch</title>
79         <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,608099,00.html</link>
80         <description>Die Bundesregierung bevorzugt als Opel-Partner den Zulieferer Magna - Autofahrer sehen das
        offenbar aehnlich. Einer Umfrage zufolge koennen sich Konsumenten fuer das kanadisch-oesterreichische
        Unternehmen eher erwaermen als fuer den Mitbewerber Fiat.</description>
81     </item>
82     <item>
83         <title>Marktforschung: Autofahrer wollen keinen Italo-Opel</title>
84         <link>http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,626714,00.html#ref=rss</link>
85         <description>Die Bundesregierung bevorzugt als Opel-Partner den Zulieferer Magna - Autofahrer sehen das
        offenbar aehnlich. Einer Umfrage zufolge koennen sich Konsumenten fuer das kanadisch-oesterreichische
        Unternehmen eher erwaermen als fuer den Mitbewerber Fiat.</description>
86     </item>
87     <item>
88         <title>Informatik: Als die Lederhose noch ohne Laptop regierte</title>
89         <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,184460,00.html</link>
90         <description>30 Jahre ist's her: Willy Brandt war noch Bundeskanzler, die Beatles hatten sich laengst
        getrennt - und in den Zuegen sassen keine Geschaeftsleute mit Laptops herum. Das war die Geburtsstunde
        der Informatik an deutschen Universitaeten. Eine Webseite der TU Darmstadt informiert ueber die
        Feierlichkeiten.</description>
91     </item>
92     <item>
93         <title>Saison der Trugschluesse: Felix und der Folterhuegel</title>
94         <link>http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,626638,00.html#ref=rss</link>
95         <description>Ohne Magath verfaellt der VfL Wolfsburg? Die Vorherrschaft der Bayern ist gebrochen? Die
        Spielzeit 2008/2009 steckt voller vermeintlicher Lehren, glaubt &lt;i&gt;Christoph Biermann - &lt;i&gt;
        ;und entlarvt zehn Bundesliga-Mythen.</description>
96     </item>
97     <item>
98         <title>Nordkoreas Nukleartest: Bomben-Gruesse an Barack Obama</title>
99         <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,626682,00.html#ref=rss</link>
100        <description>Ein Bombentest als Erpressungsversuch: Mit seinem Atomprogramm kaempft Nordkorea um
        diplomatische Anerkennung, vor allem durch die Regierung Obama. Kim Jong Il will ein Treffen mit
        Hillary Clinton erzwingen, den Abzug der US-Truppen im Sueden - und als genialer Staatsmann in die
        Geschichte eingehen.</description>
101    </item>
102    <item>
103        <title>Web-Regulierung: So kann das Deutschlandnetz schoener werden</title>
104        <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,626617,00.html#ref=rss</link>
105        <description>Im deutschen Internet gibt es zu viel Katzensvideos, Rechtschreibfehler und Intellektuellenhetze.
        Ein Plaedoyer fuer die Nationale Initiative Digitalmedien, Strafzahlungen bei Fotoueberfluss,
        Zuschuesse fuer lange Texte und den Bundessmiley - damit Deutschland endlich ein Qualitaets-Web bekommt
        .</description>
106    </item>
107
108    <item>
109        <title>Fertig + Fertig + Fertig + Fertig + Fertig</title>
110        <link>http://www.informatik.haw-hamburg.de/</link>
111        <description>Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist
        abgeschlossen!</description>
112    </item>
113 </channel>
114 </rss>

```

Listing A.4: XML-Newsfeed für Testphase 3: Gesten-basierte Aktivierung

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
2
3 <rss xmlns:content="http://purl.org/rss/1.0/modules/content/" version="2.0">
4   <channel>
5     <item>
6       <title>"Britannic": Taucher kommt bei Erforschung von Wrack ums Leben</title>
7       <link>http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,626687,00.html#ref=rss</link>
8       <description>Nach einem Tauchgang zur "Britannic" ist ein 37-jaehriger Mann ums Leben gekommen. Carl Spencer
          war im Auftrag des Magazins "National Geographic" unterwegs und plante eine Dokumentation ueber das
          Schwesterschiff der "Titanic".</description>
9     </item>
10    <item>
11      <title>Surfende Informatik-Studenten: Ab ins Bett!</title>
12      <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,474406,00.html</link>
13      <description>Die Studenten einer indischen Informatik-Hochschule schliefen in den ersten Unterrichtsstunden
          ein - oder blieben gleich im Bett. Der Grund: Naechtlanges Surfen im Internet. Jetzt griff die
          Lehranstalt zu drastischen Massnahmen.</description>
14    </item>
15    <item>
16      <title>Adlerweg in Osttirol: Und taeglich pfeift das Murmeltier</title>
17      <link>http://www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,626615,00.html#ref=rss</link>
18      <description>Hunderte Hoehenmeter vom Alltag entfernt: Auf einer Bergtour in den Ostalpen koennen Wanderer
          die Weite und Ruhe der Natur geniessen, ohne auf ein wenig Komfort verzichten zu muessen - nach zwei
          anstrengenden Kraxel-Tagen bietet das "Schloss in den Bergen" ungewohntes Luxus.</description>
19    </item>
20    <item>
21      <title>Baden-Wuerttemberg: Mann stirbt bei Sprung von Skischanze</title>
22      <link>http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,626681,00.html#ref=rss</link>
23      <description>Vor den Augen einer Geburtstagsgesellschaft starb am Wochenende ein Mann in Baden-Wuerttemberg.
          Er hatte auf einer umgedrehten Bierbank eine Skisprungschanze hinunterfahren wollen. Dabei uebersah er,
          dass der untere Bereich der Schanze mit einem Stahlband abgesperrt war.</description>
24    </item>
25    <item>
26      <title>Peinliche Panne: Royal Air Force fuerchtet Erpressungen nach Datendiebstahl</title>
27      <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,626663,00.html#ref=rss</link>
28      <description>Neue Datenpanne in Grossbritannien: Bei der Royal Air Force wurden Computer-Festplatten mit
          intimen privaten Informationen ueber Mitarbeiter gestohlen - es geht um Drogenmissbrauch, Besuche bei
          Prostituierten und aussereheliche Affaeren. Die Luftwaffe fuerchtet Erpressungen.</description>
29    </item>
30    <item>
31      <title>Informatik: Wo Frauen immer noch keine Karriere machen</title>
32      <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,74752,00.html</link>
33      <description>Laut einer neuen Studie sind Frauen besonders haeufig arbeitslos, wenn sie ein "Maennerfach"
          studiert haben - selbst in Zukunftsbranchen wie der Informationstechnologie.</description>
34    </item>
35    <item>
36      <title>Mein erstes Mal: Ronja, 18, waehlt den Bundespraesidenten</title>
37      <link>http://www.spiegel.de/schulspiegel/leben/0,1518,626147,00.html#ref=rss</link>
38      <description>Schlange stehen zwischen Thierse und Tiefensee: <i>Ronja-Tabea Thiede</i>, 18,
          zitterten bei ihrem bundespolitischen Auftritt die Knie. Sie stimmte am Samstag ueber den
          Bundespraesidenten ab. Die junge Castor-Gegnerin fuhr fuer die Gruenen nach Berlin - wo ihr die CDU
          Avancen machte.</description>
39    </item>
40    <item>
41      <title>Forscheranalyse des Atomtests: Kims Waffen-Experten steigern die Sprengkraft</title>
42      <link>http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,626649,00.html#ref=rss</link>
43      <description>Eine Explosion wie zehn Kilotonnen TNT: Der mutmassliche Atomtest in Nordkorea hatte laut
          deutschen und russischen Experten eine viel groessere Wucht als beim ersten Versuch 2006. Endgueltige
          Belege fehlen noch, doch den Indizien zufolge ist Nordkoreas Atomprogramm sehr ernst zu nehmen.</
          description>
44    </item>
45    <item>
46      <title>Kreta: Polizei nimmt Touristen im Nonnenkostuem fest</title>
47      <link>http://www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,626674,00.html#ref=rss</link>
48      <description>Auf mancher Mottoparty in ihrer britischen Heimat moegen Strapse zum Nonnenkostuem das passende
          Outfit sein, auf Kreta versteht man da weniger Spass: Wegen Erregung oeffentlichen aergernisses muessen
          sich 17 Touristen vor einem Gericht verantworten.</description>
49    </item>
50    <item>
51      <title>Junge Informatiker: Die Freiheit nehm' ich mir</title>
52      <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/jobundberuf/0,1518,586891,00.html</link>
53      <description>Jeder fuenfte Informatik-Absolvent wechselt vom Hoersaal direkt ins eigene Buero.
          Branchenexperten halten das fuer keine brillante Idee, weil es Berufseinsteigern oft an Erfahrung und
          Wissen fehlt. Trotzdem starten viele erfolgreich durch und werden zufriedene Freiberufler.</description>
54    </item>
55    <item>
56      <title>Agrardiesel-Bonus: Koalition verspricht Bauern Steuersenkung</title>
57      <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626670,00.html#ref=rss</link>
58      <description>Die Bauern protestieren seit Wochen vehement gegen ihre Belastungen - jetzt feiern sie den
59

```

```
        ersten Erfolg. Union und SPD wollen die Steuern auf Agrardiesel senken. Die Koalitionsparteien kommen
        damit einer zentralen Forderung nach.</description>
60     </item>
61     <item>
62         <title>Casting-Show: Anti-Popstar Susan Boyle singt im Finale</title>
63         <link>http://www.spiegel.de/panorama/gesellschaft/0,1518,626672,00.html#ref=rss</link>
64         <description>Willkommen im Finale: Susan Boyle, schottischer YouTube-Star mit Hausfrauen-Charme, greift in
        der britischen Casting-Show "Britain's Got Talent" nach dem Sieg. Mit einer Interpretation von "Memory"
        begeisterte sie erneut die Fernsehzuschauer - und Juroren.</description>
65     </item>
66     <item>
67         <title>Informatikerinnen unter sich: Maenner? Wozu?</title>
68         <link>http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,150256,00.html</link>
69         <description>Frauen und Technik - manche Maenner haben damit ein Problem. Deshalb verzichten die Studentinnen
        in Deutschlands erstem Frauenstudiengang Informatik einfach ganz auf sie.</description>
70     </item>
71     <item>
72         <title>Satelliten-Beobachtung: Karte zeigt europaeische Schiffsrouten</title>
73         <link>http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,626650,00.html#ref=rss</link>
74         <description>Die Routen der Containerschiffe sind die Adern der globalisierten Welt. Mit noch nie zuvor
        erreichter Genauigkeit haben franzoesische Wissenschaftler nun europaeische Schifffahrtswege auf einer
        Karte dargestellt. Dazu nutzten sie auch deren Schmutzspuren.</description>
75     </item>
76     <item>
77         <title>Eskalation im Nuklear-Streit: Nordkorea droht mit weiteren Atomtests</title>
78         <link>http://www.spiegel.de/politik/ausland/0,1518,626653,00.html#ref=rss</link>
79         <description>Die Welt ist entruestet ueber Nordkoreas Atombomben-Test - doch Diktator Kim Jong Il trotzt dem
80         internationalen Proteststurm. Er laesst unbeirrt zwei weitere Kurzstreckenraketen abschiessen, und ein
        Diplomat droht, das Land koenne weitere Nuklearsprengsaetze zuenden.</description>
81     </item>
82     <item>
83         <title>Aston Martin V12 Vantage: Mit dem Herz eines Riesen</title>
84         <link>http://www.spiegel.de/auto/fahrberichte/0,1518,625933,00.html#ref=rss</link>
85         <description>Mercedes CL, Bentley Continental, Ferrari 612: In der Luxusklasse gelten Zwoelfzylindermotoren
        als Ritterschlag. Aston Martin zwaengt ein solches Kraftpaket nun unter die Haube des vergleichsweise
        zierlichen Vantage - das Ergebnis ist ein fast perfekter Sportwagen.</description>
86     </item>
87     <item>
88         <title>Nach Tod von Prediger: Wal-Mart verschiebt Markteroeffnung in Indien</title>
89         <link>http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,626656,00.html#ref=rss</link>
90         <description>Unruhen in Indien haben Expansionsplaene von Wal-Mart durchkreuzt: Der US-Einzelhandelsriese
        verschiebt die Eroeffnung einer Filiale im Bundesstaat Punjab. Hintergrund sind die Ausschreitungen
        wegen einer Schiesserei in einem Wiener Tempel, bei der ein Prediger starb.</description>
91     </item>
92     <item>
93         <title>Glaeserne Buerger: Informatiker protestieren gegen den "ePersonalausweis"</title>
94         <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,410956,00.html</link>
95         <description>Den elektronischen Personalausweis brachte noch Otto Schily auf den Weg. Wie und auf welche
        Weise er eingefuehrt werden soll, sorgt weiterhin fuer Streit: Die Gesellschaft fuer Informatik glaubt
        nicht daran, dass der demokratische Rechtsstaat sich glaeserne Buerger schaffen sollte.</description>
96     </item>
97     <item>
98         <title>Bundesliga-Saison 2008/2009: Schock lass nach, ein Schuhnichtgut!</title>
99         <link>http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,625353,00.html#ref=rss</link>
100        <description>Tritte, Torwart- und Trainerwechsel: Der deutsche Fussball 2008/09 hatte amuesante,
        spektakulaere, aufregende Geschichten. Aus Schalke wurde ein Jobcenter, Jens Lehmann entpuppte sich als
        Ordnungsfanatiker - auf SPIEGEL ONLINE erfahren Sie die besten Anekdoten der Saison.</description>
101     </item>
102     <item>
103         <title>Erneute Datenpanne: Britische Luftwaffe verliert Geheimdaten</title>
104         <link>http://www.spiegel.de/netzwelt/web/0,1518,626641,00.html#ref=rss</link>
105         <description>Grossbritannien gilt als Europameister im Daten-Verlieren: Nirgendwo gehen mit so grosser
        Regelmassigkeit geheime Daten verloren. Im aktuellen Fall, warnt die Royal Air Force, koennte das fuer
        rund 500 Menschen richtig gefaehrlich werden.</description>
106     </item>
107     <item>
108         <title>Fertig + Fertig + Fertig + Fertig + Fertig</title>
109         <link>http://www.informatik.haw-hamburg.de/</link>
110         <description>Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist abgeschlossen! Diese Testphase ist
111         abgeschlossen!</description>
112     </item>
113 </channel>
114 </rss>
```

Literaturverzeichnis

- [ARD/ZDF 2008] ARD/ZDF: *ARD/ZDF-Onlinestudie 2008: Zunehmender Medienkonsum im Internet.* 08 2008. – URL <http://www.ard.de/intern/presseservice/ard-zdf-onlinestudie/-/id=8058/nid=8058/did=844282/1n43cvq/index.html>. – Zugriffsdatum: 04.11.2008
- [Ashmore u. a. 2005] ASHMORE, Michael ; DUCHOWSKI, Andrew T. ; SHOEMAKER, Garth: Efficient eye pointing with a fisheye lens. In: *GI '05: Proceedings of Graphics Interface 2005.* School of Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada : Canadian Human-Computer Communications Society, 2005, S. 203–210. – ISBN 1-56881-265-5
- [Charousset 2008] CHAROUSSET, Dominik: *Eignungsuntersuchung von Eye-tracking als zusätzliche Interaktionstechnik in Computerspielen.* 2008. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/bachelor/charousset.pdf>. – Zugriffsdatum: 04.11.2008
- [Gamma u. a. 1995] GAMMA, Erich ; HELM, Richard ; JOHNSON, Ralph ; VLISSIDES, John: *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software.* Addison-Wesley Longman, 1995. – ISBN 978-0201633610
- [Heitsch 2008] HEITSCH, Johann: *Ein Framework zur Erkennung von dreidimensionalen Gesten.* 2008. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/bachelor/heitsch.pdf>. – Zugriffsdatum: 04.11.2009
- [Hewett u. a. 1992] HEWETT, Thomas T. ; BAECKER, Ronald ; CARD, Stuart ; CAREY, Tom ; GASEN, Jean ; MANTEI, Marilyn ; PERLMAN, Gary ; STRONG, Gary ; VERPLANK, William: ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction. New York, NY, USA : ACM, 1992. – Forschungsbericht. – URL <http://www.sigchi.org/cdg/>. Zugriffsdatum: 24.02.2009. – ISBN 0-89791-474-0
- [Jacob 1991] JACOB, Robert J. K.: The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get. In: *ACM Trans. Inf. Syst.* 9 (1991), Nr. 2, S. 152–169. – ISSN 1046-8188

- [Jacob 1995] JACOB, Robert J. K.: Eye tracking in advanced interface design. (1995), S. 258–288. ISBN 0-19-507555-2
- [Kumar 2007] KUMAR, Manu: *Gaze-enhanced User Interface Design*, Stanford University, Dissertation, 2007. – URL <http://hci.stanford.edu/research/GUIDe/publications/Manu%20Kumar%20Dissertation%20-%20Gaze-enhanced%20User%20Interface%20Design.pdf>. – Zugriffsdatum: 04.11.2008
- [Kumar u. a. 2008] KUMAR, Manu ; KLINGNER, Jeff ; PURANIK, Rohan ; WINOGRAD, Terry ; PAEPCKE, Andreas: Improving the accuracy of gaze input for interaction. In: *ETRA '08: Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*. New York, NY, USA : ACM, 2008, S. 65–68. – ISBN 978-1-59593-982-1
- [Majaranta und Rähä 2007] MAJARANTA, Päivi ; RÄIHÄ, Kari-Jouko: *Text Entry Systems: Mobility, Accessibility, Universality*. S. 175–187, Morgan Kaufmann, 2007. – URL http://www.cs.uta.fi/~curly/publications/Majaranta_and_Raiha_2007--DRAFT.pdf. – Zugriffsdatum: 13.02.2009
- [Masak 2005] MASAK, Dieter: *Moderne Enterprise Architekturen*. Springer, 2005. – 346 S. – ISBN 978-3540229469
- [Milekic 2003] MILEKIC, Slavko: The more you look the more you get: Intention-based interface using gaze-tracking. In: *Museums and the Web*, URL <http://www.uarts.edu/faculty/smilekic/paper/milekicMW03.pdf>, 2003. – Zugriffsdatum: 24.02.2009
- [Nielsen 1993] NIELSEN, Jakob: *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993. – ISBN 0125184050
- [Reenskaug 2003] REENSKAUG, Trygve: *The Model-View-Controller (MVC). Its Past and Present*. 2003. – URL http://heim.ifi.uio.no/~trygver/2003/javazone-jaoo/MVC_pattern.pdf. – Zugriffsdatum: 12.02.2009
- [Sadeghi 2007] SADEGHI, Saman: *Thunderbird 2 Is Finally Out!* 2007. – URL <http://samanathon.com/thunderbird-2-is-finially-out/>. – Zugriffsdatum: 12.02.2009
- [Schandry 1998] SCHANDRY, Rainer: *Lehrbuch Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. BeltzPVU, 1998. – 392 S

- [Schulzrinne u. a. 2003] SCHULZRINNE, Henning ; CASNER, Stephen ; FREDERICK, Ron ; JACOBSON, Van: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications / Internet Engineering Task Force. URL <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3550.txt>, Juli 2003 (3550). – RFC. – 104 S. Zugriffsdatum: 16.01.2009
- [Sears und Jacko 2007] SEARS, Andrew (Hrsg.) ; JACKO, Julie A. (Hrsg.): *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications, Second Edition (Human Factors and Ergonomics)*. CRC, September 2007. – ISBN 0805858709
- [SmartKom 2009] SMARTKOM: *SmartKom: Dialogische Mensch-Maschinen-Interaktion durch koordinierte Analyse und Generierung multipler Modalitäten*. 2009. – URL <http://www.smartkom.org/>. – Zugriffsdatum: 23.07.2009
- [Sommerville 2007] SOMMERVILLE, Ian: *Software Engineering (8. Auflage)*. Pearson Studium, 2007. – ISBN 978-3827372574
- [Statistisches Bundesamt Deutschland 2002] STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND: *Der europäische Fernsehmarkt*. 2002. – URL http://www.eds-destatis.de/de/downloads/sif/np_02_24.pdf. – Zugriffsdatum: 21.07.2009
- [Tagesschau 2007] TAGESSCHAU: *Wer seine Daten nicht rausrückt, fliegt*. 2007. – URL <http://www.tagesschau.de/inland/studivz2.html>. – Zugriffsdatum: 11.05.2009
- [Tobii 2007] TOBII: *PRODUCT DESCRIPTION: Tobii T/X Series Eye Trackers*. 2007. – URL http://www.tobii.com/archive/files/17995/Tobii_TX_Series_Eye_Trackers_product_description.pdf.aspx. – Zugriffsdatum: 10.02.2009
- [Wehner 2009] WEHNER, Björn: *Ein Eyetracker-basiertes Werkzeug zur Unterstützung von Aufmerksamkeitsstudien*. 2009
- [Weiser 1991] WEISER, Mark: The computer for the 21st century. In: *Scientific American* 265 (1991), September, Nr. 3, S. 66–75
- [Wikipedia 2009] WIKIPEDIA: *News ticker*. 2009. – URL http://en.wikipedia.org/wiki/News_ticker. – Zugriffsdatum: 10.02.2009
- [Wobbrock u. a. 2008] WOB BROCK, Jacob O. ; RUBINSTEIN, James ; SAWYER, Michael W. ; DUCHOWSKI, Andrew T.: Longitudinal evaluation of discrete consecutive gaze gestures for text entry. In: *ETRA '08: Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*. New York, NY, USA : ACM, 2008, S. 11–18. – ISBN 978-1-59593-982-1

Abbildungsverzeichnis

2.1	Ein Modell der Attribute von Systemakzeptanz aus Nielsen (1993)	6
2.2	Beispielbilder für „Dark-Pupil“ (A) und „Bright-Pupil“ (B) sowie der Infrarot-Reflektionen auf der Hornhaut (C) aus Milekic (2003)	11
2.3	EyeWrite: Gesten-Erfassungsfenster (a) und mögliche Buchstabengesten (b) aus Wobbrock u. a. (2008)	12
3.1	TV-Bild mit Laufschrift aus Wikipedia (2009)	15
3.2	Benachrichtigung über Eingang neuer E-Mails aus Sadeghi (2007)	16
3.3	Zustandsdiagramm aus Benutzersicht	20
4.1	Grobarchitektur der Intentionserkennungsmaschine	27
4.2	Der X120-Eye-Tracker von Tobii Technology AB aus Tobii (2007)	28
4.3	Vorschläge zur Positionierung des Eye-Trackers aus Tobii (2007)	29
4.4	Häufigkeitsverteilung der Messwerte	33
4.5	Verlauf Blickpositionen in horizontaler Richtung	35
4.6	Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Jacob (1991)	37
4.7	Sakkaden-Fixations-Erkennung nach Kumar u. a. (2008)	39
4.8	Sakkaden-Fixations-Erkennung unter Berücksichtigung der Streuung	42
4.9	Klassendiagramm für Schnittstellenklasse Region	45
4.10	Schematische Darstellung des Gesten-basierten Aktivierungsmechanismus	46
4.11	Architekturentwurf der Applikationsschicht	48
4.12	Screenshot mit Konfigurationsformular	50
4.13	Zustandsdiagramm aus Benutzersicht	51

4.14	Drei-stufige Interaktion mit dem System	52
5.1	Relativer durchschnittlicher Fehler je Phase	58
5.2	Grafische Gegenüberstellung der Skalierungsfragen	62
5.3	Grafische Gegenüberstellung der Platzierungen der Testphasen	64

Tabellenverzeichnis

5.1	Anzahl und Art der Fehler während der Tests	59
5.2	Antworten der Skalierungsfragen nach jeder Testphase	61
5.3	Subjektive Platzierungen der Testphasen zum Abschluss der Untersuchungen	63

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §22(4) bzw.§24(4) ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 28. Juli 2009

Lorenz Barnkow