

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Diplomarbeit Nr. 3587

Natürliche Benutzerschnittstellenkonzepte

Andreas Neupert

Studiengang:	Softwaretechnik
Prüfer/in:	Prof. Dr. Albrecht Schmidt
Betreuer/in:	M.A. Oliver Korn, M.Sc. Stefan Schneegaß, Prof. Dr. Florian Alt
Beginn am:	4. November 2013
Beendet am:	6. Mai 2014
CR-Nummer:	H.5.2

Kurzfassung

Neue Technologien und Geräte wie die Microsoft Kinect oder die Leap Motion ermöglichen die Verwendung von Freihandgesten zur Mensch-Computer-Interaktion. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird mit Hilfe dieser Technologien untersucht, wie sich etablierte Interaktionstechniken, wie Tastatur und Maus oder die Bedienung per Touchscreen durch die Interaktion mittels Freihandgesten ersetzen lassen. Hierfür werden zwei Szenarien untersucht: Zum Einen wird die Bedienung einer klassischen Desktop-Applikation mittels Gesten ermöglicht, zum Anderen wird eine gestenbasierte Interaktion für einen Fahrkartenautomaten umgesetzt. Für die Desktop-Anwendung soll dabei ein Expertensystem umgesetzt werden und für den Fahrkartenautomaten eine möglichst intuitive Steuerung. Das bedeutet, für die Desktop-Applikation werden komplexere Eingabemodi für spezifische Funktionen der Anwendung umgesetzt, während die Interaktion des Fahrkartenautomaten selbsterklärend sein soll. Die beiden entstandenen Lösungen werden anschließend bezüglich der Benutzbarkeit, der Beanspruchung des Benutzers, der Fehlerrate und der Interaktionsgeschwindigkeit evaluiert und mit den ersetzten Interaktionstechniken verglichen.

Abstract

New technologies and devices like the Microsoft Kinect or Leap Motion enable the usage of gestures in the air for human-computer-interaction. Within the scope of this diploma thesis it will be evaluated whether classic interaction technologies like keyboard and mouse or touchscreens can be substituted with gestures in the air interaction in an appropriate way. Therefore two scenarios will be examined: First a gestural interaction mode for a common desktop application will be implemented. The second scenario will be a solution for a ticket machine where the interaction by touchscreen will be substituted. The interaction mode for the desktop application will be developed as an expert system, whereas the interaction for the ticket machine needs to be as intuitive as possible. That is the input modes for the desktop application will be more complex and fitted to specific application functions. The gestures in the air interaction for both scenarios will be evaluated regarding usability, workload, error rate and interaction speed and further will be compared to the original interaction technologies.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Motivation	9
1.2	Problemstellung	10
1.3	Allgemeiner Lösungsansatz	10
1.4	Gliederung der weiteren Kapitel	10
2	Hintergrund & verwandte Arbeit	13
2.1	Natural User Interface	13
2.2	Freihandgesten	15
2.3	Verwandte Arbeiten	27
3	Konzept	33
3.1	UID Interaktive Berichte	33
3.2	Fahrkartenautomat der Bahn	42
3.3	Zusammenfassung des Konzepts	45
4	Implementierung	47
4.1	Bibliotheken	47
5	Evaluation	53
5.1	Aufbau und Durchführung der Studie	53
5.2	Ergebnisse der Studie	56
5.3	Diskussion & Offenes Interview	83
6	Zusammenfassung	89
6.1	Zusammenfassung	89
6.2	Diskussion	90
6.3	Ausblick	91
	Literaturverzeichnis	93

Abbildungsverzeichnis

2.1	Interaktionsraum der Leap Motion	24
2.2	Vertikaler Interaktionsraum der Microsoft Kinect	25
2.3	Horizontaler Interaktionsraum der Microsoft Kinect	26
2.4	Technische Komponenten der Meta Pro	26
3.1	Abbildung der Applikation UID Interaktive Berichte	33
3.2	Abbildung der Applikation UID Interaktive Berichte mit Bookmarks-Menü . .	34
3.3	Abbildung des Interaktionskonzepts Applikationszonen	36
3.4	Abbildung des Interaktionskonzepts Interaktionszonen	38
3.5	Abbildung des Eingabemodus Shortcuts	38
3.6	Abbildung der Symbole für den Eingabemodus Shortcuts	39
3.7	Abbildung des Eingabemodus Zeilen- & Spaltenauswahl	40
3.8	Visualisierung des Cursors für Eingabemodi	41
3.9	Abbildung des Fahrkartenautomaten der Deutschen Bahn	42
3.10	Darstellung der originalen Tastatur des Fahrkartenautomaten	44
3.11	Darstellung der angepassten Variante der Tastatur für den Fahrkartenautomaten	45
4.1	Komponenten der Implementierung	47
5.1	Darstellung des Aufbaus der Studie	55
5.2	Interpretation von SUS Scores nach Jeff Sauro	57
5.3	<i>System Usability Scale</i> -Ergebnisse für den Fahrkartenautomat mit <i>Touch</i> -Bedienung	59
5.4	Nasa Raw TLX-Ergebnisse für den Fahrkartenautomat mit <i>Touch</i> -Bedienung . .	60
5.5	<i>AttrakDiff</i> -Ergebnisse für den Fahrkartenautomat mit <i>Touch</i> -Bedienung	61
5.6	<i>System Usability Scale</i> -Ergebnisse für den Fahrkartenautomat mit <i>Freihandgesten</i> - Interaktion	63
5.7	Nasa Raw TLX-Ergebnisse für den Fahrkartenautomat mit <i>Freihandgesten</i> - Interaktion	64
5.8	<i>AttrakDiff</i> -Ergebnisse für den Fahrkartenautomat mit <i>Freihandgesten</i> -Bedienung	65
5.9	<i>System Usability Scale</i> -Ergebnisse für den angepassten Fahrkartenautomat mit <i>Freihandgesten</i> -Interaktion	67
5.10	Nasa Raw TLX-Ergebnisse für den angepassten Fahrkartenautomat mit <i>Frei-</i> <i>handgesten</i> -Interaktion	68
5.11	<i>AttrakDiff</i> -Ergebnisse für den angepassten Fahrkartenautomat mit <i>Touch</i> - Bedienung	69
5.12	<i>System Usability Scale</i> -Ergebnisse für Interaktive Berichte mit <i>Maus</i> -Bedienung .	76
5.13	Nasa Raw TLX-Ergebnisse für Interaktive Berichte mit <i>Maus</i> -Bedienung	77

5.14	<i>AttrakDiff</i> -Ergebnisse für Interaktive Berichte mit <i>Maus</i> -Bedienung	78
5.15	<i>System Usability Scale</i> -Ergebnisse für Interaktive Berichte mit <i>Freihandgesten</i> -Interaktion	79
5.16	Nasa Raw TLX-Ergebnisse für Interaktive Berichte mit <i>Freihandgesten</i> -Interaktion	80
5.17	<i>AttrakDiff</i> -Ergebnisse für Interaktive Berichte mit <i>Freihandgesten</i> -Interaktion . .	81

Tabellenverzeichnis

2.1	Taxonomie dreidimensionaler Gesten	17
5.1	Durchschnittliche Durchführungsdauer des Durchgangs Fahrkartenautomat mittels <i>Touch</i> -Bedienung	58
5.2	Durchschnittliche Fehlerrate des Durchgangs „Fahrkartenautomat mit <i>Touch</i> -Bedienung“.	58
5.3	Durchschnittliche Durchführungsdauer des Durchgangs Fahrkartenautomat mittels <i>Freihandgesten</i> -Bedienung	62
5.4	Durchschnittliche Fehlerrate des Durchgangs „Fahrkartenautomat mit <i>Freihandgesten</i> “.	62
5.5	Durchschnittliche Durchführungsdauer des Durchgangs „Angepasster Fahrkartenautomat mittels <i>Freihandgesten</i> -Bedienung“.	66
5.6	Durchschnittliche Fehlerrate des Durchgangs „Angepasster Fahrkartenautomat mit <i>Freihandgesten</i> “.	66
5.7	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des System Usability Scale für <i>Touch</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe	70
5.8	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des Nasa Raw TLX für <i>Touch</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe	71
5.9	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des <i>AttrakDiff</i> für <i>Touch</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe	71
5.10	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des System Usability Scale für <i>Touch</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe und angepasster Oberfläche	72
5.11	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des Nasa Raw TLX für <i>Touch</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe und angepasster Oberfläche	72
5.12	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des <i>AttrakDiff</i> für <i>Touch</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe und angepasster Oberfläche	73
5.13	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des System Usability Scale für <i>Freihandgesten</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe mit angepasster Oberfläche	74
5.14	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des Nasa Raw TLX für <i>Freihandgesten</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe mit angepasster Oberfläche	74
5.15	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des <i>AttrakDiff</i> für <i>Freihandgesten</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe mit angepasster Oberfläche	75

5.16	Durchschnittliche Durchführungsdauer des Durchgangs Interaktive Berichte mit <i>Maus</i> -Bedienung	75
5.17	Durchschnittliche Fehlerrate des Durchgangs „Interaktive Berichte mit <i>Maus</i> -Bedienung“.	77
5.18	Durchschnittliche Durchführungsdauer des Durchgangs Fahrkartenautomat mittels <i>Freihandgesten</i> -Bedienung	80
5.19	Durchschnittliche Fehlerrate des Durchgangs „Interaktive Berichte mit <i>Freihandgesten</i> -Bedienung“.	81
5.20	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des System Usability Scale für <i>Maus</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe	82
5.21	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des Nasa Raw TLX für <i>Maus</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe	83
5.22	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test des AttrakDiff für <i>Maus</i> -Eingabe und <i>Freihandgesten</i> -Eingabe	83

1 Einleitung

1.1 Motivation

Freihandgesten bieten Vorteile in allen Szenarien, in denen berührungslose Benutzerschnittstellen wünschenswert sind. Dies können Umgebungen sein, in denen die Anwender mit Schmutz in Kontakt kommen oder Umgebungen, in welchen hygienische Gründe gegen das Verwenden von klassischen Benutzerschnittstellen sprechen. Beispiele für verschmutzte Umgebungen sind Industrieanlagen. Computer im öffentlichen Raum, wie Info-Terminals oder Ticketschalter, wecken bei den Benutzern gerne hygienische Bedenken. Ein weiterer passender Anwendungsfall sind große oder entfernte Anzeigen, mit denen nicht direkt mittels Berührung interagiert werden kann, oder Szenarien, in denen eine größere Bewegungsfreiheit wünschenswert ist. Ein Beispiel hierfür ist der Computer oder Fernseher im Wohnzimmer, der bequem vom Sofa aus über Gesten gesteuert werden kann. Im Wohnzimmer könnte das Berühren des Bildschirms auch von der eigentlichen Benutzererfahrung ablenken, was ebenfalls für die Interaktion mittels Freihandgesten spricht. [WW11] Im Vergleich zur Interaktion mittels Maus und Tastatur entfällt bei der Steuerung mit den Händen zudem die Notwendigkeit für ein explizites Eingabegerät. Stattdessen können einfach die Hände ohne ein weiteres Hilfsmittel verwendet werden. Dies ist auch ein Vorteil gegenüber der Interaktion mit Public Displays mittels Smartphone.

Andersherum kann auch argumentiert werden, dass die Verfügbarkeit neuer Technologien im Mainstream-Markt, die es ermöglichen Freihandgesten zu erkennen, die Frage aufkommen lässt, welche Anwendungsfälle den so genannten *Sweetspot* (englisch für „optimaler Bereich“) für diese Interaktionsform darstellen. Um die neuen Möglichkeiten sinnvoll nutzen zu können, muss zunächst evaluiert werden, für welche Anwendungen diese tatsächlich geeignet sind und für welche nicht, denn:

„Everything is best for something and worst for something else.“[Bux07]

Hierzu werden in dieser Diplomarbeit die klassischen Interaktionstechniken von verschiedenen Anwendungen durch die Interaktion mittels Freihandgesten substituiert. Die entstandenen Lösungen werden einzeln evaluiert und mit den ersetzten Interaktionstechniken verglichen. Dies soll es ermöglichen, für die untersuchten Szenarien eine Aussage darüber zu treffen, inwiefern Freihandgesten als Interaktionstechnik für diese geeignet sind, um somit dem *Sweetspot* einen Schritt näher zu kommen.

1.2 Problemstellung

Um eine Evaluation und den Vergleich der Interaktionstechniken zu ermöglichen, muss für jeden betrachteten Anwendungsfall ein Interaktionskonzept entwickelt und implementiert werden. Hierbei soll sowohl eine Anwendung verwendet werden, bei der eine möglichst intuitive Bedienung benötigt wird, als auch eine Applikation, bei der eine optimierte „Experten“-Interaktion umgesetzt wird. Für das Expertensystem wird im Gegensatz zum ersten Szenario ein Lernaufwand für die Bedienung in Kauf genommen, wenn dafür anderweitige Vorteile für die Interaktion entstehen. Das heißt, es werden komplexere Eingabemodi für spezifische Funktionen der Anwendung entwickelt. Für die Variante, die möglichst intuitiv bedienbar sein soll, wird auf solche speziell angepassten Eingaben verzichtet. Stattdessen soll die Interaktion selbsterklärend sein. Da sowohl die Eingabe per Maus, als auch die Interaktion mittels berührungssensitiven Bildschirmen verglichen werden soll, muss mindestens ein Anwendungsfall jede der beiden Eingabegeräte abdecken. Abschließend muss eine geeignete Studie und Auswertung zur Evaluation konzipiert und durchgeführt werden, die es ermöglicht, einen Vergleich der Interaktionstechniken anzustellen.

1.3 Allgemeiner Lösungsansatz

Zur Lösung der Problemstellung werden zwei Szenarien betrachtet. Das erste Szenario besteht aus einer Desktop-Applikation, die zur Präsentation von Studienergebnissen eingesetzt wird und mit der Maus bedient wird. Beim zweiten Szenario wird die Interaktion eines Fahrkartenautomaten der Deutschen Bahn verwendet, welcher üblicherweise mittels Touch-Eingaben gesteuert wird. Für beide Szenarien wird die Bedienung mittels Freihandgesten entwickelt und implementiert. In einer Nutzerstudie werden die originalen Interaktionstechniken mit der neuen verglichen und mittels Fragebögen wie System Usability Scale, Nasa Raw TLX und AttrakDiff evaluiert. Bei der Auswertung der Nutzerstudie wird analysiert, wie sich die Eingabemöglichkeiten bezüglich der Benutzbarkeit, der Beanspruchung der Benutzer, der Benutzererfahrung, der Fehlerrate und der Interaktionsgeschwindigkeit unterscheiden.

1.4 Gliederung der weiteren Kapitel

Die Gliederung der Arbeit in einzelnen Kapiteln und Abschnitten wird im Folgenden kurz erläutert und vorgestellt.

2 Hintergrund und verwandte Arbeiten In diesem Kapitel wird die Forschung in den für die Diplomarbeit relevanten Themenbereichen wie Natural User Interface und Gestenerkennung betrachtet und ein Überblick über verwandte Arbeiten gegeben.

3 Konzept Im diesem Abschnitt werden die Konzepte für die verschiedenen Lösungen präsentiert. Dabei werden die zwei Szenarien *UID Interaktive Berichte* und *Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn*, sowie unterschiedliche Lösungsansätze für jedes der Szenarien betrachtet.

4 Implementierung Im Kapitel Implementierung werden die entscheidenden Aspekte und Technologien ebenjener vorgestellt. Dabei werden vor allem die logischen Zusammenhänge und die Umsetzung der Kerninhalte dargestellt und erläutert.

5 Evaluation Die Evaluation soll die entstandenen Lösungen und die Interaktionskonzepte vergleichen und bewerten. Dabei sollen Usability-Tests wie System Usability Scale durchgeführt werden, aber auch Werte wie Anzahl der Fehler bei der Interaktion oder die Interaktionsgeschwindigkeit für bestimmte Vorgänge erhoben werden.

6 Zusammenfassung Im abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst. Zusätzlich werden positive wie negative Eigenschaften der Lösungen betrachtet, sowie mögliche Weiterführungen der Arbeit skizziert.

2 Hintergrund & verwandte Arbeit

Im Kapitel *Hintergrund & verwandte Arbeiten* werden zunächst die beiden zentralen Themen dieser Arbeit *Natural User Interface* und *Freihandgesten* vorgestellt. Zum Thema *Freihandgesten* werden die zugehörigen Themen *Gestenerkennung* und *Geräte zur Gestenerkennung* aufgegriffen und Anschließend verwandte Arbeiten präsentiert.

2.1 Natural User Interface

Unter dem Begriff **Natural User Interface** versteht man Benutzerschnittstellen, bei welchen Interaktionstechniken aus unserem Alltag in die Mensch-Computer-Interaktion übernommen wurden, um die Bedienung möglichst intuitiv zu gestalten. [Lee10] Beispielsweise ist die direkte Manipulation von Objekten auf einem Touchscreen, wie das Verschieben von Icons auf dem Bildschirm, der direkten Manipulation von realen Gegenständen nachempfunden. Weiterhin können auch Interaktionstechniken aus der Mensch-Mensch-Kommunikation als Vorbild genommen werden, wie zum Beispiel bei der Verwendung von natürlicher Sprache zur Steuerung eines Computers. Je besser ein Computer solche natürlichen Interaktionstechniken versteht, desto weniger muss die Interaktion mit diesem vom Anwender erlernt werden.

Während die direkte Manipulation von Objekten mittels Touch-Eingaben heute weit verbreitet ist, ist die Interpretation von natürlicher Sprache, Gestik und Mimik auch heutzutage noch nicht trivial. In der Regel ermöglichen Benutzerschnittstellen, die Sprache oder Gesten als Eingabe erkennen, lediglich die Verwendung einer kleinen Menge an vorher definierten Aktionen. [Lee10] Das heißt, ein Interface, das tatsächlich Interaktionstechniken der Mensch-Mensch-Kommunikation benutzt, um ein Natural User Interface im Sinne der vorherigen Definition umzusetzen, existiert noch nicht.

An dieser Stelle erleichtern einige alternative Definitionen des Begriffs die Begründung für den Titel dieser Diplomarbeit. Diese liefern Daniel Wigdor und Dennis Wixon:

„We see natural as referring to the way users interact with and feel about the product [...]“[WW11] „In the natural user interface, natural refers to the user’s behaviour and feeling during the experience [...]“[WW11]

Das heißt, hier wird das „Natürlich“ von Natural User Interface so interpretiert, dass die Interaktion mit einem solchen, sich für den Benutzer natürlich anfühlen soll. Dies soll erreicht werden, indem „das Produkt den natürlichen Fähigkeiten und Bedürfnissen der Benutzer angepasst wird und sich den Aufgaben und kontextuellen Anforderungen des Benutzers anpasst.“[WW11]

Ein Ansatz dies zu erreichen ist, die oben beschriebenen, im menschlichen Alltag benutzten Interaktionstechniken zu verwenden. Allerdings erlaubt diese Definition im Gegensatz zur obigen auch die Verwendung von gänzlich unnatürlichen, neuen Interaktionstechniken, solange diese den Ansprüchen an das Gefühl der Natürlichkeit bei der Verwendung des Produkts genügen. In die gleiche Richtung geht die Definition von Johnny Chung Lee, der sagt, dass Natural User Interfaces Benutzerschnittstellen sind, die „sehr intuitiv sind und für den Benutzer quasi unsichtbar werden [...]“ [Lee10].

Weiterhin werden viele neuartige Benutzerschnittstellen teilweise scheinbar unbegründet mit dem Begriff *Natural User Interface* bezeichnet, solange es nur keine typische Maus oder Tastatur ist.

„Unfortunately, the term NUI has also been coarsely applied to refer to anything that is not a typical keyboard and mouse.“ [Lee10]

Dazu zählen vor allem sprachbasierte Schnittstellen wie *Siri*, oder gestenbasierte Schnittstellen wie *Kinect*, oder auch die hier verwendete *Leap Motion*.

Da in diesem Fall die Interaktion auf Freihandgesten basieren soll, werden im Folgenden Natural User Interface-Konzepte mithilfe von Gestenerkennung betrachtet.

Benutzerschnittstellen, die auf Gestenerkennung basieren, haben sich trotz der Verfügbarkeit vergleichsweise günstiger Erkennungshardware noch nicht breitflächig durchgesetzt. Eine mögliche Begründung liefert Justine Cassell:

„I don't believe that everyday human users have any more experience with, or natural affinity for, a „gestural language“ than they have with DOS commands.“ [Cas96]

Diese Kritik geht darauf zurück, dass aktuelle Benutzerschnittstellen mit Gestenerkennung häufig lediglich eine feste, voreingestellte Menge an Gesten erkennen, welche wiederum auf eine feste Menge von Aktionen des Computers abgebildet werden. Zudem existieren für typische Interaktionsaufgaben mit einem Computer oftmals keine Gesten, die wir im Alltag für etwas ähnliches verwenden, sodass wir sie als natürlich empfinden. Das heißt, zur Verwendung einer solchen Schnittstelle ist es notwendig, eine Menge von Gesten zu lernen, was sich nicht wesentlich vom Lernen der Syntax einer Kommandozeile unterscheidet. Ein Umstand, der die Schwierigkeiten beim Festlegen geeigneter Gesten erklären kann, ist, dass in der Mensch-Mensch-Kommunikation Gesten vor allem als eine ergänzende Interaktionstechnik zur Unterstützung der Kommunikation mit natürlicher Sprache verwendet wird. [Lee10] [HS98] Beispielsweise wird mit dem Finger auf das Objekt gedeutet, über welches gerade gesprochen wird. Gesten, wie sie in heutigen Gestenschnittstellen verwendet werden, kommen in der Mensch-Mensch-Kommunikation selten vor. Lediglich das Verwenden von Symbolen (zum Beispiel: *Peace-Zeichen*) und die Interaktion mit Objekten kommt ebenso in der Mensch-Mensch-Interaktion vor und kann auch für die Mensch-Computer-Interaktion verwendet werden (zum Beispiel: Daumen hoch für Bestätigen).

Unabhängig von dieser grundsätzlichen Problematik des **Natural User Interface**-Begriffs im Bezug auf die Interaktion mittels Freihandgesten, kann eine Benutzerschnittstelle mit Gestenerkennung dennoch mehr oder weniger intuitiv sein. Was hierfür entscheidend ist, wird im folgenden Abschnitt Freihandgesten 2.2 betrachtet.

Standardisierung Unabhängig von der *Natürlichkeit* eines Interfaces kann durch Standardisierung und die damit einhergehende Gewöhnung der Benutzer erreicht werden, dass sich das Benutzen der Anwendung dennoch natürlich anfühlt [Nor10]. Beispielsweise hat sich das Qwerty/Qwertz Tastatur-Layout als Standard durchgesetzt, obwohl dies keineswegs eine ideale Anordnung der Tasten darstellt und fühlt sich heute in gewisser Weise *natürlich* an. Ein anderes Beispiel ist die Gewöhnung an berührungssensitive Bildschirme, die viele Benutzer heutzutage dazu verleitet, auf gewöhnliche Bildschirme zu drücken und eine Reaktion zu erwarten. Für Gesten im Raum gibt es dagegen noch kaum verbreitete Standards, was dazu führt, dass Nutzer ohne Anleitung oftmals eher hilflos vor gestenbasierten Benutzerschnittstellen stehen.

2.2 Freihandgesten

Da diese Arbeit wesentlich auf der Verwendung von Freihandgesten basiert, sollen in diesem Abschnitt die Eigenschaften von Freihandgesten als Interaktionstechnik und die daraus folgenden Schlüsse für Interaktionskonzepte betrachtet werden. Dazu werden zunächst Gesten im Allgemeinen vorgestellt und daraufhin Freihandgesten als Spezialfall detaillierter untersucht. Außer dem Begriff der Geste werden zudem zugehörige Themen wie die Erkennung von Gesten und die Hardware zur Erfassung von Informationen über Körper- und Handhaltung dargestellt.

2.2.1 Definition von Gesten und Freihandgesten

Das Wort Geste beziehungsweise *gestus* kommt aus dem Lateinischen und bedeutet das „Mienenspiel, Gebärdenspiel“. Weiterhin definiert Hayes die Gestik als „jede bewusste oder unbewusste Körperbewegung [...], durch die wir entweder mit uns selbst oder mit anderen kommunizieren“ [Hay]. Je nach Definition wird auch die Mimik als Teil der Gestik definiert oder eben nicht. Im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion wird die Geste laut G. Kurtenbach et. al. [KH90] allgemein als „eine Bewegung des Körpers, die eine Information beinhaltet“ definiert. Das heißt, es wird nicht unterschieden, mit welchem Körperteil die Geste ausgeführt wird. Für diese Arbeit interessieren allerdings lediglich Freihandgesten. Das heißt, Gesten die nicht auf einer zweidimensionalen Fläche ausgeführt werden, sondern im dreidimensionalen Raum. Diese Art von Gesten wird im Folgenden im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion gesondert betrachtet.

Taxonomie dreidimensionaler Gesten Nachdem die Geste als solches definiert wurde, solle nun betrachtet werden, wie Freihandgesten im Sinne der Mensch-Computer-Interaktion beschrieben werden können. In *User-Defined Motion Gestures for Mobile Interaction* [RLL11] beschreiben Ruiz et al. eine Taxonomie von Bewegungsgesten für die Bedienung von Smartphones, die an dieser Stelle als eine mögliche Kategorisierung von Freihandgesten vorgestellt wird. Ruiz et al. verwenden zwei Dimensionen für die Kategorisierung von dreidimensionalen

Gesten. Dies sind zum Einen die Abbildung von Gesten und zum Anderen die physikalischen Eigenschaften von Gesten.

Bei der Gestenabbildung handelt es sich um die Abbildung der Freihandgeste auf Gerätebefehle. Diese Kategorie ist wiederum unterteilt in drei Unterkategorien namens *Natur*, *Kontext* und *Zeitlich*. Die Eigenschaft *Natur* steht für die Art der Abbildung der Geste auf physikalische Objekte. Diese Abbildung kann metaphorisch, physikalisch, symbolisch oder abstrakt sein. Metaphorisch bedeutet, dass die Geste eine Metapher für einen Vorgang an einem physikalischen Objekt darstellt. Beispielsweise könnte man die Hand in der Luft schließen, um das Greifen nach einem Gegenstand darzustellen. Physikalische Gesten sind Gesten, die direkt an einem Objekt durchgeführt werden, also zum Beispiel das Verschieben eines Gegenstands. Symbolische Gesten stellen ein Symbol visuell dar, abstrakte Gesten wiederum besitzen ein beliebiges Mapping, welches in keine der anderen Gruppen einzuordnen ist. Ein symbolische Geste könnte ein Fragezeichen sein, welches mit einem Finger in die Luft gemalt wird. Die Unterkategorie *Kontext* unterscheidet Gesten, die einen bestimmten Kontext benötigen, von Gesten, die allgemein gültig sind. Die Ausprägung *Zeitlich* ermöglicht zu guter Letzt die Unterscheidung zwischen diskreten und kontinuierlichen Gesten. Bei diskreten Gesten wird die passende Aktion genau einmal nach dem Erkennen der entsprechenden Geste gestartet. Bei kontinuierlichen Gesten erfolgt die Ausführung der entsprechenden Aktion während die Geste durchgeführt wird.

Die physikalischen Eigenschaften einer Geste sind ebenso in drei Unterkategorien aufgeteilt. Diese sind *Kinematisch*, *Dimension* und *Komplexität*. Die Unterkategorie *Kinematisch* beschreibt dabei die Änderung der Geschwindigkeit einer Geste. Die *Dimension* entspricht wiederum die Anzahl der Achsen, um die sich die Geste bewegt. Die letzte Unterkategorie beschreibt die *Komplexität* der Geste. Dabei ist eine Geste, die nicht in mehrere einzelne Gesten unterteilt werden kann eine einfache Geste. Gesten die wiederum aus mehreren einfachen Gesten zusammengesetzt sind, sind verbundene Gesten. Nach Ruiz et al. können Gesten genau dann unterteilt werden, wenn Diskontinuitäten in der Geste in Form von Ecken oder Pausen in der Bewegung vorhanden sind.

2.2.2 Eigenschaften & Herausforderungen

Nach der Definition des Begriffs Geste und der Betrachtung der Freiheitsgrade von Freihandgesten, sollen im Folgenden ihre Eigenschaften aus Sicht der Interaktionsgestaltung betrachtet werden.

Die Interaktion mittels Freihandgesten besitzt Eigenschaften, die sie von anderen Interaktionstechniken unterscheidet und die beim Entwickeln von Benutzerschnittstellen berücksichtigt werden sollten. Daraus ergeben sich einige Herausforderungen, auf die man hier im Speziellen achten sollte, um ein benutzerfreundliches Interface zu kreieren.

- Freihandgesten sind flüchtig:
Gesten hinterlassen keine Spuren, die es ermöglichen den Verlauf der Geste nachzuvollziehen. Das heißt, sollte man auf das Ausführen der Geste eine unerwartete Reaktion erhalten, gibt es wenige Möglichkeiten, herauszufinden, wieso dies der Fall ist. [Nor10]

Taxonomie dreidimensionaler Gesten		
Gesten Mapping		
Natur	metaphorisch	Metapher eines physischen Objekts
	physikalisch	Agiert physisch mit Objekt
	symbolisch	Wird als Symbol erkannt
	abstrakt	Abstrakte Zuordnung von Geste zu Aktion
Kontext	kontextuell	Erfordert Kontext
	nicht kontextuell	Erfordert keinen Kontext
Zeitlich	diskret	Reagiert nach Aktion des Benutzers
	kontinuierlich	Reagiert während der Aktion des Benutzers
Physikalische Eigenschaften		
Kinematisch	niedrig	Geschwindigkeitsänderung unter $3m/s^3$
	mittel	Geschwindigkeitsänderung zwischen $3m/s^3$ und $6m/s^3$
	hoch	Geschwindigkeitsänderung über $6m/s^3$
Dimension	1 Achse	Bewegung um eine Achse
	3 Achsen	Translation oder Rotation
	6 Achsen	Translation und Rotation
Komplexität	einfach	Einzelne Geste
	verbunden	Mehrere Gesten / Kann unterteilt werden

Tabelle 2.1: Diese Tabelle stellt die Kategorien einer Taxonomie für dreidimensionale Gesten bei der Bedienung eines Smartphones dar. Die Idee der Autoren Ruiz et al. [RLL11] ist hierbei, dass die Gesten in den Kategorien Gestenabbildung und Physikalische Eigenschaften nach verschiedenen Unterkategorien eingestuft werden. Die Abbildung beschreibt dabei den Zusammenhang zwischen der Geste und der durch die Geste ausgeführten Aktion im Computer. Die physikalischen Eigenschaften beschreiben die Art der Bewegung, die bei der Geste durchgeführt werden muss.

- **Freihandgesten haben nur einen Zustand:**
Sensoren, die unseren Körper aufnehmen, unterscheiden nicht zwischen Bewegungen, die als Eingabe gedacht waren und Bewegungen, die nicht dafür gedacht waren. Beispielsweise kann die Bewegung der Hand in den Bereich in dem die eigentliche Geste ausgeführt werden soll, schon als Geste interpretiert werden. Dies führt leicht zu falsch-positiven Fehlern. Eine Möglichkeit, die Probleme, die diese Eigenschaft mit sich bringt, zu mildern, ist, multimodale Benutzerschnittstellen zu verwenden. Beispielsweise könnten Gesten nur dann erkannt werden, wenn eine entsprechende Spracheingabe getätigt, oder ein zugehöriger Bereich der Benutzerschnittstelle mit den Augen fokussiert wird. Weiterhin können verschiedene Zustände erreicht werden, indem bestimmte Gesten oder Interaktionsräume für die verschiedenen Zustände reserviert werden. [WW11] [Nor10]
- **Freihandgesten sind nicht natürlich:**
Bereits im Abschnitt 2.1 wurde festgestellt, dass Gesten im Alltag hauptsächlich als unterstützendes Kommunikationsmittel, zusätzlich zur gesprochenen Sprache, auftreten. Das heißt, gestenbasierte Benutzerschnittstellen, die ein spezielles Gestenvokabular verwenden, sind per se nicht natürlicher, als jede andere Sprache, die zur Kommunikation mit einem Computer dient. Tatsächlich natürliche Mensch-Computer-Interaktion müsste hingegen, genau wie die Mensch-Mensch-Kommunikation, multimodale Eingaben unterstützen und primär auf natürlicher Sprache basieren. [Nor10] [Lee10] [Cas98]

Aus diesen Eigenschaften folgen einige Herausforderungen. Diese Herausforderungen existieren auch bei anderen Arten von Benutzerschnittstellen, sollten für gestenbasierte Benutzerschnittstellen aber besonders betrachtet werden, da sie hier neue Lösungsansätze erfordern.

- **Erforschbarkeit:**
Der WIMP-Ansatz (*Windows, Icons, Menus, Pointers*) für Benutzerschnittstellen ermöglicht die Erforschung der gesamten Funktionalität einer Applikation durch die Menüs, die diese widerspiegeln. Das heißt, der Benutzer kann durch die einzelnen Menüs navigieren und lernt somit alle Optionen kennen. Bei einer rein gestenbasierten Benutzerschnittstelle ist für den Benutzer hingegen nicht erkennbar, welche Gesten existieren, wie diese auszuführen sind und was sie bewirken. [Nor10]
- **Feedback:**
Aus der Eigenschaft der Flüchtigkeit von Gesten ergeben sich besondere Anforderungen an das Feedback. Damit der Benutzer weiß, in welchen Zustand sich die Applikation und die Eingabe befindet, muss dies explizit in der Benutzerschnittstelle dargestellt werden. Bestenfalls wird ebenfalls visualisiert, welche Eingaben aktuell möglich sind.
- **Fehlerbehandlung:**
Bei der Beschreibung der Eigenschaft, dass gestenbasierte Benutzerschnittstellen nur einen Zustand haben, wurde bereits festgestellt, dass diese Eigenschaft leicht zu falsch-positiven Fehlern führt. Deswegen muss explizit Sorge dafür getragen werden, dass diese nicht auftreten. Beispielsweise können explizite Posen verwendet werden, um bestimmte Zustände der Eingabe zu aktivieren. In diesem Fall könnte eine spezifische Pose die Gestenerkennung aktivieren, um falsch-positive Eingaben zu verhindern. Allerdings

erhöht dies die Wahrscheinlichkeit für falsch-negative Fehler. Beispielsweise könnte die Pose außerhalb des Erkennungsbereichs durchgeführt werden, sodass korrekt Eingaben nicht erkannt werden.

2.2.3 Gestenvokabular & -Kategorien

Die Wahl eines geeigneten Gestenvokabulars ist von entscheidender Bedeutung, um eine Gestenschnittstelle möglichst intuitiv zu gestalten. Welche Arten von Gesten dabei intuitiver sind als andere und welche Gestentypen man idealerweise für welchen Anwendungsfall verwendet, wurde in diversen Arbeiten untersucht: [GJM11] [Dou01] [HS98] [Lee10] [Cas98] [NSMG03] [SWE08]. Dabei werden unterschiedliche Kategorisierungen vorgestellt, die es ermöglichen, den verschiedenen Gestentypen Attribute zuzuweisen. [KS05] stellt dabei eine umfangreiche Kategorisierung vor, die an dieser Stelle als Grundlage für weitere Betrachtungen dienen soll.

Die von [KS05] definierten Typen sind folgende:

- **Deiktisch (deutsch: Zeigegesten):**
Unter diese Kategorie fallen Gesten, mit denen ein Objekt oder eine Position bestimmt wird. Dies geschieht in der Regel, indem mit der Hand oder dem Finger in die entsprechende Richtung gedeutet wird. Die Gesten dieser Kategorie können auch zur Kategorie *Gesticulation* gezählt werden.
- **Manipulativ:**
Zu diesem Typ werden alle Gesten gezählt, durch die ein Objekt manipuliert oder kontrolliert wird, indem die physikalische Aktion gemimt wird. Ein Beispiel hierfür ist das Greifen eines Objekts mit dem Zeigefinger und Daumen, um es zu selektieren.
- **Semaphorisch:**
Die meisten aktuellen gestenbasierten Benutzerschnittstellen basieren auf einem Wörterbuch von statischen oder dynamischen Gesten, die jeweils eine festgelegte Aktion im Computer auslösen. Beispiele hierfür sind: *Daumen hoch* für Bestätigen oder eine Wellen-Wischgeste zum Löschen.
- **Gestik:**
Mit dieser Kategorie werden während dem Sprechen, beziehungsweise Kommunizieren, implizit ausgeübte Gesten adressiert. Diese werden in der Regel als ergänzende Kommunikationsmittel benutzt. Beispielsweise wird während dem Sprechen auf das Objekt, welches das Thema der Unterhaltung ist, gedeutet oder man symbolisiert mit dem Abstand seiner Hände oder Finger die Größe eines Objekts.
- **Zeichensprache:**
Zu guter Letzt gibt es Zeichensprachen, die auf einem Lexikon von Gesten basieren. Diese können auch als semaphorische Gesten interpretiert werden, unterliegen aber zusätzlich den Regeln einer Grammatik. Dies lässt die dazugehörige Problemlösung der Sprachschnittstellen ähneln.

Aus der Perspektive der Natural User Interfaces sind nach strenger Auslegung der Definition nur die Gesten der **Gesticulation**-Kategorie interessant, denn genau diese Gesten werden überwiegend unbewusst im Alltag verwendet, um die Mensch-Mensch-Kommunikation zu unterstützen. Daher ermöglichen sie prinzipiell die Interaktion mit dem Computer ohne großen Lernaufwand. Allerdings gehen sie in der Regel mit der Kommunikation durch Sprache einher, die im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet wird und sind zudem schwierig zu erkennen und zu interpretieren. Wenn man davon absieht, dass die übrigen Kategorien streng genommen nicht natürlich sind, bleibt dennoch die Frage, welche Arten von Gesten mehr und welche weniger intuitiv sind. Dies soll im Folgenden betrachtet werden.

Genau dieser Fragestellung sind Sureshini A. Grandhi, Gina Jone und Irene Mittelberg [GJM11] an der RWTH Aachen nachgegangen. Dabei wurde versucht, intuitive Gesten für verschiedenen Aktionen zu finden, indem Probanden spontan nach möglichen Gesten für diese Aktion befragt wurden. Der verwendete Aufbau erinnert dabei nicht an übliche Desktop-Metaphern, symbolisiert aber dennoch übliche Interaktionsaufgaben, wie beispielsweise *Cut & Paste*. Folgende zentrale Feststellungen wurden dabei gemacht:

- **Dynamische Gesten sind intuitiver als statische Gesten:**
In über 95% der Fälle haben die Probanden dynamische Gesten vorgeschlagen, wenn sie die Wahl hatten. Sollten sie explizit statische Posen vorschlagen, hatten sie größere Mühe, Lösungen zu finden.
- **„Halte-vorgestelltes-Werkzeug“ ist intuitiver als „Körperteil-als-Werkzeug“:**
Pantomimische Gesten, also Gesten, die eine reale Tätigkeit pantomimisch nachstellen, sind intuitiver, wenn ein vorgestelltes Werkzeug in der Hand gehalten wird, anstatt das vorgestellte Werkzeug mit einem Körperteil zu symbolisieren. Beispielsweise wird das Schneiden eines Gegenstands eher mit derselben Handhaltung gemimt, als ob ein Messer gehalten würde, anstatt den Zeigefinger auszustrecken und damit das Messer zu symbolisieren.
- **Objekte werden eher explizit als implizit bestimmt:**
Muss ein Objekt festgelegt werden, beispielsweise um eine Aktion auf dieses anzuwenden, wird dies eher mit einer expliziten Geste getan, als implizit davon auszugehen, dass das richtige Objekt automatisch gewählt wird. Dies kann zum Beispiel durch eine Zeigegeste geschehen, oder dadurch, dass der Bereich, in dem das Objekt liegt, mit den Händen angedeutet wird.
- **„Wie-ich-es-machen-würde“ ist intuitiver, als „Mach-es-so“:**
Gesten, die repräsentieren, wie man etwas machen würde, sind intuitiver als Gesten, die explizite Anweisungen an den Computer darstellen. Das heißt, es ist intuitiver, eine Tätigkeit zu mimen und davon auszugehen, dass der Computer die Aktion *nachmacht*, als explizite Anweisungen an den Computer zu geben.
- **Die räumliche Referenz sollte nicht der Computer, der Sensor, oder eine andere dritte Entität sein:**
Es ist intuitiver, wenn die räumliche Position einer Geste nicht am Computer oder

Eingabegerät ausgerichtet werden muss, sondern zum Beispiel die zweite Hand als Referenz dient. Es ist also einfacher, ein Objekt zu zoomen, indem der initiale Abstand zwischen den Händen als Ist-Zustand erkannt wird, anstatt den absoluten Abstand zwischen den Händen direkt auf die Größe des Objekt abzubilden.

2.2.4 Gestenerkennung

Um Gesten zu erkennen, müssen zunächst geometrische Informationen über die Haltung oder Bewegung der Hände oder des Körpers der Benutzer erfasst werden. Hierfür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, die Vladimir Pavlovic et al. als *3D Hand Model-Based* und *Appearance-Based* bezeichnet [PSH97]. *3D Hand Model-Based* steht hier für die Erzeugung eines 3D-Modells der Hand oder der Körpers, anhand dessen Veränderung über die Zeit Posen und Bewegungen erkannt werden können. Solche 3D-Modelle stellen in der Regel eine Repräsentation des Skeletts des Körpers dar oder sie modellieren den Körper als Volumen. Bei der Variante *Appearance-Based* werden Merkmale eines Bildes direkt in Gesten übersetzt. Dabei wird beispielsweise durch Kantenerkennung die Form eines Körpers oder einer Hand in einem normalen Bild als Vorlage verwendet. Verformungen, Rotationen und Bewegungen dieser Form werden als Grundlage der Gestenerkennung verwendet.

Ebenso wie die geometrischen Informationen unterschiedlich modelliert werden können, können sie auch auf unterschiedliche Weise erfasst werden. Beispielsweise kann ein Modell basierend auf RGB-Bildern oder basierend auf Tiefeninformationen erfasst werden. Hierfür können normale Kameras oder aber Infrarotkameras verwendet werden, die die Reflexion von Infrarotstrahlen aufnehmen. Aus den aufgenommenen Bildinformationen muss im nächsten Schritt ein Modell der zu erfassenden Körper berechnet werden. Eine andere Möglichkeit, um ein solches Modell zu erhalten, ist das Verwenden von Markern, die auf dem Körper der Benutzer platziert werden. Diese können mit gewöhnlichen Kameras erfasst werden. Aus der Position der Marker kann wiederum ein Modell der zu erkennenden Person berechnet werden. Hierfür kann es von Vorteil sein, mehrere Kameras zu verwenden, um jeden Marker permanent verfolgen zu können. Ein Beispiel für diese Verfahren ist das Motion Capture-Verfahren, welches beispielsweise zur Erzeugung von natürlichen Bewegungen in Animationsfilmen verwendet wird. Eine weitere Methode ist das Verwenden von Beschleunigungssensoren, die am Körper oder in der Hand getragen werden. Beispielsweise kann ein Smartphone in der Hand gehalten werden, um Freihandgesten erkennen zu können. Ein anderes Beispiel sind Schrittmesser, die am Gürtel befestigt werden.

Nachdem die geometrischen Informationen über die Körper- und Handhaltung des Benutzers gewonnen wurden, müssen diese und deren Veränderung über die Zeit beobachtet und analysiert werden. Hierfür können verschiedene Techniken und Algorithmen verwendet werden. Über diese wird im Folgenden ein Überblick gegeben.

Methoden der Mustererkennung

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über verschiedenen Methoden der Mustererkennung zur Detektion von Gesten gegeben.

Live-Mic Problem Ein grundsätzliches Problem, bei der Interaktion mittels Freihandgesten, ist die Unterscheidung zwischen Bewegungen, die als Eingabe gedacht sind und solchen die aus Versehen oder unbewusst durchgeführt werden. Bei der Erkennung von Gesten erhält man bei der Verwendung von Freihandgesten einen kontinuierlichen Strom von Punkten im dreidimensionalen Raum, den es zu interpretieren gilt. Die entscheidende Frage hierbei ist, ab welchem Punkt mit der Suche nach einer Geste begonnen und bei welchem gestoppt werden muss.

Konzepte hierfür sind die Geschwindigkeit der Bewegung beziehungsweise der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten als Indikator für den Beginn und das Ende einer Geste zu verwenden. Hierbei entsprechen zwei innerhalb eines Grenzwerts beieinander liegende Punkte als Unterbrechung zwischen zwei Gesten. Weiterhin können bestimmte Posen beziehungsweise Handhaltungen als Schalter für die Gestenerkennung verwendet werden. Dabei beginnt die Analyse der Hände, sobald die Pose eingenommen wurde.

Ist einmal eine begrenzte Menge an Punkten isoliert, kann diese auf verschiedene Arten analysiert werden, um eine Geste zu entdecken.

Hidden-Markov Modelle Eine weit verbreitete Methode zur Gestenerkennung sind Hidden-Markov-Modelle als eine einfache Form von dynamischen bayesschen Netzen. Diese stammen aus der Gruppe der stochastischen Verfahren, wie zum Beispiel auch die Methode *Particle filters* (deutsch: Partikel-Filter). Bei der Verwendung von Hidden-Markov-Modellen wird für jede Geste, die erkannt werden soll, ein Hidden-Markov-Modell erzeugt. Dieses beinhaltet die Wahrscheinlichkeiten für Zustände und Zustandsübergänge der Geste. Soll beispielsweise die Geste *Viereck im Uhrzeigersinn* erkannt werden, ist die Wahrscheinlichkeit für die Zustandsübergänge RECHTS, UNTEN, LINKS und OBEN für die Bewegung der Hand am größten. Da ein Mensch die Hand meist nicht vollkommen exakt bewegt, wird Zustandsübergängen wie zum Beispiel RECHTS, UNTEN-LINKS, ... ebenso eine gewisse Wahrscheinlichkeit zugestanden (der Benutzer hat in diesem Fall seine Hand nicht exakt nach unten bewegt, sondern auch etwas nach links). Weiterhin können nun die beispielsweise durch Verfahren der Computer Vision erkannten Bewegungen der Hand mit den Hidden-Markov-Modellen von allen Gesten, die erkennbar sein sollen, verglichen werden, um die Wahrscheinlichkeiten für jede Geste mit dem sogenannten Forward-Algorithmus der Hidden-Markov-Modelle zu berechnen. Überschreitet die Wahrscheinlichkeit für eine Geste einen bestimmten Schwellwert, kann sie als erkannt behandelt und die zugehörige Funktion ausgeführt werden.

Künstliche neuronale Netze Eine weitere Möglichkeit der Mustererkennung sind Neuronale Netzwerke. Diese orientieren sich am Aufbau des menschlichen Gehirns. So verwenden sie *Neuronen* als Entscheidungspunkte und Knoten in einem Netz, die durch gerichtete Kanten, die Synapsen, verbunden sind. Über diese können sich die Neuronen gegenseitig aktivieren. Die Gewichte aller aktivierten, eingehenden Verbindungen eines Neurons entscheiden über dessen Aktivierung. Während der Lernphase eines neuronalen Netzwerks können sowohl die Gewichte, als auch die Topologie des Netzes angepasst werden. Somit kann die Erkennung von bestimmten Gesten erlernt werden. Eine Einschränkung von neuronalen Netzwerken ist, dass sie zwar in der Lage sind komplexe Hand- und Fingerhaltungen zu erlernen und

zu erkennen, sich jedoch nicht für die Erkennung von dynamischen Mustern eignen. Für die Erkennung von zeitabhängigen Mustern können sogenannte Time-Delay Neural Networks in Betracht gezogen werden. Diese können jedoch nur mit Mustern einer festgelegten Zeit arbeiten und sind somit auch nicht für alle Anwendungsfälle flexibel genug.

Dynamic Time Warping Der *Dynamic Time Warping*-Algorithmus ist in der Lage, die Ähnlichkeit zweier zeitlicher Sequenzen zu messen. Das heißt, er ist auch auf das Problem der Gestenerkennung anwendbar, sobald eine Sequenz von Bewegungen erfasst wurde. Ein Vorteil dieses Algorithmus ist es, dass er in der Lage ist, ähnliche zeitliche Sequenzen auch dann zu erkennen, wenn sie unterschiedlich schnell ausgeführt wurden. Dabei darf nicht nur die Geschwindigkeit der gesamten Ausführung, sondern sogar die Geschwindigkeit einzelner Teilstücke der Sequenz unterschiedlich schnell sein. Dies erreicht der Algorithmus, indem die Sequenzen nicht-linear in ihrer zeitlichen Dimension verzerrt werden. Grundsätzlich basiert *Dynamic Time Warping* auf einer Abstandsfunktion für jedes mögliche Wertpaar der zu vergleichenden Sequenzen. Mithilfe dieser Abstandsfunktion wird sukzessive der *Abstand* der beiden Sequenzen berechnet, indem für jeden weiteren Schritt das bisher erreichte Minimum als Referenz verwendet wird. Je niedriger der errechnete Gesamtabstand zweier Sequenzen, desto wahrscheinlicher stellen sie die gleiche Sequenz dar.

2.2.5 Geräte

Es existieren inzwischen einige Geräte auf dem Markt, welche die Erkennung von Gesten ermöglichen. Dies ist zum Einen die, für diese Diplomarbeit verwendete, Leap Motion und zum Anderen Geräte wie die Microsoft Kinect und die Asus Xtion, die im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen.

Leap Motion Die Leap Motion ermöglicht es, einen Computer mittels Freihandgesten zu steuern. Dazu wird das 8cm x 3cm x 1cm große Gerät per USB mit einem Computer verbunden und auf dem Schreibtisch vor dem Benutzer platziert. Mittels Ihrer zwei monochromatischen Infrarotkameras nimmt sie die Reflexion der drei ebenfalls verbauten Infrarot Leuchtdioden wahr und erkennt so die Position und Bewegung der Hände und Finger, die in Ihrem Erkennungsbereich liegen. Dieser wird in der Darstellung 2.1 visualisiert. Er reicht annähernd in der Form einer Halbkugel, in alle Richtungen, von der Leap Motion aus gesehen, etwas mehr als sechzig Zentimeter und umspannt seitlich einen Winkel von 150° und nach vorne und hinten einen Winkel von 120°. Die Leap Motion arbeitet laut Herstellerangaben mit einer Genauigkeit von 0,01 Millimetern und 215 Bildern pro Sekunde. Nach den Ergebnissen von FrankWeichert, Daniel Bachmann, Bartholomäus Rudak und Denis Fisseler in Ihrer Veröffentlichung *Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller* [WBRF13] erreicht sie dieses hohe Ziel in der Praxis nicht. Die dort gemessene durchschnittliche Genauigkeit von 0,7 Millimetern beim Erkennen von Bewegungsabläufen stellt allerdings immer noch einen sehr guten Wert für Gestenerkennung dar, den beispielsweise die Microsoft Kinect nicht erreicht. Die Leap Motion kann von Haus aus eine Anzahl von Gesten erkennen, die in vielen

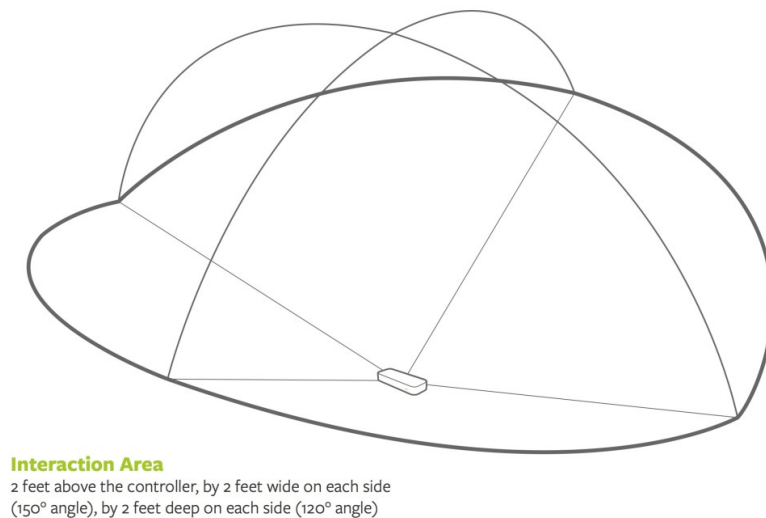


Abbildung 2.1: Diese Darstellung zeigt den Interaktionsraum der Leap Motion. Dieser reicht in alle Richtungen etwas mehr als sechzig Zentimeter. Dabei umschließt er seitlich einen Winkel von 150°, sowie nach vorne und hinten einen Winkel von 120°. Quelle: [Lea14b]

für die Leap Motion verfügbaren Anwendungen wiedergefunden werden können. Diese sind Wischgesten in alle Richtungen, kreisende Bewegungen mit dem Finger, Klicks auf den Bildschirm und Klicks auf die Tastatur. Bei der kreisenden Bewegung wird mit einem Finger ein Kreis in die Luft gezeichnet. Die Klicks werden beide lediglich angedeutet, das heißt, der Klick auf den Bildschirm wird erkannt, wenn die Hand kurz Richtung Bildschirm und zurück bewegt wird. Der Klick auf die Tastatur wird ausgelöst, wenn ein Finger nach unten und direkt wieder nach oben bewegt wird, wie bei einem Tastenklick. Bei der Interpretation der durch die Infrarotkameras aufgenommenen Tiefeninformationen wählt die Leap Motion einen optimistischen Ansatz. Das heißt, sie versucht bei Gegenständen im Erkennungsbereich unbedingt eine Hand zu erkennen. Wenn daher versehentlich der Kopf etwas zu weit über den Schreibtisch geneigt wird, kann auch dieser gelegentlich als Hand erkannt werden. Bei der Entwicklung von Benutzerschnittstellen ist es deshalb ratsam, falsch-positiv erkannte Elemente zu berücksichtigen.

Microsoft Kinect Die Microsoft Kinect ist im Gegensatz zur weiter oben beschriebenen Leap Motion für einen größeren Erkennungsbereich ausgelegt. Ebenso wird sie primär nicht auf dem Schreibtisch platziert, sondern im Wohnzimmer über oder unter dem Fernseher. Aus dieser Position, ist die neuste Version der Kinect in der Lage, in einem Bereich von 0,8 Metern bis 4 Metern, das grobe Skelett eines Menschen wahrzunehmen. Wie in den Abbildungen 2.2 und 2.3 dargestellt, umspannt sie horizontal 70° und vertikal 60°. Dabei erkennt sie allerdings weniger Details, als die Leap Motion. So werden die einzelnen Finger nicht unterschieden. Lediglich der Daumen wird einzeln erkannt. Die übrigen vier Finger werden durch einen

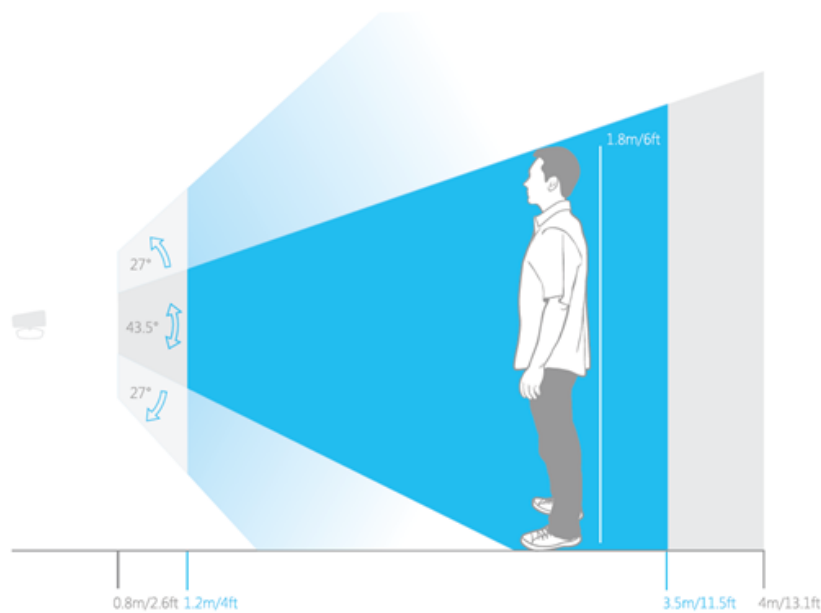


Abbildung 2.2: Diese Darstellung zeigt den vertikalen Erkennungsbereich der Microsoft Kinect. Sie erfasst einen Bereich von 0,8 bis 4 Meter vor dem Sensor. Außerdem umspannt sie einen vertikalen Winkel von 60°. Quelle: [MSD]

einzelnen Vektor abstrahiert. Ein großer Unterschied zur Leap Motion ist die Reaktionsgeschwindigkeit der Microsoft Kinect. So kann bei der Erkennung eine Verzögerung von bis zu sechzig Millisekunden auftreten. Zur Aufnahme der Tiefeninformationen ist in der Microsoft Kinect ein Infrarot Laserprojektor und eine CMOS Monochrom-Kamera verbaut, welche die Reflexionen des Infrarotprojektors wahrnimmt. Zusätzlich verfügt die Microsoft Kinect über eine RGB-Farbkamera, welche zu den Tiefeninformationen Farbinformationen hinzufügt. Außerdem verfügt sie über vier Mikrofone, sodass sie Sprachbefehle bestimmten Benutzern zuordnen kann.

Asus Xtion Der Controller Asus Xtion ähnelt der Microsoft Kinect und ermöglicht die Gestenerkennung im Abstand von 0,8 bis 3,5 Metern. Sie umfasst im Vergleich zur Microsoft Kinect allerdings lediglich horizontal 58° und vertikal 45°. Sie besteht ebenso wie Microsoft Kinect aus einer monochrom-Kamera und einem Infrarot Laserprojektor. Dadurch können die Reflexionen der Infrarot-Signale zu Tiefeninformationen verarbeitet werden.

Meta Pro Die Meta Pro ist eine der ersten angekündigten Datenbrillen, die Gestenerkennung unterstützen soll. Dazu besitzt sie eine Tiefensensor-Kamera und zwei RGB-Kameras. Dadurch kann sie vor die Brille gehaltene Hände erkennen. Da sie ebenso über zwei 40° 3D Displays mit einer Auflösung von 1280 x 720 Pixeln verfügt, soll sie die direkte Interaktion mit virtuellen Objekten ermöglichen. Die Interpretation der erfassten Tiefeninformationen

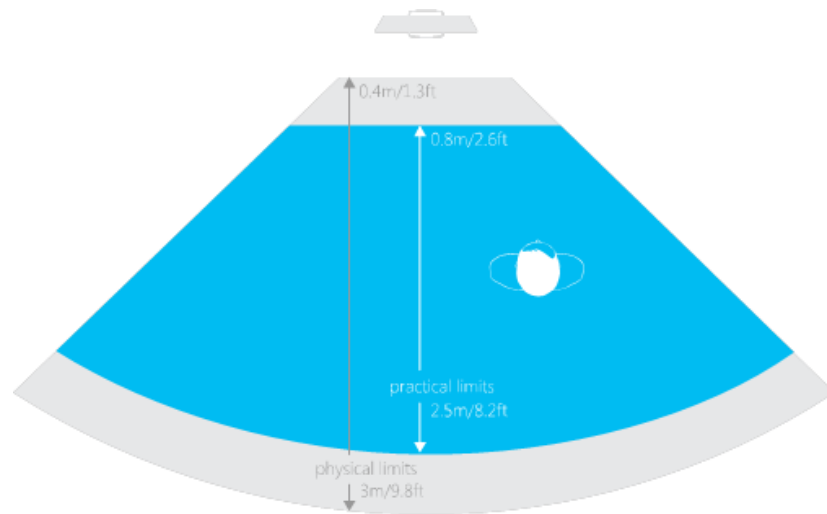


Abbildung 2.3: Diese Darstellung zeigt den horizontalen Erkennungsbereich der Microsoft Kinect. Sie erfasst einen Bereich von 0,8 bis 4 Meter vor dem Sensor. Außerdem umspannt sie einen horizontalen Winkel von 70°.

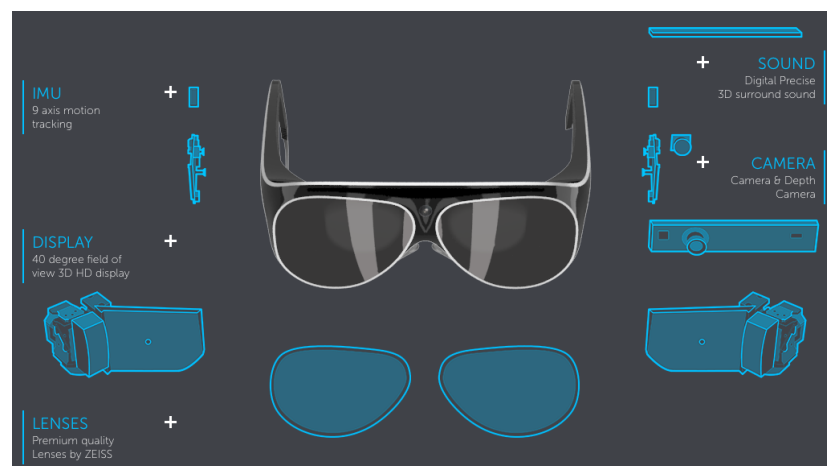


Abbildung 2.4: Diese Darstellung zeigt die technischen Komponenten der Meta Pro Datenbrille. Diese beinhaltet RGB-Kameras und Tiefenkameras, um Gesten vor der Brille erkennen zu können. Quelle: [Sla]

übernimmt ein externer Computer, der mit einem Intel Core i5 Prozessor, einem expliziten Grafikprozessor und vier Gigabyte Arbeitsspeicher ausgestattet ist. Die Brille und der Computer kommunizieren drahtlos miteinander.

2.3 Verwandte Arbeiten

2.3.1 Leap Motion

Für die Leap Motion wurden bereits einige Anwendungen entwickelt und über die Applikationsplattform *Leap Motion Airspace Store* zur Verfügung gestellt. Einige von diesen Anwendungen werden im Folgenden vorgestellt. Die zusammengestellten Information stammen aus dem Airspace Store [Lea14a].

Steuerung des Betriebssystems

Eine größere Gruppe von Anwendungen wurde für den Zweck entwickelt, Desktop-Betriebssysteme mittels Freihandgesten zu steuern. Dabei werden vor allem regelmäßig anfallende Aktionen, wie das Positionieren von Applikationsfenstern oder das vertikale Scrollen durch Webseiten und Texte ermöglicht. In diesem Abschnitt werden einige Beispiele für solche Programme und deren zentrale Ideen für die Interaktion vorgestellt.

Pointable Pointable ist eine Anwendung, die die Steuerung eines Betriebssystems wie Windows oder Mac OS mittels Leap Motion ermöglichen soll. Dazu implementiert Pointable zunächst verschiedene Gesten, um Eingaben mit der Maus zu simulieren. So können einfache Klicks, Doppelklicks, Klicks mit der rechten Maustaste oder auch Drag & Drop-Aktionen ausgeführt werden. Wird mit dem Finger auf einer Stelle ein Kreis gezeichnet, kann damit nach oben und unten gescrollt werden, je nachdem in welche Richtung der Finger bewegt wird. Weiterhin bietet Pointable dem Nutzer ein kontextuelles Menü an. Dieses ermöglicht es einem, je nachdem welches Programm fokussiert wird, verschiedene Funktionen auszuführen. Beispielsweise kann die Lautstärke geregelt werden, wenn mit Programmen wie Spotify Musik abgespielt wird. Weiterhin bietet es durch die Anwendung von festgelegten Gesten die Möglichkeit, Programmfenster zu positionieren, zu minimieren oder zu maximieren und zwischen Programmfenstern zu wechseln.

Touchless for Mac & Touchless for Windows Touchless implementiert lediglich einige rudimentäre Interaktionsaufgaben. So ist es möglich, durch das Bewegen der Hand oder des Fingers in Richtung des Bildschirms, einen Mausklick auszulösen. Weiterhin kann mit einer Wischgeste nach rechts beziehungsweise links und oben beziehungsweise unten horizontal und vertikal gescrollt werden. Zu guter Letzt unterstützt Touchless das Vergrößern und Verkleinern von Bildelementen mittels einer Pinch & Zoom-Geste unter MacOS X und durch das Auseinander- beziehungsweise Zueinander-Bewegen der Hände unter Windows. Touchless visualisiert, im Gegensatz zu den beiden folgenden Anwendungen, die erkannten Finger und Hände als Punkte auf dem Bildschirm. Wird die Hand in Richtung des Bildschirms bewegt und der virtuelle Druckpunkt erreicht, verändern die Punkte ihre Farbe, um dies zu Visualisieren.

Better Touch Tool Ebenso wie das im vorigen Abschnitt vorgestellte Touchless, ermöglicht Better Touch Tool die Steuerung von grundlegenden Funktionen von MacOS X. Dabei setzt Better Touch Tool auf ein frei konfigurierbares System. Das heißt, der Nutzer kann für jede erkennbare Geste selbst festlegen, welche Funktion dadurch ausgelöst werden soll. Hierbei können nicht nur Funktionen des Betriebssystems, sondern auch Funktionen von Programmen registriert werden. Verwendbare Gesten sind beispielsweise Wischgesten nach rechts, links, oben und unten, wobei auch die Anzahl der Finger unterschieden werden kann. Weiterhin gibt es Kreisgesten, wobei mit einem oder mehreren Fingern kontinuierlich ein Kreis gezeichnet wird. Weitere Gesten sind Pinch & Zoom-Gesten mit den Händen, Klickgesten mit der Hand und Klickgesten mit dem Daumen. Bei einer Klickgeste mit der Hand wird mit dem Finger das gewünschte Ziel fokussiert und die Hand Richtung Bildschirm bewegt, bis der Klick ausgelöst wird. Beim Klick mit dem Daumen wird der Daumen zunächst von der Hand gespreizt und anschließend zur Hand geführt. Wenn der Daumen an der Hand anliegt, wird an der mit dem Finger fokussierten Stelle ein Klick ausgeführt. Indem mit den Fingern nach unten oder oben gezeigt wird, kann beispielsweise ein Scrollvorgang angestoßen werden. Mit dieser Menge an erkennbaren Gesten, die durch eine unterschiedliche Anzahl an verwendeten Fingern viele verschiedene Eingaben ermöglicht, lassen sich viele alltägliche Anwendungen wie das Besuchen einer Webseite oder das Organisieren von Applikationsfenstern gut durchführen. Damit der Nutzer über die Erkennung seiner durchgeführten Gesten informiert ist, zeigt das Better Touch Tool zu jeder erkannten Geste ein entsprechendes Symbol in der Mitte des Bildschirms an.

HandWAVE Auch HandWave verwendet zur Steuerung von Windows und MacOS X einige unterschiedliche Gesten, die ebenso wie beim bereits vorgestellten Better Touch Tool einigen Funktionen zugeordnet werden können. In diesem Fall sind allerdings sowohl die Anzahl der Gesten, als auch die verfügbaren Funktionen im Vergleich zum Better Touch Tool eingeschränkter. So erkennt HandWave Wischgesten nach rechts, links, oben und unten, sowie Kreisgesten mit und gegen den Uhrzeigersinn. Weiterhin wird vertikales Scrollen durch das nach unten oder oben Neigen der Hand, sowie das Schließen der Hand erkannt. Dieses kann für explizite Funktionen, wie das Starten und Stoppen der Medienwiedergabe verwendet werden. Die verfügbaren Funktionen sind die Eingabe von Tastenkombinationen, die virtuelle Betätigung des Scrollrads und die Kontrolle der Medienwiedergabe. Genauso wie das Better Touch Tool zeigt HandWAVE erfolgreich erkannte Gesten durch ein passendes Symbol in der Mitte des Bildschirms an.

3D Manipulation

Ein weiteres Anwendungsfeld für die Leap Motion ist das Interagieren mit dreidimensionalen Objekten. Hierfür können Metaphern leicht aus der Realität in die Mensch-Computer-Interaktion übertragen werden. Beispielsweise können Objekte gegriffen, gedreht, verschoben und verformt werden, indem die realen Aktionen mit der Hand nachgeahmt werden. Einige Beispiele von Applikationen, die ebensolche Anwendungsfälle umgesetzt haben, werden im Folgenden vorgestellt.

Autodesk Maya Autodesk bietet eine Erweiterung zu Ihrem 3D-Visualisierungs- und -Animations-Programm an, welche die Interaktion mit den 3D-Modellen ermöglicht. So können beispielsweise die Koordinaten der Hände auf die Freiheitsgrade eines Modells abgebildet werden. Das heißt, mittels entsprechender Bewegung der Hände kann mit dem Modell interagiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Navigation durch den dreidimensionalen Raum, in dem die 3D-Modelle angeordnet sind. Hierzu lässt sich mit der Hand die Position und Ausrichtung der virtuellen Kamera anpassen, indem die Hand nach rechts und links, sowie oben, unten, vor und zurück bewegt wird. Weiterhin lassen sich die Modelle direkt mit einem Finger manipulieren. Das heißt, es ist möglich, mit dem Finger in das Modell hinein zu drücken, um es zu verformen. Genauso kann das Modell mit dem Finger verzogen beziehungsweise *verschmiert* werden. Eine passende Metapher ist die Interaktion mit Knetmasse. Diese lässt sich ebenso eindrücken und verschmieren, wie es in Maya nachgebildet wurde.

Google Earth Google Earth liefert ein weiteres Beispiel für die Interaktion mit dreidimensionalen Modellen. Dabei ermöglicht eine Erweiterung für Google Earth die Bedienung mit der Leap Motion. Im Detail wird das Navigieren durch die Welt, indem mit der Hand die Ausrichtung eines Flugzeugs imitiert wird, ermöglicht. Das heißt, wenn die Hand nach oben geneigt wird, fliegt das Flugzeug nach oben und man entfernt sich von der Erdoberfläche. Dementsprechend führt das Neigen der Hand nach unten, links oder rechts zum Fliegen nach unten beziehungsweise zu einer Rechts- oder Linkskurve.

Cerec Ein oft genanntes Argument für gestenbasierte Benutzerschnittstellen ist, dass es die Verwendung von Computern in Umgebungen ermöglicht, in denen das Berühren von Benutzerschnittstellen aus hygienischen Gründen oder wegen der Gefahr der Verschmutzung nicht möglich ist. Eine Umgebung in der dies der Fall ist, ist die Arztpraxis. Die hier vorgestellte Anwendung ermöglicht es Zahnärzten, berührungslos mit Computern zu interagieren, um beispielsweise Röntgenaufnahmen von Zähnen aus verschiedenen Perspektiven betrachten zu können oder dem Patienten bestimmte Sachverhalte anhand von dreidimensionalen Modellen des Mundinnenraumes zu erläutern.

Hologram 3D Solar System Ein Projekt von Studenten der Universität von Mindanao ermöglicht das Interagieren mit einem Hologram, welches das Sonnensystem darstellt. Mittels Gesten können dabei zusätzliche Informationen eingeblendet und ausgeblendet werden. Die Informationen werden innerhalb von Fenstern vor der Darstellung der Planeten angezeigt. Diese Fenster können mittels Wischgesten verschoben und geschlossen werden.

2.3.2 Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Combining multiple gesture sensing technologies to interact with public display [Met14]

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie verschiedene Technologien zur Gesterkennung kombiniert werden können, um die Interaktion mit Public Displays zu unter-

stützen. Dabei wurden die Microsoft Kinect und die Leap Motion verwendet. Die Vorteile der Microsoft Kinect liegen in der größeren Reichweite, die der Leap Motion in der höheren Genauigkeit. Die Idee des Autors ist es deshalb, die Microsoft Kinect für die Interaktion im Abstand von wenigen Metern zu verwenden und auf die Leap Motion zu wechseln, sobald der Nutzer sich dem Public Display auf Armlänge nähert. Dazu mussten die Koordinatensysteme der Leap Motion und der Microsoft Kinect im Übergangsbereich zusammen geführt werden, um keinen abrupten Übergang beim Wechsel der Koordinatensysteme zu erhalten. Weiterhin wurde der Interaktionsbereich vor dem öffentlichen Display in vier Bereiche unterteilt, die eine unterschiedlich präzise Interaktion ermöglichen. Der Touch-Raum, ein Bereich für feinere Gesten, ein Bereich für normale Gesten und schlussendlich ein letzter Bereich für grobe Gesten. Für jeden der Interaktionsräume wurden die gewünschten Gesten sowohl für die Microsoft Kinect als auch für die Leap Motion implementiert. Einmal mit einer [Lea14a] Bewegung mit dem ganzen Arm, einmal mit einer feineren Bewegung mit der Hand oder den Fingern. Dadurch soll eine nahtlose und konsistente Bedienung im gesamten Bereich ermöglicht werden.

Motion EAP - 2D und 3D Gesten-Interaktion mit einem Assistenzsystem am Arbeitsplatz für leistungsgeminderte Arbeiter [Mar14]

Im MotionEAP Projekt wurden wie in der zuvor beschriebenen Arbeit die Microsoft Kinect und Leap Motion kombiniert um die Interaktion mittels Gesten für ein spezielles System zu ermöglichen. Dieses System dient der Unterstützung von leistungsgeminderten Arbeitern, die ein Werkstück anfertigen. Dazu projiziert das System eine Benutzeroberfläche auf den Arbeitstisch. Mit dieser Benutzeroberfläche und dem System soll mittels Gesten interagiert werden können. Damit sowohl ein großer Bereich überwacht, als auch präzise Gesten erkannt werden können, wurden eine Microsoft Kinect und eine Leap Motion installiert. Mithilfe beider Systeme, wurden zweidimensionale, dreidimensionale und hybride Gesten entwickelt und untersucht. Hybride Gesten sind Kombinationen aus zweidimensionalen und dreidimensionalen Gesten. Das heißt, mit einer Hand wird eine Geste im zweidimensionalen Raum ausgeführt, mit der Anderen im dreidimensionalen. Die Konzentration lag dabei auf der Entwicklung von Designrichtlinien, die das Entwickeln von Benutzerschnittstellen für leistungsgeminderte oder leistungsgewandelte Arbeiter erleichtern. Das Ergebnis hat gezeigt, dass zweidimensionale Gesten gegenüber den anderen Alternativen bevorzugt werden, da sie einfacher auszuführen und einfacher zu merken sind.

2.3.3 Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller einbauen [WBRF13]

Diese Veröffentlichung von Frank Weichert, Daniel Bachmann, Bartholomäus Rudak und Denis Fisseler untersucht die Genauigkeit und Robustheit der Leap Motion. Dabei wird neben der Genauigkeit untersucht, wie exakt sich eine Eingabe wiederholen lässt. Dafür wurde ein Industrieroboter verwendet, der einen Stift mit einer Genauigkeit von 0,2 Millimetern positionieren kann. Zunächst wurden statische Setups untersucht, das heißt, der Stift wurde

vom Industrieroboter fest platziert und dessen Position mit des Leap Motion gemessen. Dabei wurde eine Genauigkeit von 0,2 Millimetern erreicht. Die gemessene Abweichung ist dabei unabhängig vom Radius des eingesetzten Stiftes und von den Achsen. Weiterhin wurden dynamische Situationen untersucht, bei denen die Stiftspitze des Industrieroboters entlang unterschiedlicher Pfade bewegt wurde. Dabei wurde eine Genauigkeit von 2,5 Millimetern gemessen. Die durchschnittliche Abweichung der Messungen lag bei 1,2 Millimetern. Bei der wiederholten Messung von Bewegungen zu diskreten Punkt auf den Ebenen entlang der verschiedenen Achsen des Koordinatensystems der Leap Motion, ergab sich eine durchschnittliche Abweichung (repeatability) von weniger als 0.17 Millimetern. Bei der Bewegung entlang diskreter Punkte auf einer Sinuskurve wurde eine Wiederholpräzision von 0,7 Millimetern gemessen. Das heißt, die von Leap Motion beworbene Genauigkeit von 0,01 Millimetern wurde nicht erreicht. Die Autoren sehen die Leap Motion dennoch als einen für gestenbasierte Benutzerschnittstellen sehr genauen Controller an. Vergleichbare Controller wie die Microsoft Kinect bieten laut den Autoren keine so hohe Genauigkeit. Weiterhin sehen sie die Entwicklung geeigneter Benutzerschnittstellen als die anstehende Herausforderung an, um die Leap Motion in mehr Situationen nutzen zu können.

2.3.4 To Touch or no to Touch? Comparing 2D Touch and 3D Mid-Air Interaction on Stereoscopic Tabletop Surfaces [BSS13]

In dieser Arbeit von Gerd Bruder, Frank Steinicke und Wolfgang Stürzlinger werden die Interaktionstechniken Touch-Eingabe und Eingabe mittels Freihandgesten am Beispiel eines Schreibtischcomputers mit stereoskopischer Anzeige verglichen. Die primäre Fragestellung war dabei, ob sich stereoskopisch dargestellte Objekte leichter mit Touch-Eingaben oder mit Freihandgesten-Eingaben selektieren lassen. Um dies zu evaluieren, wurde die Zeit gemessen, die zur Auswahl eines stereoskopischen Objekts mittels Touch-Eingabe und Freihandgesten-Eingabe nötig ist. Während mit der Freihandgeste direkt auf das Objekt gezeigt wird, muss für die Auswahl mittels Touch-Geste durch das stereoskopische Objekt hindurch gefasst und auf den Bildschirm getippt werden. Die Erkenntnisse waren, dass die zweidimensionale Auswahl (per Touch) für virtuelle Objekte bis zu einer Höhe von 10 cm besser funktioniert, als die dreidimensionale. Objekte, die höher als 10 cm sind, lassen sich schneller mit der dreidimensionalen Methode auswählen. Zur Erkennung der Freihandgesten, beziehungsweise Posen, wurde eine Leap Motion verwendet. Sie werten ihre Ergebnisse als Ermutigung für die Verwendung von stereoskopischen Darstellungen bei berührungssensitiven Bildschirmen, da die Freihandgesten-Eingabe erst ab einer Höhe von 10cm Vorteile bietet.

3 Konzept

In diesem Kapitel werden die Interaktionskonzepte für die beiden Anwendungsfälle *UID Interaktive Berichte* und *Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn* beschrieben. Hierbei wird dargestellt, welche Anforderungen an Benutzerschnittstellen im Allgemeinen und an die jeweilige Lösung im Speziellen zu welchen Ergebnissen geführt haben. Weiterhin wird das entstandene Gesamtkonzept vorgestellt.

3.1 UID Interaktive Berichte

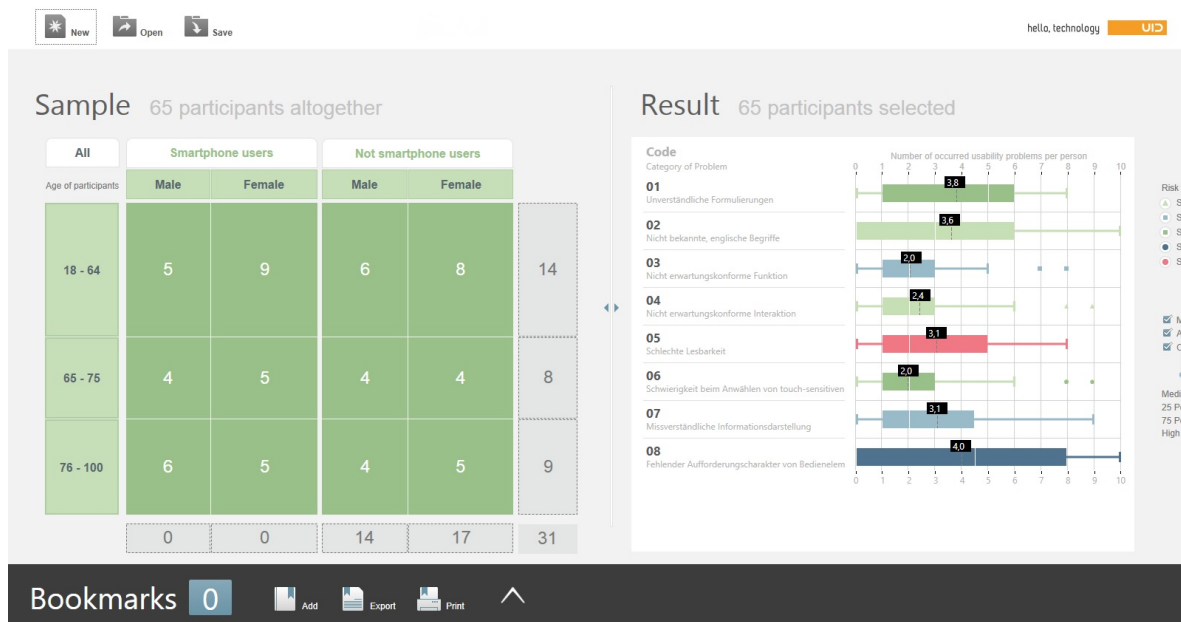


Abbildung 3.1: Abbildung der Applikation **UID Interaktive Berichte**. Im linken Bereich können verschiedene Teilmengen der Probanden ausgewählt werden, indem die entsprechenden Rechtecke angeklickt werden. Rechts sind die Ergebnisse der Studie per Boxplot pro Frage dargestellt. Die Visualisierung der Antworten wird aktualisiert, sobald eine andere Menge von Probanden ausgewählt wird.

Die Applikation *UID Interaktive Berichte* ermöglicht es, Studienergebnisse interaktiv zu visualisieren. Dazu können Teilmengen der Probanden, die an der Studie teilgenommen haben, ausgewählt werden. Hierfür werden die verschiedenen Gruppen, auf den beiden Achsen *Alter*

3 Konzept

und *Typ* angeordnet, als Rechtecke dargestellt (siehe 3.1 links) und können per Mausklick an- oder abgewählt werden. Zu der aktuell ausgewählten Teilmenge der Probanden werden die Ergebnisse der Studie pro Frage als Boxplot visualisiert (siehe 3.1 rechts). Ausreißer bei den Antworten der Probanden werden als Punkte rechts oder links vom Boxplot angezeigt. Diese können mittels Mausklick ausgewählt werden, um die zugehörige Untergruppe des Probanden und dessen Antworten auf die übrigen Fragen anzuzeigen. Studien können über die Knöpfe links oben als xml-Datei gespeichert und geladen werden. Das Bookmarks-Menü (siehe 3.2 unten) am unteren Rand der Applikation ermöglicht es, Schnappschüsse der aktuellen Auswahl von Probanden zu erstellen, sowie diese erneut zu laden und zu exportieren.

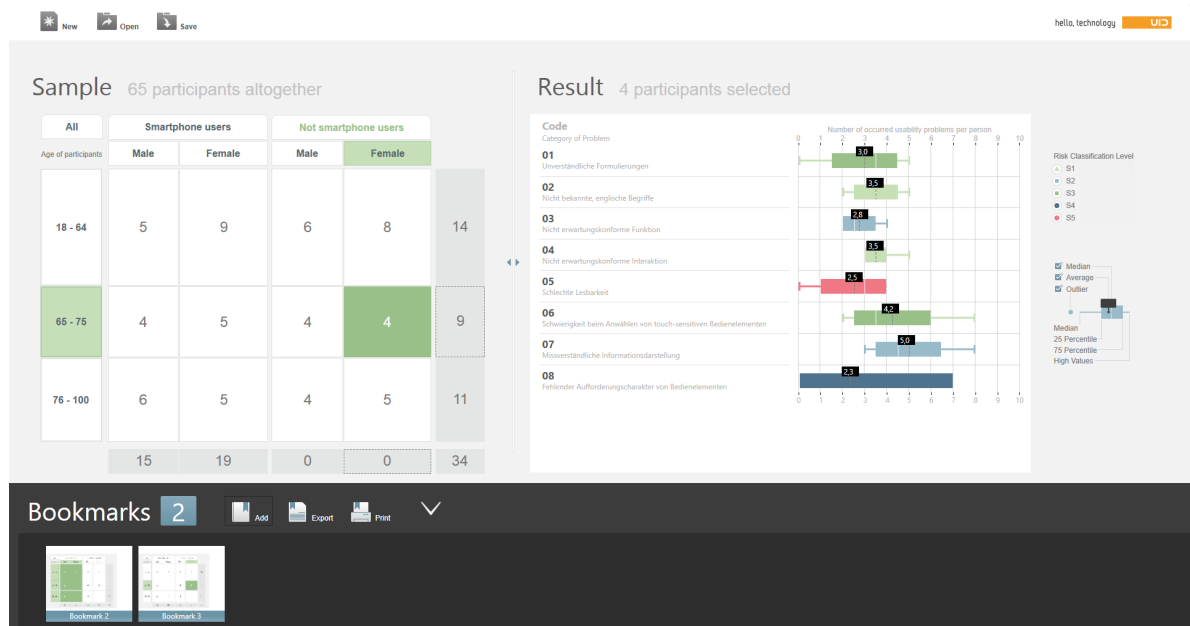


Abbildung 3.2: Abbildung der UID Interaktive Berichte Applikation. Im Bookmarks-Menü (unten) können Schnappschüsse der aktuellen Auswahl angelegt und exportiert werden.

3.1.1 Anforderungen

Das Interaktionskonzept für **UID Interaktive Berichte** soll alle grundlegenden Funktionen der Software unterstützen, die keine Texteingabe erfordern. Das heißt, folgende zentrale Funktionen sollen unterstützt werden:

- **Auswahl von Untergruppen:**

Jede mögliche Kombination von Untergruppen der Probanden soll auswählbar sein. Oft verwendete Zusammenstellungen sind Zeilen und Spalten (Zum Beispiel: Alle Frauen oder alle Probanden einer bestimmten Altersgruppe). Die Teilmengen können auch beliebig gruppiert werden (Beispielsweise Frauen bis 46 und Männer ab 76).

- **Auswahl von Ausreißern:**
Pro Frage werden Ausreißer bei den Antworten der Probanden angezeigt. Diese sollen selektiert werden können, sodass die Untergruppe des zugehörigen Probanden und dessen Antworten auf die übrigen Fragen angezeigt werden.
- **Anlegen von Bookmarks:**
Über das Bookmarks-Menü sollen Schnappschüsse der aktuellen Auswahl angelegt und wieder geladen werden können.
- **Bedienung des Hauptmenüs:**
Über die Menüknöpfe links oben (siehe: 3.1) sollen Studien erstellt, geladen und gespeichert werden können. Die dafür benötigten Windows Explorer-Fenster sollen nicht mittels Gesten bedient werden können.

Diese Anforderungen ergeben sich implizit aus der Funktionalität der zu bedienenden Applikation. Weiterhin wurden folgende Anforderungen explizit festgelegt:

- Die Bedienung soll möglichst schnell und *beiläufig* durchführbar sein. Das heißt, der Benutzer soll keine „albern“ aussehenden Bewegungen ausführen müssen, um Eingaben zu tätigen.
- Die Interaktion muss nicht in erster Linie intuitiv und selbsterklärend sein. Stattdessen soll primär die erste explizite Anforderung umgesetzt werden. Dafür wird ein gewisser Lernaufwand für das Bedienen der Applikation akzeptiert.

Daraus ergibt sich, dass eine genau auf die Applikation angepasste, spezifische Bedienung mittels Gesten entworfen werden soll. Die Wiederverwendung von Interaktionstechniken, wie sie bei bereits existierenden Anwendungen für die Microsoft Kinect oder Leap Motion verwendet werden, steht nicht im Fokus. Da solche Anwendungen zudem noch keine weite Verbreitung erlangt haben, kann im Allgemeinen sowieso noch nicht auf eine Menge an standardisierten Gesten zurückgegriffen werden, die viele Leute bereits kennen, wie es beispielsweise bei zweidimensionalen Gesten der Fall ist (Beispiele: Pinch-&Zoom, Wischgesten).

3.1.2 Konzept

In diesem Abschnitt werden die grundsätzlichen Ideen des Interaktionskonzepts beschrieben und erklärt. Dabei werden Gesten vorgestellt, die eine direkte Eingabe ermöglichen, sowie Gesten die zur Aktivierung verschiedener Eingabemodi benutzt werden.

Clutching-Konzepte

Da die Interaktion mittels Freihandgesten die Eigenschaft besitzt, jede durchgeführte Bewegung als Eingabe zu interpretieren, ob gewollt oder nicht, muss beim Entwerfen eines Interaktionskonzeptes bedacht werden, wie bestimmte Gesten nur dann zu einer Eingabe führen, wenn dies auch gewünscht ist. Der Vorgang des Umschaltens von Eingabemodi,

beispielsweise indem mit der zweiten Hand eine Faust gemacht wird, wird in [WW11] als „clutching“ (deutsch: kuppeln) beschrieben. Dieser Ansatz wurde für die UID Interaktive Berichte Applikation mit verschiedenen *clutching*-Konzepten umgesetzt, welche im Folgenden vorgestellt werden.

Applikationszonen Ein Konzept, um den *clutching*-Ansatz umzusetzen, sind Applikationszonen. Diese ermöglichen das Aktivieren und Deaktivieren verschiedener Eingabemodi entsprechend der ausgewählten Applikationszone. Denn unterschiedliche Bereiche der Applikation bieten verschiedene Funktionen und benötigen damit auch entsprechende Eingabemodi. Hierfür wird die Applikation in einige Bereiche aufgeteilt, für die jeweils festgelegt wird, welche Eingabemodi aktiv sind. Um die entsprechende Applikationszone zu aktivieren oder zu deaktivieren, muss der zugehörige Bereich fixiert und eine entsprechende Geste ausgeführt werden.

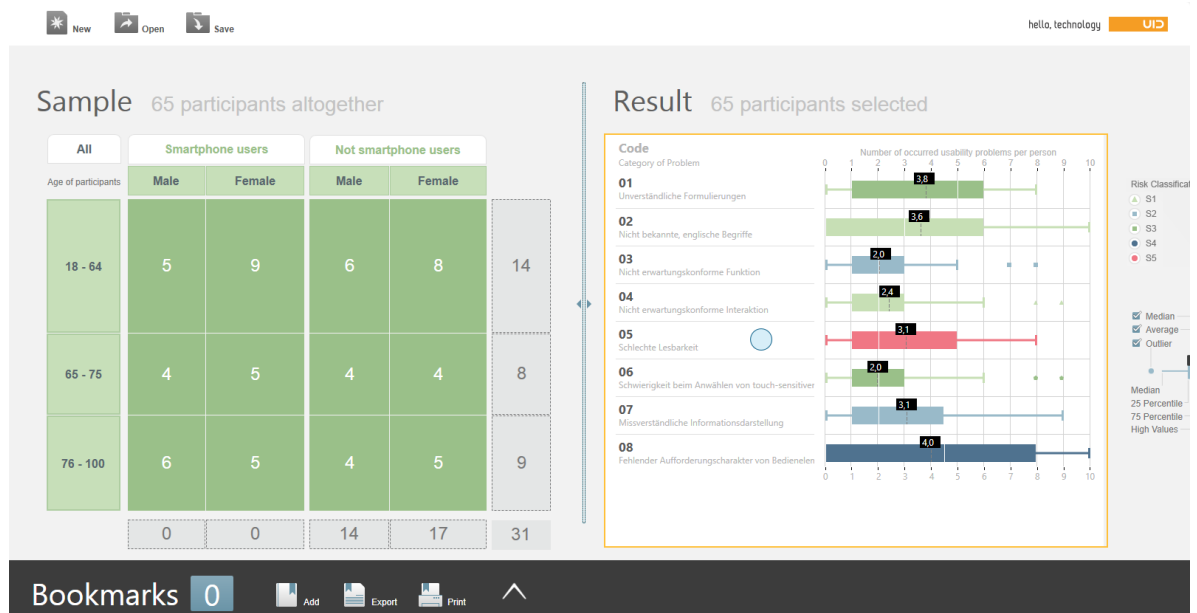


Abbildung 3.3: Abbildung der Applikationszonen. Aktuell ist die Applikationszone ausgewählt und mit einem Rahmen markiert, die die Auswahl von Ausreißern ermöglicht.

Interaktionszonen Ein weiterer *clutching*-Ansatz ist das Konzept der Interaktionszonen. Hierbei wird der Interaktionsraum der Erkennungshardware in zwei Bereiche vor und hinter einer virtuellen Ebene unterteilt. Das heißt, befindet sich die Hand des Benutzers vor der virtuellen Ebene, ist die Interaktionszone „Nutzerraum“ aktiviert, befindet sie sich dahinter, ist die Zone „Bildschirmraum“ aktiviert. Ebenso wie bei den Applikationszonen, können für beide Bereiche verschiedene Eingabemodi definiert werden. Zusätzlich können Aktionen festgelegt werden, die beim Eintrittszeitpunkt in eine Zone ausgeführt werden. Außer der

Aktivierung von Eingabemodi können die Interaktionszonen auch zur Simulation von Berührungseingaben verwendet werden. So fungiert das Durchstoßen der virtuellen Ebene wie das Berühren eines berührungssensitiven Bildschirms.

Zweite Hand & Finger Das letzte implementierte *clutching*-Konzept ist die Verwendung der zweiten Hand und von verschiedenen Ausrichtungen der Finger, um unterschiedliche Eingabemöglichkeiten zu aktivieren. Um den Eingabemodus zu verändern, wird hierbei zum Beispiel die zweite Hand in den Interaktionsraum gehalten. Weiterhin kann sowohl bei der primären wie auch bei der sekundären Hand die Fingerhaltung als zusätzlicher *clutch* verwendet werden. So kann bei beiden Händen eine explizite Anzahl von ausgestreckten Fingern oder ein bestimmter Winkel zwischen zwei Fingern zur Aktivierung von bestimmten Modi benutzt werden. Für die UID Interaktive Berichte Anwendung werden verschiedene Handhaltungen unterstützt. So symbolisiert die zweite Hand als Faust das Hinzufügen von weiteren Probandengruppen, während sie mit fünf gespreizten Fingern den Eingabemodus „Reihen- & Spaltenauswahl“ (siehe 3.1.2) aktiviert. Weiterhin kann mit der primären Hand auf unterschiedliche Weise fokussiert werden. So kann mit nur einem ausgestreckten Finger auf die Stelle gezeigt werden, an der der Cursor platziert werden soll. Dazu wird die vom Finger angedeutete Linie auf den Bildschirm projiziert. Mit fünf Fingern kann die Position der Hand auf den Bildschirm abgebildet werden. Das heißt die x- & y-Koordinate der Hand im Koordinatensystem der Leap Motion wird abgebildet auf die x- & y-Koordinate des Cursor auf dem Bildschirm. Außerdem kann mit rechtwinkliger Haltung von Zeigefinger und Daumen der Eingabemodus „Shortcuts“ eingesetzt werden.

Eingabemodi

Im vorhergehenden Abschnitt wurden Möglichkeiten vorgestellt, verschiedene Eingabemodi zu Aktivieren und zu Deaktivieren. Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick darüber gegeben, welche Modi dabei verwendet werden können.

Shortcuts Eine Eingabemöglichkeit sind Shortcuts. Hierbei wird eine Geste, beziehungsweise ein Symbol mit einem Finger auf den Bildschirm gezeichnet. Dazu erscheint, sobald die entsprechende Handhaltung eingenommen wurde, auf dem Bildschirm der Pfad des Cursors als Linie. Das heißt, eine Linie wird genau durch alle Punkte durch die sich der Cursor zuletzt bewegt hat, gezeichnet. Der Cursor folgt dabei der Bewegung der Hand beziehungsweise des Fingers. Wird die Hand still gehalten, ist die aktuell gezeichnete Geste abgeschlossen und der Pfad verschwindet, bis von neuem mit dem Zeichnen begonnen wird. Wurde die Geste vollständig ausgeführt, wird das Zeichen registriert und die zugehörige Aktion ausgeführt. Für die Bedienung der Interaktive Berichte-Applikation werden drei Shortcuts angeboten. Zum Einen jeweils ein Shortcut um die männlich- oder weiblich-Spalten auszuwählen und zum Anderen, ein dritter Shortcut um die folgende Auswahl als Hinzufügen und nicht als neue Auswahl zu deklarieren. Die ersten beiden Shortcuts imitieren die Symbole für männlich und weiblich, das Symbol zum Hinzufügen ist das Plus-Zeichen (siehe Abbildung 3.6).

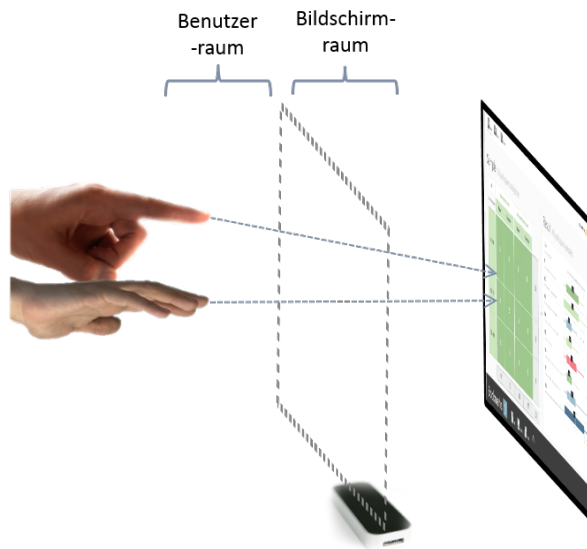


Abbildung 3.4: Abbildung der Interaktionszonen. Beim Durchstoßen der virtuellen Ebene wird die entsprechende Interaktionszone aktiviert und eventuell festgelegte Aktionen durchgeführt. Weiterhin werden verschiedene Möglichkeiten der Fokussierung dargestellt. Die obere Hand zeigt den Modus *Projection*, bei dem die durch den Finger angedeutete Gerade auf den Bildschirm projiziert wird und die untere Hand zeigt den Modus *Hand*, bei dem die Position der Handmitte im Koordinatensystem der Leap Motion auf die Cursorposition auf dem Bildschirm abgebildet wird.

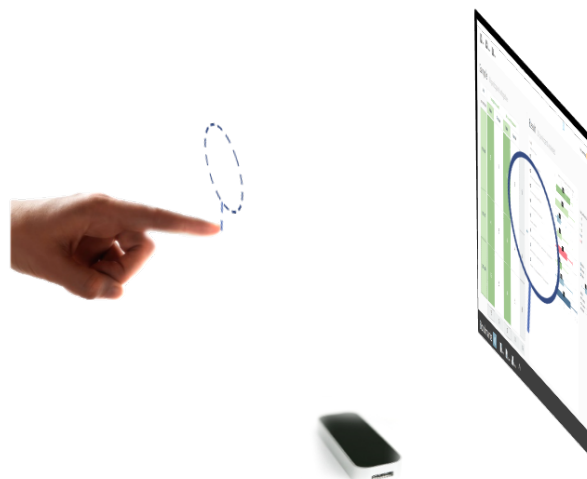


Abbildung 3.5: Die Abbildung stellt die Verwendung des Eingabemodus *Shortcuts* dar. Mit dem Zeigefinger wird das entsprechende Symbol auf den Bildschirm gezeichnet und daraufhin die zugehörige Aktion ausgeführt.

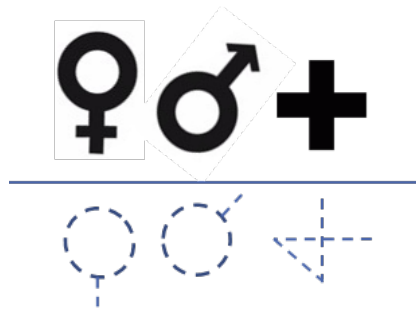


Abbildung 3.6: Diese Abbildung zeigt die drei in der UID Interaktive Berichte verwendeten Symbole für den Eingabemodus *Shortcuts*. Oberhalb der Linie sind dabei die Vorlagen der Gesten dargestellt, unten die entsprechenden Pfade, die auf den Bildschirm gezeichnet werden müssen.

Auswahl von Reihen & Spalten Eine weitere Eingabemöglichkeit ist die direkte Auswahl von Zeilen und Spalten. Hierbei wird die primäre Hand mit gespreizten Fingern waagrecht oder senkrecht gehalten, um Zeilen respektive Spalten auszuwählen (siehe 3.7). Die primäre Hand ist dabei diejenige, die zuerst in den Interaktionsraum bewegt wurde. Der Winkel, in dem die Hand relativ zur xz -Ebene ($y=0$) beziehungsweise zur yz -Ebene ($x=0$) gehalten wird, bestimmt die Reihe oder Spalte. Dies wird im Falle der Anwendung UID Interaktive Berichte auf die Zeilen und Spalten der Probandenauswahl angewendet, sodass mit den Reihen bestimmte Altersgruppen ausgewählt werden können und mit den Spalten Experten oder Laien.

Magnetische Selektion Dieser Eingabemodus erleichtert die Auswahl von Elementen auf einem Bildschirm. Hierzu wird immer ein Element aus einer festgelegten Menge von auswählbaren Elementen selektiert. Dies geschieht, indem das Element, welches dem Cursor am nächsten ist, ausgewählt wird, auch wenn der Cursor das Element nicht direkt berührt. Das selektierte Objekt kann nun automatisch oder mit einer expliziten Geste angeklickt oder aktiviert werden. Dies erleichtert die Interaktion mit klassischen Benutzeroberflächen, da weniger genau gezielt werden muss.

Fokussierung Fokussierung, also die Platzierung des Cursors auf dem Bildschirm, kann mittels verschiedener Modi durchgeführt werden. Diese sind: *Hand*, *Fingertip* und *Projection*. Bei den ersten beiden Methoden wird die (x,y) -Koordinate der Hand, beziehungsweise der Fingerspitze im Koordinatensystem der LeapMotion auf die Cursorposition im Koordinatensystem des Bildschirms abgebildet. Beim Modus *Projection* wird die Gerade, die durch den Zeigefinger angedeutet wird, auf den Bildschirm projiziert. Das heißt, es wird der Schnittpunkt der virtuellen Gerade und des Bildschirms berechnet und als Cursorposition verwendet. Dies wird in der Abbildung 3.4 dargestellt.

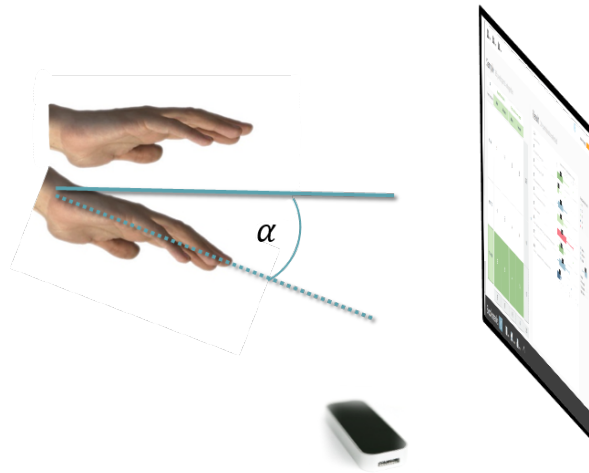


Abbildung 3.7: Dies ist eine Visualisierung des Eingabemodus „Zeilen- & Spaltenauswahl“. Um den Modus zu aktivieren, muss die zweite Hand mit gespreizten Fingern in den Interaktionsraum gehalten werden. Dann kann die primäre Hand waagrecht oder senkrecht gehalten werden, um mit dem Winkel zwischen der Hand und einer virtuellen xz -, beziehungsweise ($y=0$) yz -Ebene ($x=0$) zu bestimmen, welche Zeilen oder Spalten ausgewählt werden. Das heißt, die Hand muss für die Auswahl von Reihen nach oben oder unten geneigt werden und für die Auswahl von Spalten nach links oder rechts.

Klick Um einen Klick auf ein Element der Benutzeroberfläche durchzuführen, wird das Konzept der Interaktionszonen verwendet. Das heißt, sobald die Grenze zur Interaktionszone Bildschirmraum durchstoßen wird, wird ein Klick ausgeführt. Dabei kann im normalen Fokussierungsmodus an der Stelle geklickt werden, an der sich der Cursor befindet oder bei Verwendung der magnetischen Selektion (3.1.2) das ausgewählte Objekt angeklickt werden.

Feedback Im Abschnitt 2.2.2 wurde festgestellt, dass Feedback über den Eingabezustand bei Freihandgesten-basierten Benutzerschnittstellen besonders notwendig ist. Dementsprechend wurde ein Konzept entwickelt, mit welchem diese Herausforderung adressiert wird. Das Feedback wird in Form eines speziellen Cursors umgesetzt, der jederzeit die aktiven Eingabe-Modi anzeigt. Dazu enthält der Cursor in der Mitte ein Symbol, welches den Eingabe-Modus darstellt. In Abbildung 3.8 sind die verschiedenen Symbole für die Modi *Pointing*, *Reihen-Spalten-Auswahl*, *Shortcuts* und *Hinzufügen* abgebildet. Weiterhin wird mit dem Cursor der Abstand zu den virtuellen Ebenen von Interaktionszonen visualisiert. Dabei läuft der Cursor kontinuierlich von außen voll, wenn sich die Hand der virtuellen Ebene nähert. Wenn die vordere Interaktionszone erreicht wurde und ein Klick ausgeführt werden soll, wird der Cursor dementsprechend eingefärbt, um den aktuell ausgeübten Druck zu visualisieren.

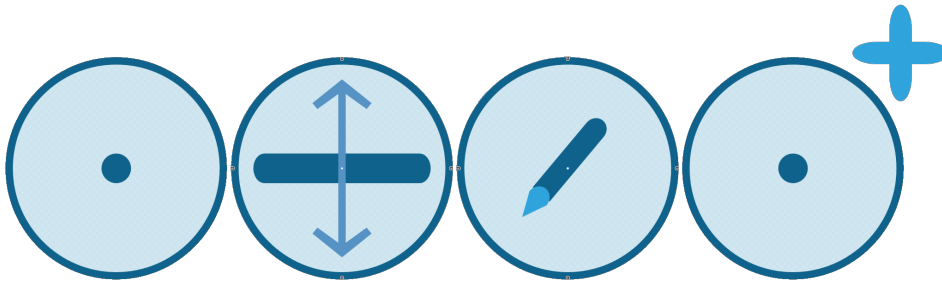


Abbildung 3.8: Diese Darstellung visualisiert den Cursor, der Feedback über den Zustand der Eingabe gibt. Die vier Abbildungen stellen jeweils unterschiedliche aktive Eingabemodi dar. Von links nach rechts: Fokussierung bzw. Klick, Reihenauswahl, Shortcuts und Plus. Die dazugehörigen Konzepte werden über diesem Abschnitt beschrieben.

3.1.3 Zusammenfassung

Ein wichtiger Aspekt des Interaktionskonzeptes ist die Aktivierung und Deaktivierung von verschiedenen Eingabemodi, um die Wahrscheinlichkeit für falsch-positive Fehler zu reduzieren. Hierfür wurden drei *clutching*-Konzepte umgesetzt. Diese sind Interaktionszonen, Applikationszonen und Hand- beziehungsweise Finger-Haltung. Interaktionszonen und Applikationszonen unterteilen den Interaktionsraum, beziehungsweise den Applikationsraum in verschiedene Bereiche, in denen verschiedene Eingabemodi aktiviert werden. Weiterhin kann innerhalb einer aktivierten Interaktions- und Applikationszone mit verschiedenen Hand- und Fingerhaltungen verschiedene Modi ausgewählt werden.

Die umgesetzten Eingabemodi orientieren sich an der zu bedienenden Applikation und ermöglichen beispielsweise die direkte Auswahl von Zeilen und Spalten oder die Verwendung von Shortcuts für bestimmte Funktionen.

Damit der Benutzer zu jeder Zeit weiß, welche Eingabemöglichkeiten er aktuell aktiviert hat, wird ebendies mit einem speziellen Cursor visualisiert, welcher unter anderem den aktiven Eingabemodus anzeigt.

3.2 Fahrkartenautomat der Bahn

Die Automatensoftware der Deutschen Bahn ermöglicht es unter anderem, Fahrkarten zu kaufen oder Fahrplanauskünfte einzuholen. Für die Bedienung mittels Gesten wird das Kaufen von Fahrkarten als zentraler Anwendungsfall betrachtet. Die Anwendung wird bisher ausschließlich mit Touch-Eingaben bedient und verzichtet auf kompliziertere Eingabetechniken wie lange Klicks oder zweidimensionale Gesten.



Abbildung 3.9: Darstellung der Software der Fahrkartenautomaten der Deutschen Bahn. Abgebildet ist die Benutzerschnittstelle während dem Kaufvorgang einer Fahrkarte. Die einzelnen Tabs der Applikation entsprechen den durchzuführenden Schritten.

3.2.1 Anforderungen

Mit der gestenbasierten Interaktion soll der komplette Kaufvorgang einer Fahrkarte unterstützt werden. Da die Automaten im öffentlichen Raum sowohl von Experten wie auch von Anfängern benutzt wird, liegt die Konzentration bei diesem Szenario auf einer möglichst intuitiven Bedienung. Das heißt, es sollen primär einfache Gesten verwendet werden, deren Funktion für jeden leicht ersichtlich ist. Weiterhin sollte die Benutzerschnittstelle dem Benut-

zer die Eingabemöglichkeiten zu jeder Zeit visualisieren, sodass die Interaktion möglichst selbsterklärend ist.

3.2.2 Konzept

Da die Interaktion möglichst intuitiv und selbsterklärend umgesetzt werden soll, muss sie sich an der Benutzerschnittstelle orientieren und somit eine direkte Bedienung realisieren. Dies ermöglicht es dem Benutzer, anhand der Darstellung der Applikation, herauszufinden, welche Optionen ihm zur Verfügung stehen, um die Anwendung zu bedienen. Ein Weg dies umzusetzen, ist die Simulation von Touch-Eingaben mittels Freihandgesten. Wo es sinnvoll erscheint, sollte stattdessen die Benutzerschnittstelle an die Bedienung mittels Freihandgesten angepasst werden, um deren Möglichkeiten auszunutzen.

Navigation Die Applikation ist mittels einzelner Reiter für die verschiedenen Schritte des Kaufvorgangs gegliedert. Diese Reiter werden am oberen Rand der Applikation horizontal sortiert angezeigt. Daher bietet es sich an, die Navigation zwischen den einzelnen Schritten mittels Wischgesten nach rechts und links umzusetzen, um einen Schritt weiter oder zurück zu gehen. Da bei vielen Kaufvorgängen die Standardeinstellungen übernommen werden können, empfiehlt es sich, Shortcuts für den Sprung ganz ans Ende oder an den Anfang des Vorgangs zu ermöglichen.

Direkte Interaktion Die Applikation der Fahrkartenautomaten basiert auf der Bedienung mittels berührungssensitiven Bildschirmen. Das heißt, alle Funktionen sind mit einfachen Schaltflächen umgesetzt. Da die direkte Interaktion mit der Oberfläche selbsterklärend und intuitiv ist, soll die Betätigung dieser Schaltflächen mittels Simulation von Berührungseingaben möglich sein. Dazu fokussiert der Benutzer ein Element und fährt mit der Hand in Richtung des Bildschirms. Wenn er die virtuelle Berührungsebene durchstößt, wird ein Klick auf das fokussierte Element ausgeführt.

Anpassungen Die wichtigste und regelmäßig anfallende Aufgabe beim Bestellen einer Fahrkarte am Fahrkartenautomaten ist das Auswählen des Zielbahnhofes und gelegentlich die Auswahl des Startbahnhofes. Hier wird in der originalen Version der Fahrkartenautomaten-Applikation eine Tastatur mit einzelnen Tasten für jeden Buchstaben verwendet. Diese Tasten sind relativ klein und mittels Freihandgesten schwierig zu selektieren. Darum erscheint es an dieser Stelle sinnvoll, eine alternative Variante zu implementieren und diese später mit der Originalen zu vergleichen. Die dabei entworfene Tastatur ist als Kreis angeordnet und enthält Kuchenstücke, die als Tasten für eine bestimmte Menge von Buchstaben fungieren (siehe Abbildung 3.11). Das heißt, möchte man den Buchstaben S eingeben, muss das Kuchenstück mit der Beschriftung „Q R S T“ auf der linken Seite des Kuchen angeklickt werden. Die zur aktuellen Menge an möglichen Buchstabenfolgen passenden Stationen werden links aufgelistet. Wenn nur noch eine kleine Menge an Stationen möglich ist, wird die Liste der verbliebenen Stationen angezeigt. Der kleinere Kreis in der Mitte der alternativen Tastatur visualisiert,

welche Buchstabengruppen bisher ausgewählt wurden. Da hier weniger und größere Tasten als bei der originalen Tastatur vorhanden sind, sollte die Eingabe mittels Freihandgesten einfacher fallen. Um dies zu evaluieren, wird ein entsprechender Studiendurchgang durchgeführt und dessen Ergebnisse im Kapitel Evaluation 5 präsentiert.



Abbildung 3.10: Diese Darstellung zeigt die Auswahl von Stationen mit den Fahrkartenselbstbedienungsgeräten der Deutschen Bahn. Dazu wird der Name der Station über eine Tastatur mit einzelnen Tasten für jeden Buchstaben eingegeben.

3.2.3 Zusammenfassung

Das Konzept für die Bedienung des Fahrkartenselbstbedienungsgeräts der Bahn orientiert sich an der Benutzeroberfläche, um möglichst selbsterklärend zu sein. Dabei wird zunächst die direkte Interaktion mit den vorhandenen Bedienelementen ermöglicht. Dies sind ausschließlich Schaltflächen, die mittels der Simulation von Berührungsinteraktion betätigt werden können. Des Weiteren wurden einige Eingabemöglichkeiten hinzugefügt, die sich nicht aus der direkten Interaktion ergeben. So kann beispielsweise mittels Wischgesten nach rechts und links durch die einzelnen Reiter navigiert werden. Zu guter Letzt wurde für die wichtigste Aufgabe beim Kauf einer Fahrkarte, das Auswählen eines Zielorts, eine angepasste Benutzeroberfläche entwickelt, die die Eingabe von Buchstaben zur Auswahl der gewünschten Station ermöglicht. Um die Interaktion möglichst wenig komplex zu halten, wurde auf kompliziertere Eingabemodi, die einer Erklärung benötigen würden, verzichtet.



Abbildung 3.11: Diese Abbildung zeigt die für Gesten angepasste Variante der Auswahl von Stationen mit den Fahrkartenautomaten der Deutschen Bahn. Hierbei wurde die gewöhnliche Tastatur durch eine Tastatur mit weniger Tasten ersetzt. Hierbei stehen die Kuchenstücke der Tastatur jeweils für mehrere Buchstaben. Hierdurch muss weniger genau gezielt werden.

3.3 Zusammenfassung des Konzepts

Für die beiden Anwendungsfälle *UID Interaktive Berichte* und *Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn* wurden unterschiedliche Herangehensweisen der Interaktion mittels Freihandgesten umgesetzt. Zum Einen wurde bei der Applikation der Fahrkartenautomaten die direkte Interaktion mit der Benutzeroberfläche ermöglicht. Das heißt, angezeigt Elemente können direkt „angeklickt“ werden, indem mittels Freihandgesten die Interaktion durch berührungssensitive Bildschirme simuliert wird. Um dieses Konzept noch besser evaluieren zu können, wurde die Benutzeroberfläche des Fahrkartenautomaten für die Interaktion mittels Freihandgesten angepasst, um die Auswahl von Stationen zu erleichtern. Beim zweiten Anwendungsfall *Interaktive Berichte* wurden stattdessen für viele unterschiedliche Funktionen der Applikation unterschiedliche Eingabemodi implementiert. Das heißt, hier wurde nicht nur die direkte Interaktion ermöglicht, sondern angepasste Eingabemöglichkeiten für spezifische Funktionen hinzugefügt. So wurde beispielsweise die Auswahl von Zeilen und Spalten mit einem eigenen Eingabemodus ermöglicht. Weiterhin wurden sogenannte *Shortcuts* implementiert, durch die bestimmte Funktionen durch das Zeichnen einer speziellen Geste aktiviert werden können. Das Konzept beinhaltet somit zum Einen ein Expertensystem, welches das schnelle und

3 Konzept

direkte Interagieren mit der Applikation *Interaktive Berichte* ermöglicht. Zum Anderen enthält es ein System, welches den Benutzern die direkte Interaktion mit der Benutzeroberfläche ermöglichen soll und somit keine Erklärung für die Verwendung benötigt.

4 Implementierung

In diesem Kapitel werden wichtige Aspekte der Implementierung vorgestellt. Dabei werden zentrale Zusammenhänge wie die Architektur und entscheidende Algorithmen dargestellt. Die Funktionalität wurde in zwei Bibliotheken implementiert, welche zunächst präsentiert werden. Anschließend wird deren Verwendung in den beiden Applikationen erläutert.

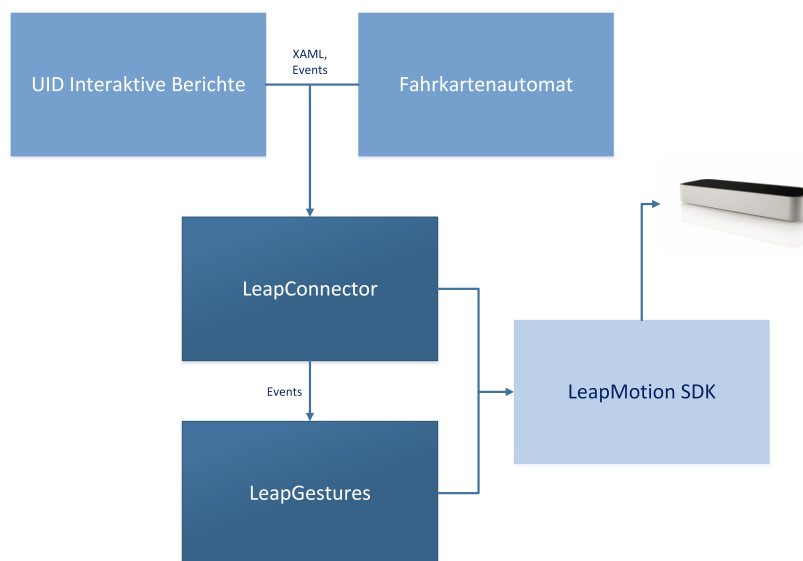


Abbildung 4.1: Die Abbildung zeigt die zentralen Komponenten der Implementierung. Die beiden Applikationen UID Interaktive Berichte und Fahrkartenautomat verwenden die Bibliothek LeapConnector, die ihnen die Möglichkeit bietet, um unterschiedliche Eingabemodi, mittels XAML-Deklarationen und dem Reagieren auf entsprechende Ereignisse, verschiedenen Funktionen zuzuordnen. LeapConnector verwendet wiederum die Bibliothek LeapGestures, um Gesten in einem kontinuierlichen Strom von Punkt zu erkennen. Beide Bibliotheken verwenden das Software Development Kit der LeapMotion, um die von der Leap Motion erfassten Daten zu erhalten.

4.1 Bibliotheken

Die Implementierung ist in zwei Komponenten unterteilt, die als C#-Bibliotheken umgesetzt wurden. Die Komponente *LeapGestures* ermöglicht die Erkennung von Gesten aus einem

kontinuierlichen Strom von Punkten. *LeapGestures* wird von der Bibliothek *LeapConnector* verwendet, welche WPF-Anwendungen die Möglichkeit bietet, die verschiedenen Modi, die im Abschnitt 3 vorgestellt wurden, zu verwenden.

4.1.1 LeapGestures

Die Komponente *LeapGestures* bietet die Funktionalität, Gesten in einem Strom von Punkten zu erkennen. Die Gesten, die erkannt werden sollen, müssen hierzu in einer Bibliothek im json-Format als Menge von Punkten hinterlegt werden. Zur Laufzeit wird jeder von der Leap Motion aufgenommene Punkt an die Bibliothek weiter gegeben. Um nun in diesem kontinuierlichen Strom eine Geste erkennen zu können, muss zunächst der Anfang und das Ende potenzieller Gesten gefunden werden. Ist dies geschehen, wird die entsprechende Punktmenge mit den Gesten, die im json-Format hinterlegt wurden, verglichen. Das Kriterium für den Anfang und das Ende einer Geste ist die Entfernung zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten. Bleibt der Zeigefinger innerhalb eines Toleranzbereiches am selben Punkt stehen, symbolisiert dies das Ende einer Geste. Sobald der Toleranzbereich verlassen wird, entspricht dies dem Anfang der nächsten Geste.

Das Vergleichen der Gesten geschieht mittels des $\$P$ -Algorithmus von Jacob O. Wobbrock und Kollegen [VAW12]. Dieser Algorithmus berechnet die geometrische Distanz zwischen zwei Punktmenge. Je geringer die Distanz ist, desto ähnlicher sind sich zwei Punktmenge. Damit dies effektiv und effizient durchgeführt werden kann, werden vor dem Vergleich einige vorbereitende Schritte durchgeführt. Zunächst werden die Punktmenge auf eine festgelegte Anzahl an Punkten neu diskretisiert. Daraufhin werden sie skaliert, sodass die Punktmenge relativ innerhalb des gleichen Raumes liegen. Zu guter Letzt wird jede Punktmenge transformiert, sodass sie den Punkt $(0, 0, 0)$ als Mittelpunkt hat.

Wenn die vorbereitenden Schritte durchgeführt wurden, wird für jeden Punkt der nächstliegende Punkt aus der Vorlage gesucht und die einzelnen Abstände zwischen zwei Punkten zu einer Gesamtdistanz für die Punktmenge addiert.

Der $\$P$ -Algorithmus ist im Original für zwei Dimensionen ausgelegt, wurde für diese Arbeit aber um eine Dimension erweitert. Die Logik musste dafür nicht verändert werden, da die Methode auch auf drei Dimensionen anwendbar ist.

Die Verwendung der Bibliothek besteht aus dem regelmäßigen Übergeben von neuen Frames durch einen entsprechenden Methoden-Aufruf. Um darüber zu benachrichtigen, wenn eine Geste erkannt wurde, sendet die Bibliothek entsprechende Events, auf die sich verwendende Programme registrieren können. Außerdem muss der Pfad zur Gesten-Bibliothek in der config-Datei des WPF-Programms angegeben sein, sodass die Bibliothek weiß, mit welchen Gesten der kontinuierliche Strom verglichen werden soll.

4.1.2 LeapConnector

Die Bibliothek *LeapConnector* bietet *Windows Presentation Foundation*-Anwendungen (kurz: WPF-Anwendungen) die Möglichkeit, die verschiedenen Clutching-Methoden und Eingabemodi zu benutzen, die im Abschnitt 3 vorgestellt wurden. Dabei sind die meisten Funktionen

mittels XAML-Parametern (*eXtensible Application Markup Language*) konfigurierbar. Hierfür wurden eine Menge von Dependency Properties definiert. Diese ermöglichen es beispielsweise, XAML-Elemente als Applikationszonen zu definieren. Weiterhin können für jede Applikationszone die aktiven Eingabemodi in den beiden Interaktionszonen festgelegt werden. So könnte man im Benutzerraum die Auswahl einer Applikationszone aktivieren und beim Wechsel in den Bildschirmraum in die fokussierte Applikationszone wechseln. Für speziellere Funktionen bietet die Bibliothek außerdem einige Events an, die es ermöglichen, auf verschiedene Ereignisse mit spezifischer Logik zu reagieren. Ein Event informiert beispielsweise darüber, dass eine bestimmte Reihe oder Spalte ausgewählt wurde.

Intern ist die Bibliothek in einer Reihe von sogenannten *Controllern* organisiert, die die verschiedenen vorgestellten Konzepte, wie Applikationszonen oder Reihen- und Spaltenauswahl, implementieren. Die einzelnen *Controller* werden von der Klasse *Connector* angesprochen, die den zentralen Knotenpunkt darstellt. Im Weiteren werden der *Connector* und die *Controller* im Einzelnen vorgestellt.

Connector Die Connector-Klasse fungiert als der zentrale Knotenpunkt der Bibliothek. Sie implementiert einen „Leap.Listener“, das heißt, sie verarbeitet die Daten, die von der Leap Motion aufgenommen werden. Dies sind einzelne Frames mit Informationen über die erkannten Hände, Finger und Gesten. Je nachdem, welche Eingabemodi aktuell aktiviert sind, ruft der Connector die entsprechenden Methoden der verschiedenen Controller auf und stellt ihnen die benötigten Daten zur Verfügung. Zusätzlich bietet der Connector einige Events an, auf die sich Anwendungen registrieren können, wenn sie die LeapConnector-Bibliothek verwenden.

AppZoneController Der AppZoneController implementiert die Funktionalität der Applikationszonen. Das heißt, er erkennt im XAML-Markup deklarierte Applikationszonen, markiert diese, wenn sie mit dem Cursor fokussiert werden und übernimmt das Aktivieren und Deaktivieren von Applikationszonen.

CursorController Der CursorController bietet den übrigen Controllern die Möglichkeit, das Aussehen des Cursors zu verändern. Dafür bietet er entsprechende Properties an, die es erlauben, die Farbe, die Füllung und die in der Mitte angezeigten Symbole zu konfigurieren, die den aktuell aktiven Eingabemodus anzeigen.

InputController Da mit der Leap Motion eine klassische Desktop-Applikation bedient werden soll, müssen die Eingaben, die von den einzelnen Controllern erkannt werden, am Ende in Maus- und Tastatur-Ereignisse übersetzt werden. Diese Funktionalität bietet der InputController. Dazu verwendet er die Windows API *user32.dll*. Angebotene Methoden sind beispielsweise *Click()*, *PressKeys()*, *RunWithCtrl()*, die es den anderen Controllern erlauben, Maus- und Tasten-Klicks auszuführen.

InteractionZoneController Der *InteractionZoneController* hat die Aufgabe, bei jedem Wechsel zwischen den Interaktionszonen die gewünschten Eingabemodi zu Aktivieren und alle anderen zu Deaktivieren. Dazu bietet er den anderen Controllern *Properties* an, über die die beiden Interaktionszonen konfiguriert werden können. Wenn der *InteractionZoneController* feststellt, dass die Interaktionszone gewechselt wurde, lädt er diese Konfiguration. Zusätzlich können zum Zeitpunkt des Wechsels Aktionen ausgeführt werden. Beispielsweise könnte beim Übergang in die vordere Interaktionszone ein Mausklick ausgeführt werden. Die virtuelle Ebene, die die Grenze zwischen den beiden Interaktionszonen definiert, wird dynamisch positioniert. Dies geschieht, sobald der Benutzer seine Hand initial in den Interaktionsbereich der Leap Motion bewegt. Dafür wird aus der Position innerhalb der ersten halben Sekunde die dynamische Position der Interaktionszonen berechnet.

MagnetSelectionController Wenn in einer Applikationszone die magnetische Selektion aktiviert ist, durchsucht der *MagnetSelectionController* diese nach Elementen, die im XAML-Markup als selektierbar markiert wurden. Wenn nun der Cursor bewegt wird, berechnet der *MagnetSelectionController*, welches dieser Elemente dem Cursor am nächsten ist und markiert dieses. Weiterhin bietet er die Funktion, auf das aktuell fokussierte Element automatisch oder erst beim Ausführen einer anderen Eingabe einen Mausklick auszuüben.

PointingController Wenn der Benutzer die Hand über die Leap Motion hält, muss die Hand- und Fingerhaltung in eine Position auf dem Bildschirm übersetzt werden. Um dies zu tun, bietet der *PointingController* verschiedene Varianten an. Diese sind: *Hand*, *FingerTip*, *Projection*, *HandOrProjection* und *HandOrFingerTip*. Im Modus *Hand* werden die x- und y-Koordinaten der Position der Hand im Koordinatensystem der Leap Motion auf die Position des Cursors abgebildet. Das heißt, wenn die Hand nach oben bewegt wird, verschiebt sich auch der Cursor nach oben. Genauso spiegelt der Cursor Bewegungen nach unten, rechts und links. Die Methode *FingerTip* funktioniert analog, nur wird statt der Position der Hand die Position der Fingerspitze verwendet. Beim Modus *Projection* wird die durch den ausgestreckten Finger angedeutete Gerade fortgeführt, bis sie sich mit der Bildschirmenebene schneidet. Der Schnittpunkt wird als Position des Cursors verwendet, sodass direktes Zeigen auf den gewünschten Punkt ermöglicht wird. In den beiden Modi *HandOrProjection* und *HandOrFingerTip* entscheidet der *PointingController* automatisch je nach Fingerhaltung, welche Variante verwendet wird. Ein ausgestreckter Finger führt dazu, dass entweder der Modus *FingerTip* oder der Modus *Projection* verwendet wird. Eine andere Anzahl an ausgestreckten Fingern führt zum *Hand*-Modus. Damit das Abbilden der Leap Motion Koordinaten auf Bildschirm-Koordinaten und das Projizieren des Fingers auf den Bildschirm präzise funktioniert, muss der *PointingController* dementsprechend kalibriert werden. Um dies zu tun, müssen die Grenzwerte in Leap Motion Koordinaten für ganz oben, unten, links und rechts in Bildschirmkoordinaten angegeben werden. Weiterhin muss der Abstand zwischen der Leap Motion und dem Bildschirm konfiguriert werden, damit die Projektion korrekt durchgeführt werden kann.

RowColumnController Die Auswahl von Reihen und Spalten implementiert der RowColumnController. Dafür bildet er den Winkel zwischen der primären Hand und der z-Achse auf die Reihen oder Spalten ab. Dabei werden Reihen ausgewählt, wenn die Hand waagrecht gehalten wird und Spalten, wenn die Hand senkrecht gehalten wird. Er bietet außerdem die Möglichkeit, die Anzahl der auswählbaren Reihen und Spalten und den maximalen sowie minimalen Winkel, der für die Auswahl verwendet werden soll, zu konfigurieren. Wenn eine Reihe oder Spalte ausgewählt wurde, sendet er ein entsprechendes Event.

LeapConnectorProperties Die Klasse LeapConnectorProperties bietet die Funktionalität, dass die Optionen der verschiedenen Controller im XAML-Markup deklariert werden können. Die Controller können diese im Markup hinterlegte Konfiguration abfragen und dementsprechend agieren. Umgesetzt wird dies durch *Attached Properties*. Diese bieten die Möglichkeit, an jedes beliebige Element im XAML-Markup angehängt zu werden, sodass die LeapConnector-Logik flexibel in WPF-Anwendungen eingebaut werden kann.

Anbindung Die Anbindung der LeapConnector-Bibliothek an die beiden Anwendungen *Interaktive Berichte* und *Fahrkartenautomat* basiert auf dem im Vorigen Abschnitt beschriebenen LeapConnectorProperties. Der größte Teil wird somit direkt im XAML-Markup der Applikationen definiert. So wurden für *Interaktive Berichte* im Markup vier Applikationszonen deklariert. Die erste Applikationszone ist der Bereich der Applikation, in dem die Auswahl der Probanden vorgenommen wird. In dieser Zone wurden die Eingabemodi *Shortcuts*, *Reihen- & Spaltenauswahl*, *Magnetische Selektierung & Hinzufügen* als aktiviert festgelegt. Die einzelnen Schaltflächen für die Auswahl der Untergruppen der Probanden wurden als magnetisch selektierbar markiert. Die einzigen Funktionen, die nicht nur im Markup definiert werden müssen, sind die *Reihen- & Spaltenauswahl* sowie die *Shortcuts*. Für beide muss auf ein entsprechendes Event reagiert werden, das signalisiert, dass eine neue Reihe oder Spalte ausgewählt wurde oder dass eine Geste erkannt wurde. In der entsprechenden Methode kann die Applikation, die die LeapConnector-Bibliothek verwendet, dann beliebig reagieren. In diesem Fall werden die entsprechenden Untergruppen der Probanden ausgewählt. Die weiteren Applikationszonen der Anwendung *Interaktive Berichte* sind zum Einen eine Zone im rechten Teil der Applikation, die die Selektion von Ausreißern ermöglicht, zum Anderen eine Zone am oberen und eine am unteren Ende der Applikation, die die Verwendung der Menü-Schaltflächen und des Bookmarks-Menüs ermöglichen. Die Anbindung der Bibliothek an den Fahrkartenautomaten ist gleich aufgebaut. Es werden lediglich die magnetische Selektion und der Eingabemodus *Shortcuts* verwendet. Die Anbindung von beiden geschieht genauso wie bei der Anwendung *Interaktive Berichte*.

5 Evaluation

Zur Evaluation der im Rahmen dieser Diplomarbeit entstandenen Lösungen wurde eine Nutzerstudie durchgeführt, welche es ermöglicht, die verschiedenen Interaktionstechniken für beide Szenarien zu vergleichen. Um die Ergebnisse der Nutzerstudie darzustellen, werden im Folgenden zunächst das Konzept und die Durchführung der Nutzerstudie erläutert und anschließend deren Ergebnisse präsentiert und interpretiert.

5.1 Aufbau und Durchführung der Studie

Für die Durchführung der Studie wurden fünf Durchgänge definiert, die jeweils unterschiedliche Interaktionstechniken und Konfigurationen der beiden Szenarien testen. Alle teilnehmenden Probanden absolvierten alle fünf Durchgänge. Zum Einen sollen sowohl für die Applikation *Interaktive Berichte*, als auch für den Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn die originale Eingabemodalität mit der Interaktion mittels Freihandgesten verglichen werden, was bereits vier Durchgänge darstellt. Weiterhin sollen beim Fahrkartenautomaten die originale Benutzeroberfläche und eine für die Interaktion mittels Freihandgesten optimierte Oberfläche verglichen werden. Daraus ergeben sich folgende fünf Durchgänge:

- Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn mit Touch-Eingabe
- Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn mit Gesten-Eingabe
- Angepasster Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn mit Gesten-Eingabe
- Interaktive Berichte mit Maus-Eingabe
- Interaktive Berichte mit Gesten-Eingabe

Bei jedem Durchgang werden einige Aufgaben gestellt, die die Benutzung der verschiedenen im Kapitel 3 vorgestellten Eingabemöglichkeiten erfordern. Die Reihenfolge der drei Durchgänge mit dem Fahrkartenautomaten wird für jeden Proband permutiert, um Lerneffekte in der Bewertung der Interaktionstechniken zu vermeiden. Ebenso wird bei den Tests mit der Interaktive Berichte-Anwendung abwechselnd mit der Maus oder der Leap Motion begonnen. Da die Interaktion mit dem Fahrkartenautomat möglichst intuitiv gestaltet werden soll, die Steuerung für Interaktive Berichte dagegen als Expertensystem umgesetzt wurde, werden die Durchläufe mit dem Fahrkartenautomat jeweils vor den Tests mit der Interaktive Berichte-Anwendung durchgeführt. Eventuelle Lerneffekte in der Bedienung mit der Leap Motion verfälschen somit nicht das Ergebnis mit dem Fahrkartenautomat. Für die Interaktion mittels

Freihandgesten mit der Interaktive Berichte-Applikation wird ohnehin ein kurzer Übungsdurchgang eingeräumt, um den Probanden die Möglichkeit zu geben, die ungewohnten Bedienkonzepte kennen zu lernen. Die Probandinnen und Probanden benötigen zwischen vierzig und fünfzig Minuten für die Durchführung der kompletten Studie.

Aufgaben für den Fahrkartenautomat Für die Durchgänge mit dem Fahrkartenautomaten wird jeweils eine Fahrkarte für eine Start-Ziel Route gekauft. Dafür müssen die Probandinnen und Probanden sowohl einen Start-, als auch einen Zielbahnhof auswählen. Weiterhin wird bei jedem Durchlauf die Art der gekauften Fahrkarte ausgewählt (Einfache Fahrt, Hin- und Rückfahrt oder Wochen- und Monatskarten). Da im weiteren Verlauf des Kaufvorgangs die Interaktion keine neuen Eingabemodi mehr erfordert und das Auswählen der Stationen die primäre Aufgabe beim Kauf einer Fahrkarte darstellt, wird anschließend, ohne weitere Auswahlen zu treffen, der Kauf der Fahrkarte abgeschlossen.

Beispiel für einen Durchgang

- *Start-Ziel Route* wählen
- *Start verändern* wählen
- Station *Berlin Gesundbrunnen* eingeben
- *Ziel verändern* wählen
- Station *Karlsruhe Durlach* eingeben
- *Hin- und Rückfahrt* wählen
- Ohne weitere Optionen zu wählen, zum letzten Tab navigieren (Wischgeste)
- Den Kauf mit *Bezahlen* abschließen

Aufgaben für Interaktive Berichte Bei der Applikation Interaktive Berichte werden alle primären Funktionen des Programms mindestens einmal so verwendet, dass jeder Eingabemodus mindestens einmal eingesetzt wird. Das heißt, es werden zunächst verschiedene Kombinationen von Probandinnen und Probanden der durch Interaktive Berichte präsentierten Studie ausgewählt. Dabei werden unter anderem nur Männer oder Frauen selektiert, sowie verschiedene Alters- oder Expertengruppen. Zu einer der Auswahlen wird ein Ausreißer bei der Beantwortung der Fragen selektiert, um die Zugehörigkeit des Probanden oder der Probandin zu einer bestimmten Untergruppe feststellen zu können. Zu guter Letzt wird von einer Auswahl ein Bookmark angelegt, welches am Ende des Durchgangs wieder geladen wird.

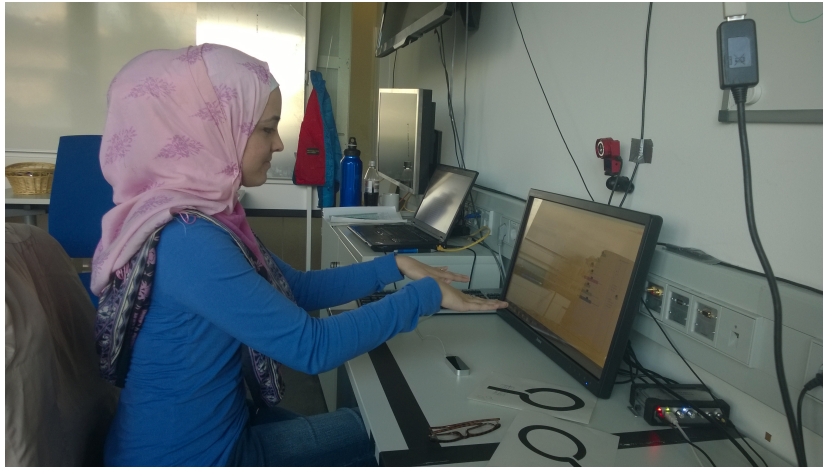


Abbildung 5.1: Diese Darstellung zeigt exemplarisch eine Probandin bei der Durchführung der Studie. Auf der rechten Seite ist ein berührungsempfindlicher Monitor, der die beiden Applikationen darstellt. Die Probandin steuert im Augenblick der Aufnahme die Applikation Interaktive Berichte mittels Freihandgesten.

Beispiel für einen Durchgang

- Alle 18-64 jährigen Probandinnen und Probanden auswählen (Reihen- & Spaltenauswahl)
- Füge die weiblichen Smartphone-Benutzer im Alter von 76-100 hinzu (Eingabemodus Hinzufügen)
- Lege von der aktuellen Auswahl ein Bookmark an
- Zu welcher Untergruppe der Probandinnen und Probanden gehört der Ausreißer bei Frage Nummer 6?
- Wähle alle männlichen Probanden aus (Eingabemodus Shortcut)
- Lade das vorher angelegte Bookmark

Technischer Aufbau der Studie Die Probandinnen und Probanden nahmen an einem Tisch Platz, an dem ein Touch-fähiger Bildschirm die Anwendungen darstellte. Weiterhin wurden auf dem Tisch der Aufgabe entsprechend eine Maus oder eine Leap Motion platziert, um alle Testdurchläufe mit möglichst geringen Veränderungen der Umgebung durchführen zu können. Die Abbildung 5.1 zeigt eine Probandin und den Aufbau der Studie exemplarisch.

Teilnehmer An der Studie haben insgesamt 20 Probandinnen und Probanden teilgenommen. Davon waren 13 männlich und 7 weiblich. Das durchschnittliche Alter der Probanden war 21,9 Jahre (SD: 3,96). Die Probanden waren alle Studenten eines technisch orientierten Studiengangs wie Softwaretechnik, Informatik oder Computer Science. Alle Teilnehmer hatten

langjährige Erfahrung mit der Verwendung einer Maus und Desktop-Betriebssystemen wie Microsoft Windows. Ebenso hatten alle 20 Teilnehmer bereits mindestens 1 Jahr Erfahrung mit der Eingabe mittels berührungssensitiver Bildschirme und auch im Speziellen mit Fahrkartenautomaten der Deutschen Bahn. Ein Proband hat zudem angegeben, bereits Erfahrung mit der Interaktion mittels Freihandgesten durch die Verwendung einer Microsoft Xbox One zu haben. Die übrigen Probanden hatten zum Zeitpunkt der Studie keinerlei Erfahrung mit der Verwendung von Freihandgesten zur Steuerung von Computern. Die Leap Motion hatte kein Proband bisher als Eingabegerät verwendet.

Qualitative und quantitative Messung der Studie Zu jedem Durchgang wurden von jedem Probanden und jeder Probandin drei Fragebögen ausgefüllt, um verschiedene Aspekte der getesteten Systeme zu bewerten. Dabei handelt es sich um die Fragebögen *System Usability Scale*, *Nasa Raw Task Load Index* (im Folgenden *Nasa Raw TLX* genannt) und *AttrakDiff*. Diese geben Aufschluss über die *Usability*, den *Workload* (dt.: Arbeitsbelastung, Arbeitsbeanspruchung) und die *User Experience* der verglichenen Anwendungen und Interaktionstechniken. Der *Nasa Raw Task Load Index* wird hier verwendet, da er weniger Aufwand als der *Nasa TLX* verursacht, aber eine hohe Korrelation der beiden Varianten bei verschiedenen Untersuchungen festgestellt wurde [MBEM92] [BBH89]. Weiterhin wurde mit jedem Probanden und jeder Probandin ein offenes Gespräch über die subjektiven Eindrücke des Probanden oder der Probandin geführt und die Antworten sinngemäß notiert. Um die Zeit, die zur Ausführung der Aufgaben benötigt wurde und die Fehlerrate bei der Ausführung der Aufgaben auswerten zu können, wurden automatisch entsprechende Ereignisse bei der Interaktion mit den Applikationen erfasst und anschließend ausgewertet.

5.2 Ergebnisse der Studie

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der Studie vorgestellt. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der fünf Studiendurchgänge einzeln dargestellt und weiterhin werden für jeden der beiden Anwendungsfälle die Unterschiede der Messungen analysiert.

Darstellung der Ergebnisse Die Ergebnisse des *System Usability Scale*-Fragebogens werden pro Durchgang der Studie in einem Diagramm dargestellt. Dieses visualisiert den durchschnittlichen *System Usability Scale-Score* (SUS-Punktzahl) und dessen 95 % Konfidenzintervall. Weiterhin werden die Punktzahlen zu den einzelnen gestellten Fragen angegeben, sowie deren Standardfehler. Diese werden allerdings nicht im für die Berechnung der Punktzahl verwendeten Punktintervall (0-4) visualisiert, da sie sonst schlecht mit der Gesamtpunktzahl vergleichbar wären. Stattdessen werden sie bereits skaliert auf das Intervall 0-100 (Umrechnung der Punkte vom initialen Punktintervall: $[0-4] * 2,5 * 10$) dargestellt. So kann man sich die Gesamtpunktzahl als Mittelwert der Punkte der einzelnen Frage veranschaulichen und positive wie negative Ausschläge bei den Fragen direkt ablesen. Die Darstellung der Ergebnisse des *Nasa Raw TLX*-Fragebogens ist prinzipiell gleich aufgebaut, wie die der *System Usability Scale*-Punkte. Das heißt, die Punkte zu den einzelnen Fragen

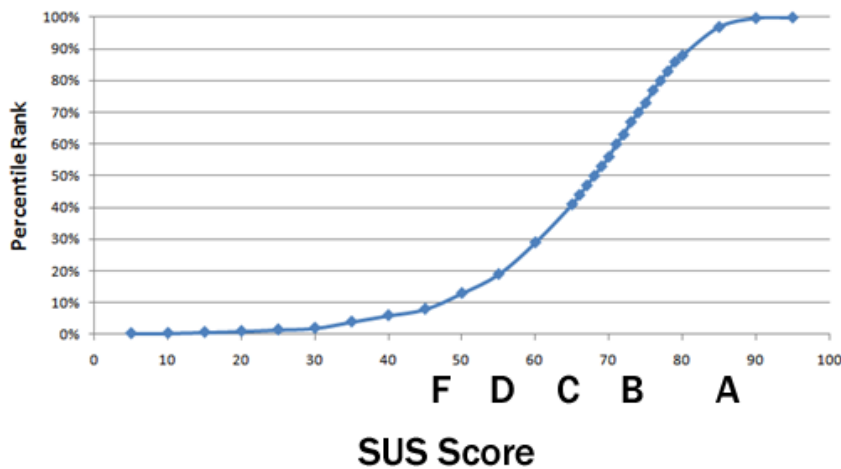


Abbildung 5.2: Diese Abbildung visualisiert eine mögliche Interpretation von System Usability Scale Scores. Dabei wurden die Noten A-F verschiedenen Bereichen der Punkteskala zugewiesen. Die Zuweisung basiert auf der durchschnittlichen Verteilung von *System Usability Scale-Scores* einer großflächigen Untersuchung von Jeff Sauro [Sau].

wurden auf das Intervall 0-100 skaliert und mit der Gesamtpunktzahl des Nasa Raw TLX als Mittelwert der einzelnen Punktzahlen mitsamt 95% Konfidenzintervall in einer Darstellung pro Durchgang der Studie angegeben.

Der *AttrakDiff*-Fragebogen misst, anders als die beiden eben Beschriebenen, nicht eine Gesamtpunktzahl, sondern vier einzelne Kennwerte (PQ, HQ-S, HQ-I, ATT). Die durchschnittlich erreichten Punktzahlen für jeden dieser Kennwerte wird mitsamt der 95% Konfidenzintervalle auf einem Intervall von -3 bis +3 abgebildet.

Zu guter Letzt werden quantitative Werte, wie die durchschnittliche Fehlerrate und Durchführungsdauer, für verschiedene Aufgaben der Studiendurchgänge in einer Tabelle angegeben.

5.2.1 Anwendungsfall Fahrkartenautomat

Zu jedem der drei Durchgänge des Anwendungsfalls Fahrkartenautomat werden im Folgenden die Ergebnisse der Fragebögen *System Usability Scale*, *Nasa Raw TLX* und *AttrakDiff* vorgestellt. Außerdem werden die gemessenen Fehlerraten und die Durchführungsdauer aufgeführt. Im Anschluss werden die Ergebnisse der drei Studiendurchgänge verglichen und analysiert.

Durchführungsdauer & Fehlerrate Die Durchführungsdauer wurde für verschiedene Zwischenschritte und die komplette Fertigstellung der Aufgaben des Durchgangs erhoben. Die Zwischenschritte sind „Startstation gewählt“, „Zielstation gewählt“ und „Tickettyp gewählt“.

Die Fehlerrate wurde dagegen aufgeteilt nach den beiden Aufgaben „Auswahl der Station“ und „Navigation & andere“, sowie insgesamt erfasst. Die Fehlerrate „Auswahl der Station“ soll dabei den Vergleich zwischen der originalen und der angepassten Variante der Benutzeroberfläche zur Auswahl von Stationen ermöglichen und erfasst somit nur Fehler, die genau bei dieser Aufgabe passiert sind.

Fahrkartenautomat mit Touch-Eingabe

Die Abbildungen 5.3, 5.4 und 5.5 visualisieren die Ergebnisse der Fragebögen für den Studiendurchgang „Fahrkartenautomat mit Touch-Eingabe“. Die Tabellen 5.1 und 5.2 stellen die gemessene Durchführungsdauer und Fehlerrate dar.

Fortschritt	Durchschn. Dauer (s)
Startstation gewählt	00:00:28
Zielstation gewählt	00:00:38
Tickettyp gewählt	00:00:42
Ticketkauf abgeschlossen	00:00:52

Tabelle 5.1: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Durchführungsdauer des Studiendurchgangs „Fahrkartenautomat mittels *Touch*-Bedienung“ dar. Die Dauer wurde jeweils beim erfolgreichen Durchführen der einzelnen Aufgaben gemessen.

Aufgabe	Durchschn. Fehler p. P.	Fehler insgesamt
Auswahl der Station	0,2	4
Navigation & andere	0,1	2
Gesamter Durchgang	0,3	6

Tabelle 5.2: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Fehlerrate pro Proband, sowie die absolute Fehleranzahl für verschiedene Aufgaben des Durchgangs „Fahrkartenautomat mit berührungssensitivem Bildschirm“ dar.

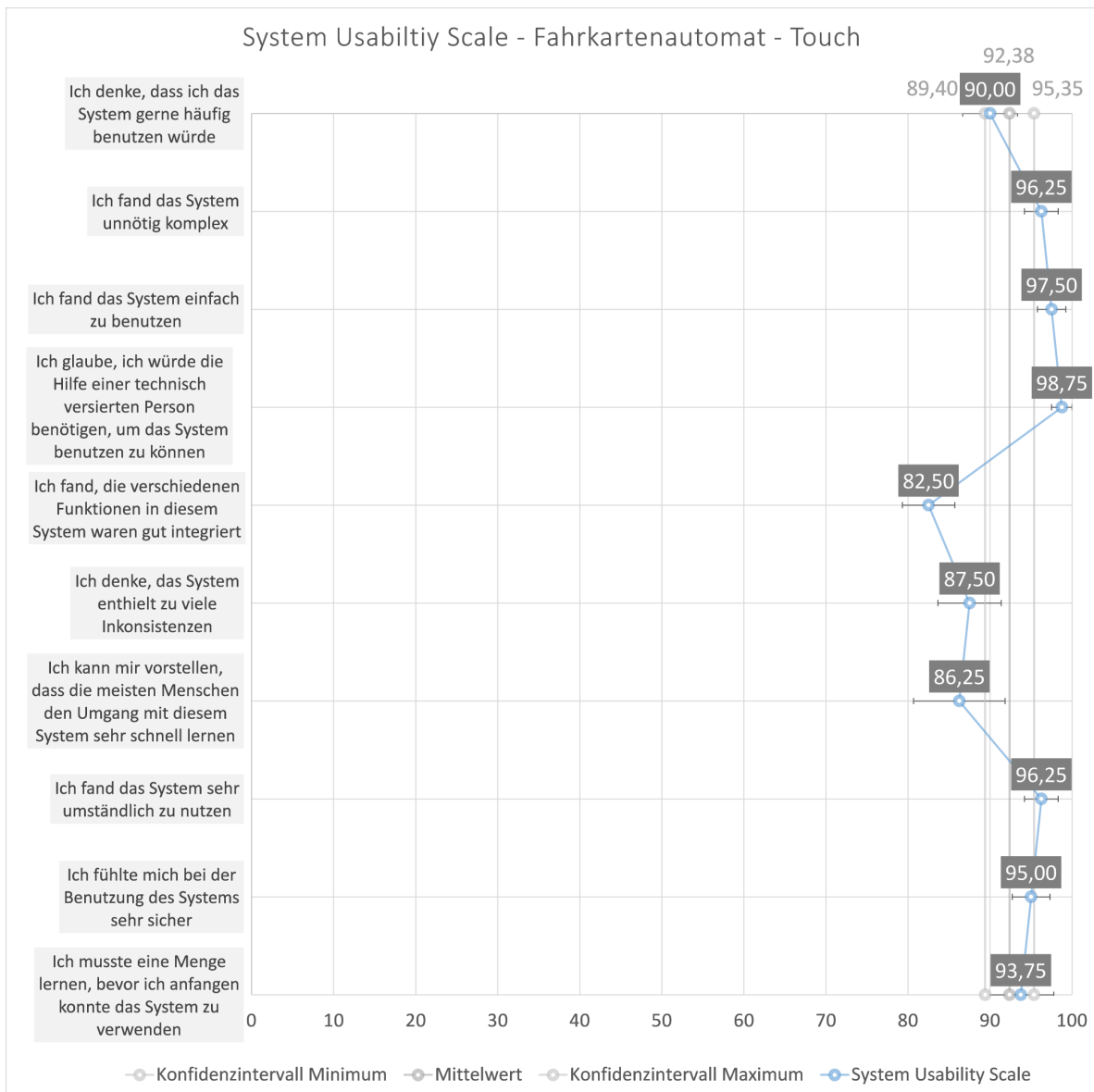


Abbildung 5.3: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *System Usability Scale*-Fragebogens für den Fahrkartenautomat mit *Touch*-Bedienung. Visualisiert wurden die Gesamtpunktzahl mit 95% Konfidenzintervall und die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen erreicht wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Der durchschnittliche *System Usability Scale*-Score liegt bei 92,38 und mit 95% Wahrscheinlichkeit für die Grundgesamtheit im Bereich 89,4 - 95,35. Damit erreicht dieser Durchgang der Studie nach Jeff Sauro 5.2 die Note A beziehungsweise „sehr gut“. Bei der Bewertung zu den einzelnen Fragen fällt die erreichte durchschnittliche Punktzahl bei der Frage nach der Integration der Funktionen etwas ab.

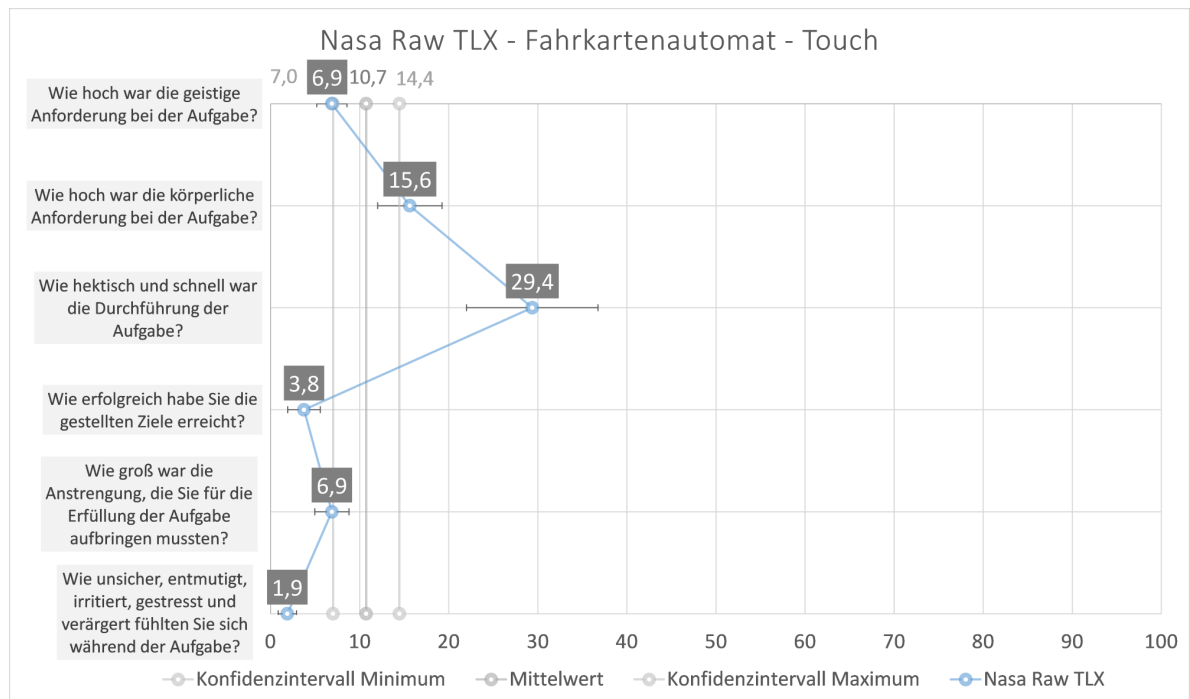


Abbildung 5.4: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des Nasa Raw TLX-Fragebogens für den Fahrkartenautomat mit *Touch*-Bedienung. Visualisiert werden die erreichte Gesamtpunktzahl mitsamt 95% Konfidenzintervall, sowie die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen berechnet wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl liegt bei 10,7 und das Konfidenzintervall von 7,0 bis 14,4. Da in diesem Fall wenig erreichte Punkte für wenig Belastung stehen, ist dies als ein gutes Ergebnis zu werten. Lediglich die Hektik bei der Durchführung und die körperliche Anstrengung werden etwas höher bewertet.

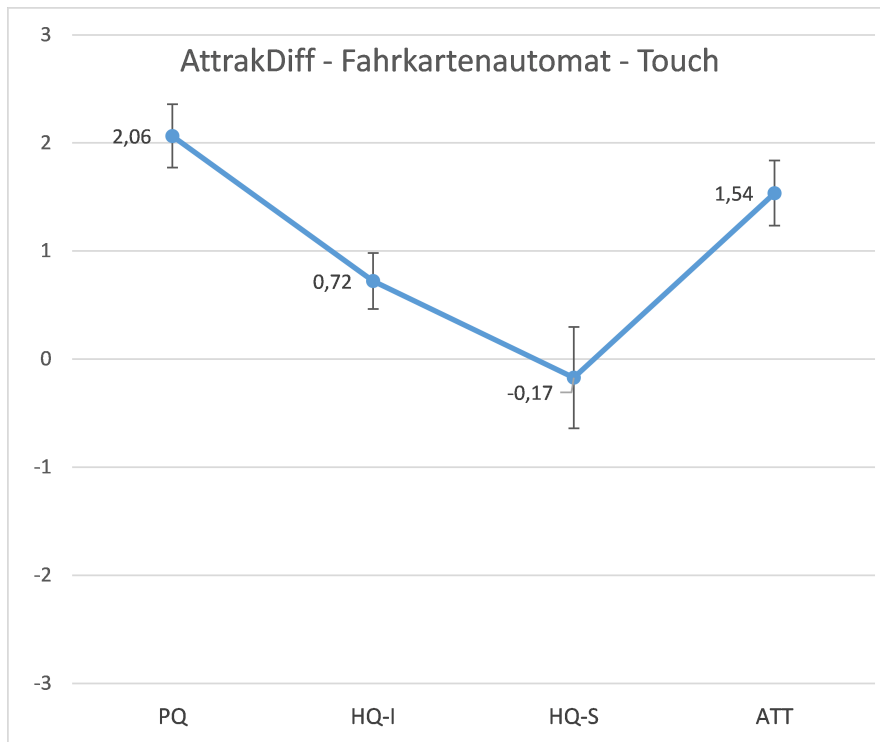


Abbildung 5.5: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *AttrakDiff*-Fragebogens für den Fahrkartenautomat mit *Touch*-Bedienung. Dies sind die vier Kennzahlen pragmatische Qualität, hedonische Qualität - Identität, hedonische Qualität - Stimulation und die Attraktivität. Für alle vier Kennzahlen sind ebenfalls die 95% Konfidenzintervalle eingezeichnet (weitere Informationen zur Darstellung siehe: 5.2). Die pragmatische Qualität bewertet die Benutzbarkeit des getesteten Produkts und ist hier ebenso wie die Attraktivität des Produkts positiv bewertet. Die hedonische Qualität und davon vor allem die Stimulation wurde eher durchschnittlich bewertet. Bei der Stimulation waren sich die Benutzer zusätzlich am wenigsten einig, da das Konfidenzintervall vergleichsweise groß ist.

Fahrkartenautomat mit Freihandgesten-Eingabe

Die Abbildungen 5.6, 5.7 und 5.8 visualisieren die Ergebnisse der Fragebögen für den Studiendurchgang „Fahrkartenautomat mit Freihandgesten-Eingabe“. Die Tabellen 5.3 und 5.4 stellen die gemessene Durchführungsdauer und Fehlerrate dar.

Fortschritt	Durchschn. Dauer
Startstation gewählt	00:00:50
Zielstation gewählt	00:01:14
Tickettyp gewählt	00:01:18
Ticketkauf abgeschlossen	00:01:53

Tabelle 5.3: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Durchführungsdauer des Studiendurchgangs „Fahrkartenautomat mittels *Freihandgesten*-Eingabe“ dar. Die Dauer wurde jeweils beim erfolgreichen Durchführen von einzelnen Aufgaben gemessen.

Aufgabe	Durchschn. Fehler p.P.	Fehler insgesamt
Auswahl der Station	0,3	6
Navigation & andere	1,2	24
Gesamter Durchgang	1,5	30

Tabelle 5.4: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Fehlerrate pro Proband, sowie die absolute Fehleranzahl für verschiedene Aufgaben des Durchgangs „Fahrkartenautomat mittels *Freihandgesten*-Eingabe“ dar.

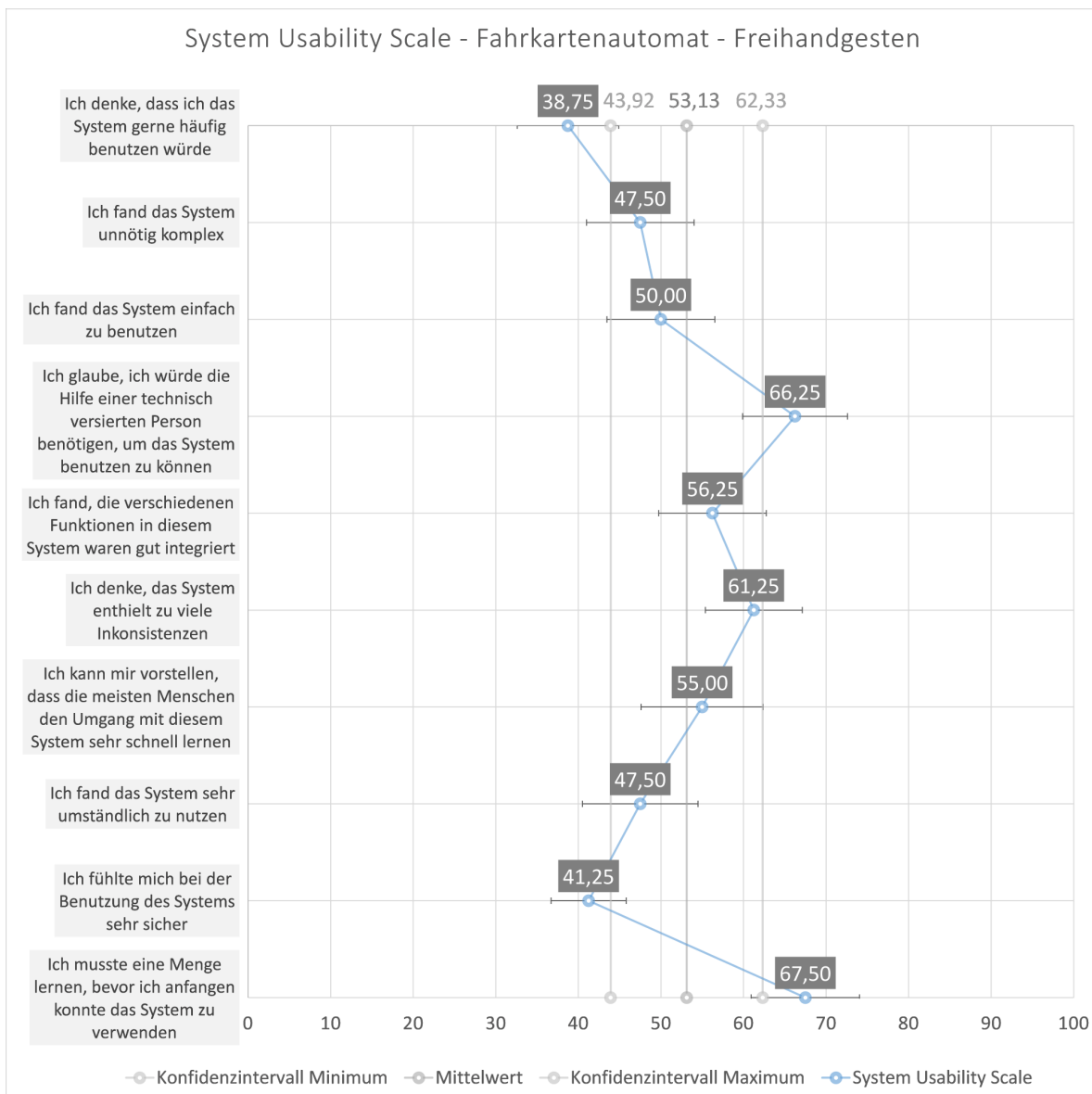


Abbildung 5.6: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *System Usability Scale*-Fragebogens für den Fahrkartenautomat mit *Freihandgesten*-Interaktion. Visualisiert wurden die Gesamtpunktzahl mit 95% Konfidenzintervall und die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen erreicht wurden mit Standardfehler (Skalierung siehe: 5.2). Der durchschnittliche *System Usability Scale*-Score liegt bei 53,13 und mit 95% Wahrscheinlichkeit für die Grundgesamtheit im Bereich 43,92 - 62,33. Damit erreicht dieser Durchgang der Studie nach Jeff Sauro 5.2 die Note C- bis F. Bei der Betrachtung der Fragen fällt auf, dass die Fragen 1 und 4 jeweils positiv heraus stechen. Da beide den zur Verwendung der Applikation benötigten Lernaufwand bewerten, kann hieraus gelesen werden, dass die Bedienung zwar schnell verstanden wurde, aber dennoch schwierig zu verwenden war.

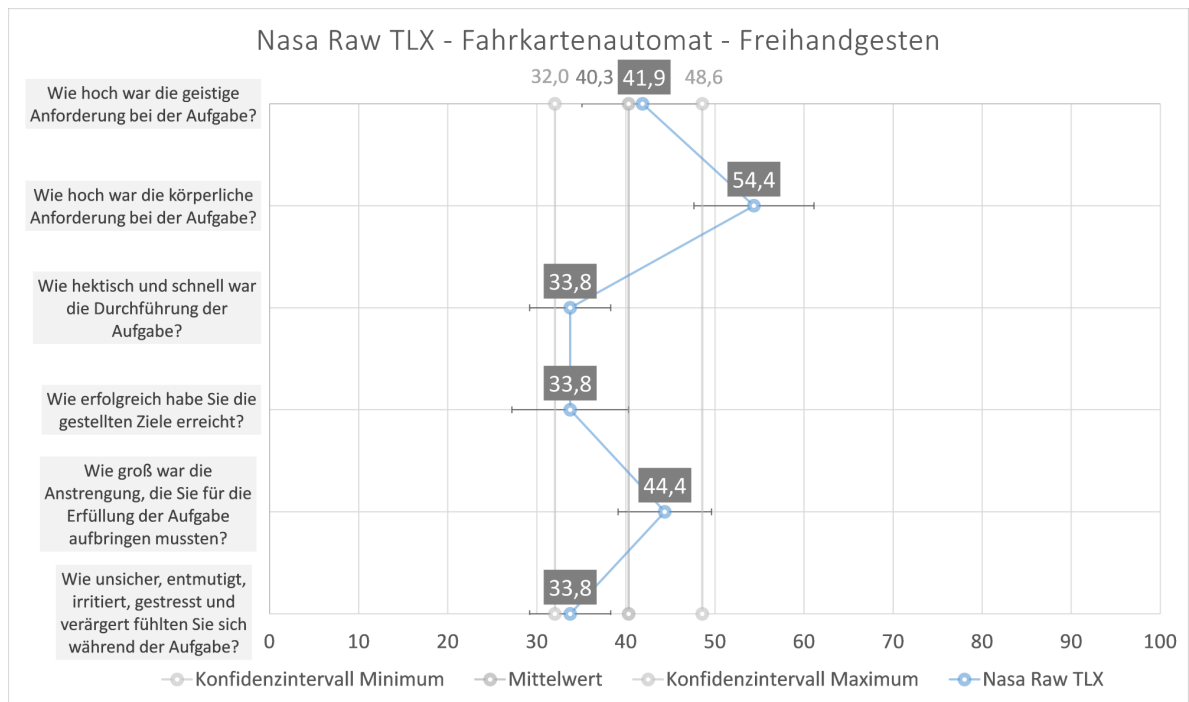


Abbildung 5.7: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des Nasa Raw TLX-Fragebogens für den Fahrkartenautomat mit Bedienung mittels *Freihandgesten*. Visualisiert werden die erreichte Gesamtpunktzahl mitsamt 95% Konfidenzintervall, sowie die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen berechnet wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl liegt bei 40,3 und das Konfidenzintervall von 32,0 bis 48,6. Damit ist sowohl die Gesamtpunktzahl, als auch Uneinigkeit der Benutzer deutlich größer, als beim Durchgang mit *Touch*-Bedienung. Die schlechteste Bewertung erhielten die körperliche und geistige Anforderung, sowie die allgemeine Anstrengung.

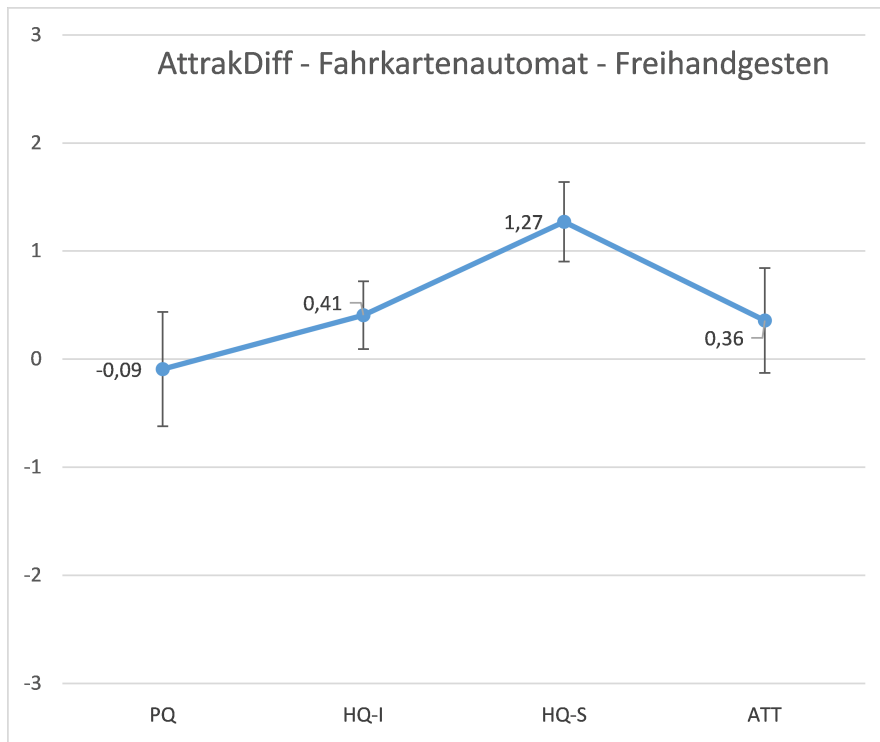


Abbildung 5.8: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *AttrakDiff*-Fragebogens für den Fahrkartenautomat mit *Freihandgesten*-Bedienung. Dies sind die vier Kennzahlen pragmatische Qualität, hedonische Qualität - Identität, hedonische Qualität - Stimulation und die Attraktivität. Für alle vier Kennzahlen sind ebenfalls die 95% Konfidenzintervalle angegeben (weitere Informationen zur Darstellung siehe: 5.2). Die pragmatische Qualität bewertet die Benutzbarkeit des getesteten Produkts und ist hier ebenso wie die Attraktivität des Produkts durchschnittlich bewertet. Die hedonische Qualität und vor allem die Stimulation wurde positiv bewertet. Bei der pragmatischen Qualität waren sich die Benutzer am wenigsten einig, da das Konfidenzintervall vergleichsweise groß ist.

Angepasster Fahrkartenautomat mit Freihandgesten-Eingabe

Die Abbildungen 5.9, 5.10 und 5.11 visualisieren die Ergebnisse der Fragebögen für den Studiendurchgang „Angepasster Fahrkartenautomat mit Freihandgesten-Eingabe“. Die Tabellen 5.5 und 5.6 stellen die gemessene Durchführungsdauer und Fehlerrate dar.

Fortschritt	Durchschn. Dauer
Startstation gewählt	00:00:49
Zielstation gewählt	00:01:13
Tickettyp gewählt	00:01:17
Ticketkauf abgeschlossen	00:01:48

Tabelle 5.5: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Durchführungsdauer des Studiendurchgangs „Angepasster Fahrkartenautomat mittels *Freihandgesten*-Bedienung“ dar. Die Dauer wurde jeweils beim erfolgreichen Durchführen von einzelnen Aufgaben gemessen.

Aufgabe	Durchschn. Fehler p.P.	Fehler insgesamt
Auswahl der Station	0,2	4
Navigation & andere	0,7	13
Gesamter Durchgang	0,9	17

Tabelle 5.6: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Fehlerrate pro Proband, sowie die absolute Fehleranzahl für verschiedene Aufgaben des Durchgangs „Angepasster Fahrkartenautomat mittels *Freihandgesten*-Bedienung“ dar.

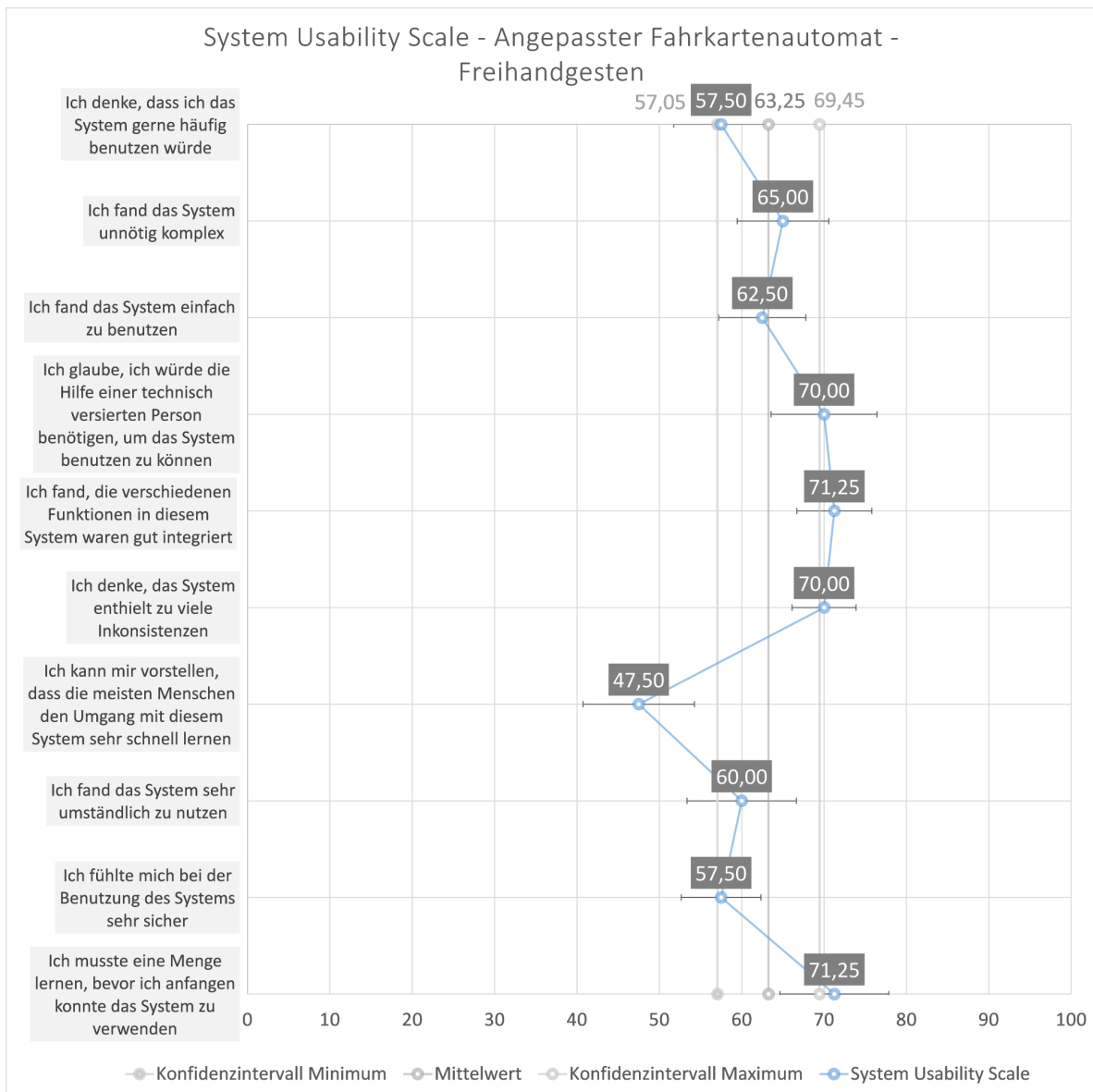


Abbildung 5.9: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *System Usability Scale*-Fragebogens für den angepassten Fahrkartenautomat mit *Freihandgesten*-Interaktion. Visualisiert wurden die Gesamtpunktzahl mit 95% Konfidenzintervall und die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen erreicht wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Der durchschnittliche *System Usability Scale*-Score liegt bei 63,25 und mit 95% Wahrscheinlichkeit für die Grundgesamtheit im Bereich 57,05 - 69,45. Damit erreicht dieser Durchgang der Studie nach Jeff Sauro 5.2 die Note B- bis D+. Bei der Betrachtung der Fragen fällt auf, dass vor allem Frage 7 negativ bewertet wurde.

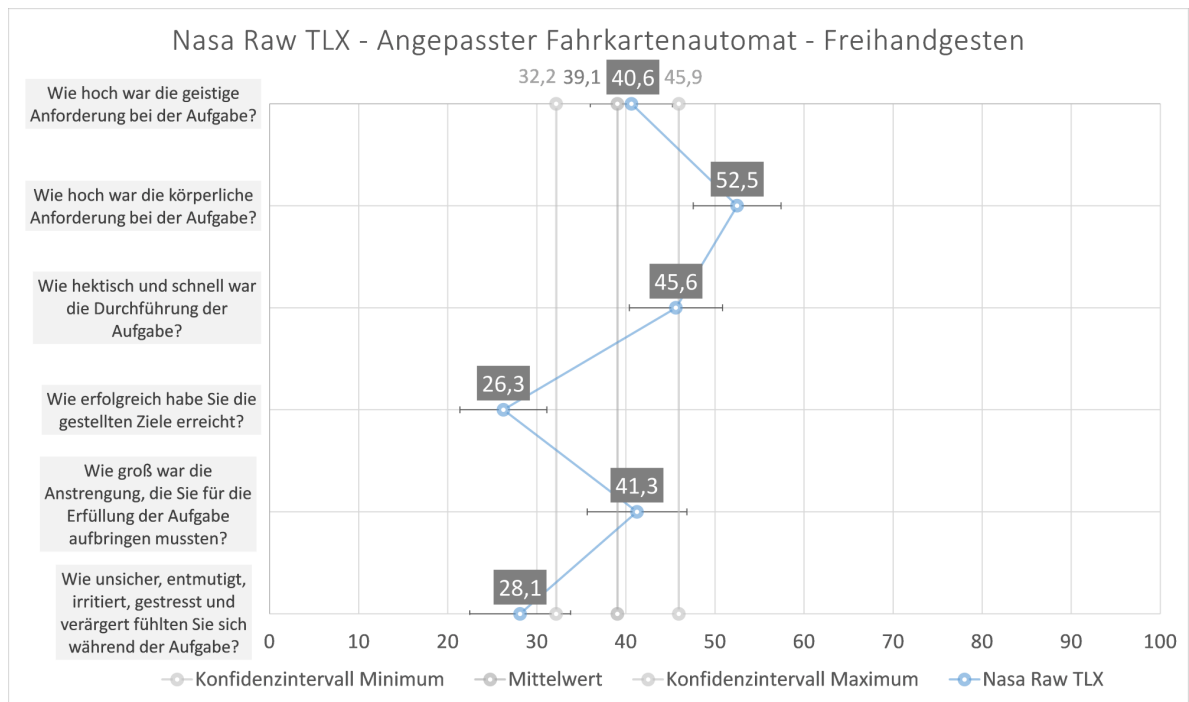


Abbildung 5.10: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des System Usability Scale-Fragebogens für den angepassten Fahrkartenautomat mit Bedienung mittels *Freihandgesten*. Visualisiert werden die erreichte Gesamtpunktzahl mitsamt 95% Konfidenzintervall, sowie die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen berechnet wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl liegt bei 39,1 und das Konfidenzintervall von 32,2 bis 45,9. Damit entspricht die Gesamtpunktzahl, sowie die Uneinigkeit der Benutzer den Werten des unangepassten Fahrkartenautomaten. Die schlechteste Bewertung erhielt die körperliche Anforderung. Die Frage nach dem Erfolg, mit dem die Aufgaben erreicht wurden, wurde am positivsten bewertet.

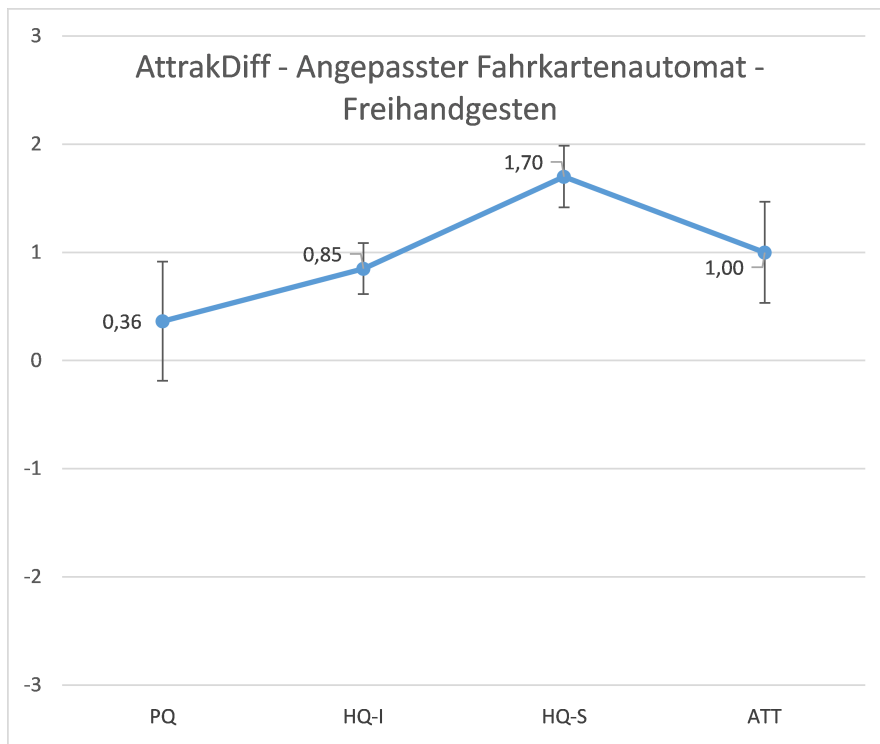


Abbildung 5.11: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *AttrakDiff*-Fragebogens für den angepassten Fahrkartenautomat mit *Freihandgesten*-Bedienung. Dies sind die vier Kennzahlen pragmatische Qualität, hedonische Qualität - Identität, hedonische Qualität - Stimulation und die Attraktivität. Für alle vier Kennzahlen sind ebenfalls die 95% Konfidenzintervalle angegeben (weitere Informationen zur Darstellung siehe: 5.2). Die pragmatische Qualität bewertet die Benutzbarkeit des getesteten Produkts und ist hier durchschnittlich bewertet. Die hedonische Qualität und davon vor allem die Stimulation wurde positiv bewertet. Bei der pragmatischen Qualität waren sich die Benutzer am wenigsten einig, da das Konfidenzintervall vergleichsweise groß ist. Die Attraktivität des Produkts steigt im Vergleich zur unangepassten Variante von 0,36 auf 1,00.

Vergleich und Analyse

Um die erhaltenen Messergebnisse besser vergleichen zu können, wurden die Unterschiede zwischen den Messungen paarweise mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests auf ihre statistische Signifikanz getestet. Die Ergebnisse dieser Tests werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Untersucht wurden sowohl die erreichten Gesamtpunkte (*System Usability Scale*-Punktzahl, *Nasa Raw TLX*-Punktzahl, PQ, HQ-I, HQ-S, ATT), als auch die Punkte pro Frage (*System Usability Scale* Fragen 1-10, *Nasa TLX* Frage 1-6).

Touch versus Freihandgesten

System Usability Scale Die System Usability Scale-Punkte der Interaktion mittels Touch (89,4 - 95,35) sind signifikant höher, als die des Durchgangs mit Interaktion mittels Freihandgesten (43,92 - 62,33; $T=1,5$; $p < 0,05$; Effektgröße $r: -0,61$). Ebenso sind alle Punkte pro Frage signifikant höher. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.7 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Punkte Touch (skaliert)	Pkt. Gesten (skaliert)	T	p	Effektgröße r
1	90	38,75	0	< 0,05	-0,58
2	96,25	47,5	2,5	< 0,05	-0,58
3	97,5	50	0	< 0,05	-0,57
4	98,75	66,25	3,5	< 0,05	-0,51
5	82,5	56,25	6	< 0,05	-0,44
6	87,5	61,25	13,5	< 0,05	-0,42
7	86,25	55	8	< 0,05	-0,45
8	96,25	47,5	0	< 0,05	-0,56
9	95	41,25	0	< 0,05	-0,61
10	93,75	67,5	9	< 0,05	-0,44

Tabelle 5.7: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des System Usability Scale-Fragebogens für *Touch*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe

Nasa Raw TLX Die Punktzahl im Nasa Raw TLX bei der Interaktion mittels Touch (7 - 14,4) ist signifikant niedriger, als die Punktzahl, die bei der Interaktion mit Freihandgesten errechnet wurde (32 - 48,6; $T=0$; $p < 0,05$; Effektgröße $r: -0,62$). Ebenso sind alle Punkte pro Frage außer bei Frage 3 für den Studiendurchgang mit Touch-Eingabe signifikant niedriger. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Frage sind in der Tabelle 5.8 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Punkte Touch (skaliert)	Pkt. Gesten (skaliert)	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
1	6,9	41,9	2	< 0,05	-0,54
2	15,6	54,4	3,5	< 0,05	-0,51
3	29,4	33,8	50	0,57	-0,09
4	3,8	33,8	0	< 0,05	-0,58
5	6,9	44,4	0	< 0,05	-0,61
6	1,9	33,8	0	< 0,05	-0,61

Tabelle 5.8: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des Nasa Raw TLX-Fragebogens für *Touch*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe

AttrakDiff Die Kennzahlen des AttrakDiff-Fragebogens unterscheiden sich für die beiden Durchgänge mit Touch-Eingabe und mit Freihandgesten-Eingabe in ihrer Charakteristik. Während die pragmatische Qualität und die Attraktivität des Produkts für die Touch-Eingabe signifikant höher bewertet wurden, fällt die hedonische Qualität-Stimulation beim Durchgang mit Freihandgesten signifikant besser aus. Lediglich die hedonische Qualität-Identität liefert für beide Durchgänge keinen signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Kennzahl sind in Tabelle 5.9 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Kennzahl	Punkte Touch	Pkt. Gesten	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
PQ	2,1	-0,1	0	< 0,05	-0,60
HQ-I	0,7	0,4	52,5	0,149	-0,23
HQ-S	-0,2	1,3	19,5	< 0,05	-0,51
ATT	1,5	0,4	10	< 0,05	-0,52

Tabelle 5.9: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des AttrakDiff-Fragebogens für *Touch*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe

Touch versus Freihandgesten mit angepasster Benutzeroberfläche

System Usability Scale Der System Usability-Score der Interaktion mittels Touch (89,4 - 95,35) ist signifikant höher, als der mit Interaktion mittels Freihandgesten (57,05 - 69,45; $T=3$; $p < 0,05$; Effektgröße r : -0,61). Ebenso sind alle Punkte pro Frage signifikant höher, bis auf Frage 5. Hier liegt die Differenz der erreichten Punktzahlen lediglich bei 11,25. Der errechnete p -Wert liegt bei 0,63. Die einzelnen Ergebnisse des Wilcoxon-Test und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.10 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Punkte Touch (skaliert)	Pkt. Gesten (skaliert)	T	p	Effektgröße r
1	90	57,5	5,5	< 0,05	-0,55
2	96,25	65	5,5	< 0,05	-0,55
3	97,5	62,5	0	< 0,05	-0,56
4	98,75	70	0	< 0,05	-0,51
5	82,5	71,25	20	0,63	-0,29
6	87,5	70	12	< 0,05	-0,43
7	86,25	47,5	11,5	< 0,05	-0,49
8	96,25	60	4	< 0,05	-0,53
9	95	57,5	0	< 0,05	-0,58
10	93,75	71,25	10	< 0,05	-0,52

Tabelle 5.10: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des System Usability Scale-Fragebogens für *Touch*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe mit angepasster Oberfläche

Nasa Raw TLX Die Punktzahl im Nasa Raw TLX bei der Interaktion mittels Touch (7 - 14,4) ist signifikant niedriger, als die bei der Interaktion mit Freihandgesten mit angepasster Oberfläche (32,2 - 45,9; $T=0$; $p < 0,05$; Effektgröße r : -0,62). Ebenso sind alle Punkte pro Frage signifikant niedriger, außer bei Frage 3. Hier besteht lediglich ein Unterschied von (16,2), welcher nicht als statistisch signifikanter Unterschied gewertet werden kann. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Test und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.11 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Punkte Touch (skaliert)	Pkt. Gesten (skaliert)	T	p	Effektgröße r
1	6,9	40,6	2	< 0,05	-0,60
2	15,6	52,5	2	< 0,05	-0,58
3	29,4	45,6	55	0,18	-0,21
4	3,8	26,3	8	< 0,05	-0,54
5	6,9	41,3	0	< 0,05	-0,58
6	1,9	28,1	2,5	< 0,05	-0,54

Tabelle 5.11: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des Nasa Raw TLX-Fragebogens für *Touch*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe mit angepasster Oberfläche

AttrakDiff Die Kennzahlen des AttrakDiff-Fragebogens unterscheiden sich für die beiden Durchgänge mit Touch-Eingabe und mit Freihandgesten-Eingabe in ihrer Charakteristik. Während die pragmatische Qualität und die Attraktivität des Produkts für die Touch-Eingabe signifikant höher bewertet wurden, fällt die hedonische Qualität-Stimulation beim Durchgang

mit Freihandgesten und angepasster Benutzeroberfläche signifikant besser aus. Lediglich die hedonische Qualität-Identität liefert für beide Durchgänge keinen signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Kennzahl sind in Tabelle 5.12 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Kennzahl	Punkte Touch	Pkt. Gesten	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
PQ	2,1	0,4	0	< 0,05	-0,59
HQ-I	0,7	0,9	79,5	0,34	-0,15
HQ-S	-0,2	1,7	4,5	< 0,05	-0,59
ATT	1,5	1,0	44	< 0,05	-0,33

Tabelle 5.12: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des AttrakDiff-Fragebogens für *Touch*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe mit angepasster Oberfläche

Freihandgesten versus Freihandgesten mit angepasster Benutzeroberfläche

System Usability Scale Der Unterschied der System Usability Scale-Scores zwischen dem Durchgang mit Freihandgesten (43,92 - 62,33) und dem Durchgang mit Freihandgesten und angepasster Benutzeroberfläche (57,05 - 69,45) konnte nicht als statistisch signifikant ausgewiesen werden ($T=68$; $p = 0,167$; Effektgröße $r: -0,22$). Bei der Betrachtung der einzelnen Fragen lässt sich zumindest bei vier der Fragen ein signifikanter Unterschied feststellen. Dies sind Frage 1, 2, 4 und 9. Das heißt, die Probanden benutzten die Variante mit angepasster Benutzeroberfläche signifikant lieber, als die Version ohne Anpassungen (Ergebnis von Frage 1). Zudem empfanden sie die angepasste Variante als weniger komplex (Frage 2). Das Selbstvertrauen bei der Bedienung der Applikation ist bei der angepassten Variante signifikant höher (Frage 9) und das Bedürfnis nach Unterstützung durch einen Experten signifikant niedriger, als bei der nicht angepassten Variante. Die einzelnen Ergebnisse des Wilcoxon-Test und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.13 aufgelistet.

Nasa Raw TLX Die Punktzahl im Nasa Raw TLX bei der Interaktion mittels Freihandgesten (32 - 48,6) ist nahezu identisch zu der Punktzahl des Durchgangs mit der Interaktion mit Freihandgesten und angepasster Benutzeroberfläche (32,2 - 45,9; $T=83,5$; $p = 0,643$; Effektgröße $r: -0,07$). Ebenso gibt es keine signifikanten Unterschiede bei den Punkten pro Frage. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.14 aufgelistet.

AttrakDiff Die Kennzahlen des AttrakDiff-Fragebogens unterscheiden sich für die beiden Durchgänge mit Touch-Eingabe und mit Freihandgesten-Eingabe kaum in ihrer Charakteristik. Das heißt, bei beiden Durchgängen wurde die pragmatische Qualität durchschnittlich

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Pkt. Gesten (skaliert)	Pkt. Ges. ang. (ska.)	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
1	38,75	57,5	13	< 0,05	-0,58
2	47,5	65	21,5	< 0,05	-0,58
3	50	62,5	27	0,19	-0,57
4	66,25	70	61,5	< 0,05	-0,51
5	56,25	71,25	24	0,129	-0,44
6	61,25	70	37,5	0,187	-0,42
7	55	47,5	41,5	0,485	-0,45
8	47,5	60	46,5	0,257	-0,56
9	41,25	57,5	23,5	< 0,05	-0,61
10	67,5	71,25	47	0,726	-0,44

Tabelle 5.13: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des System Usability Scale-Fragebogens für *Freihandgesten*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe mit angepasster Oberfläche

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Pkt. Gesten (skaliert)	Pkt. Ges. ang. (ska.)	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
1	41,9	40,6	81	0,84	-0,03
2	54,4	52,5	53,5	0,71	-0,06
3	33,8	45,6	37	0,11	-0,26
4	33,8	26,3	45,5	0,41	-0,13
5	44,4	41,3	53,5	0,71	-0,06
6	33,8	28,1	75	0,42	-0,13

Tabelle 5.14: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des Nasa Raw TLX-Fragebogens für *Freihandgesten*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe mit angepasster Oberfläche

bewertet, Identität und Attraktivität etwas besser und die Stimulation am besten. Allerdings zeigen sich für alle Kennzahlen, außer der pragmatischen Qualität, signifikante Unterschiede zwischen den beiden Durchgängen. So steigen die hedonischen Qualitäten Identität und Stimulation sowie die Attraktivität für die angepasste Variante der Benutzeroberfläche. Lediglich die pragmatische Qualität verbleibt auf niedrigem Niveau. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Kennzahl sind in Tabelle 5.12 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Kennzahl	Pkt. Gesten	Pkt. Ges. ang.	T	p	Effektgröße r
PQ	-0,1	0,4	48	0,58	-0,30
HQ-I	0,4	0,9	19,5	< 0,05	-0,43
HQ-S	1,3	1,7	18	< 0,05	-0,44
ATT	0,4	1,0	23	< 0,05	-0,43

Tabelle 5.15: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des AttrakDiff-Fragebogens für *Freihandgesten*-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe mit angepasster Oberfläche

5.2.2 Anwendungsfall Interaktive Berichte

Zu beiden Durchgängen des Anwendungsfalls Interaktive Berichte werden im Folgenden die Ergebnisse der Fragebögen *System Usability Scale*, *Nasa Raw TLX* und *AttrakDiff* vorgestellt. Außerdem werden die gemessenen Fehlerraten und die Durchführungsdauer aufgeführt. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Studiendurchgänge verglichen und analysiert.

Durchführungsdauer & Fehlerrate Die Durchführungsdauer wurde für verschiedene Zwischenschritte und die komplette Fertigstellung der Aufgaben des Durchgangs erhoben. Die Zwischenschritte sind „Reihe/Spalte ausgewählt“, „Gruppe hinzu-/abgewählt“, „Ausreißer selektiert“ und „Männer/Frauen selektiert“. Die Fehlerrate wurde lediglich über alle Aufgaben erfasst und zeigt somit die gesamte Anzahl der Fehler für einen Durchgang.

Interaktive Berichte mit Maus-Eingabe

Die Abbildungen 5.12, 5.13 und 5.14 visualisieren die Ergebnisse der Fragebögen für den Studiendurchgang „Interaktive Berichte mit Maus-Eingabe“. Die Tabellen 5.16 und 5.17 stellen die gemessene Durchführungsdauer und Fehlerrate dar.

Fortschritt	Durchschn. Dauer
Reihe/Spalte ausgewählt	00:00:20
Gruppe hinzu-/abgewählt	00:00:38
Ausreißer selektiert	00:00:54
Männer/Frauen selektiert	00:01:08
Aufgaben durchgeführt	00:01:15

Tabelle 5.16: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Durchführungsdauer des Studiendurchgangs „Interaktive Berichte mit *Maus*-Bedienung dar. Die Dauer wurde jeweils beim erfolgreichen Durchführen von einzelnen Aufgaben gemessen.

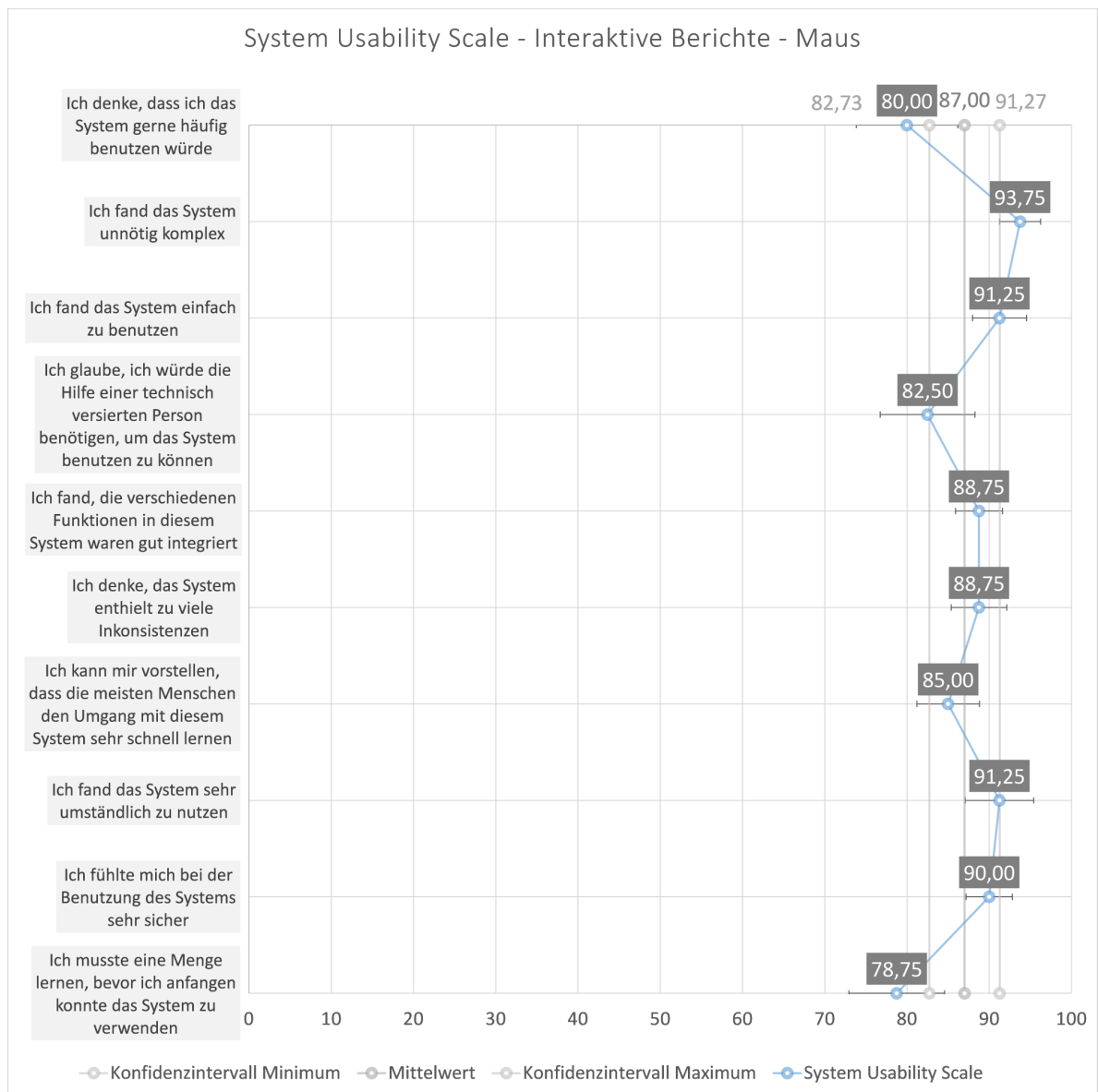


Abbildung 5.12: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *System Usability Scale*-Fragebogens für Interaktive Berichte mit *Maus*-Bedienung. Visualisiert wurden die Gesamtpunktzahl mit Konfidenzintervall und die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen erreicht wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Der durchschnittliche *System Usability Scale*-Score liegt bei 87,0 und mit 95% Wahrscheinlichkeit für die Grundgesamtheit im Bereich 82,73-91,27. Damit erreicht dieser Durchgang der Studie nach Jeff Sauro 5.2 die Note A- bis A. Bei der Betrachtung der Fragen fällt auf, dass die Fragen 1 und 10 jeweils negativ heraus stechen. Frage 10 betrifft den benötigten Lernaufwand. Dies kann damit erklärt werden, dass die Applikation für die Benutzer neu war und sie sich darin einarbeiten mussten. Die erste Frage erörtert, ob die Nutzer die Applikation gerne öfter benutzen würden. Dies wurde ebenfalls etwas negativer beantwortet und könnte damit zusammen hängen, dass die Nutzer nicht an der Funktionalität der Software interessiert sind.

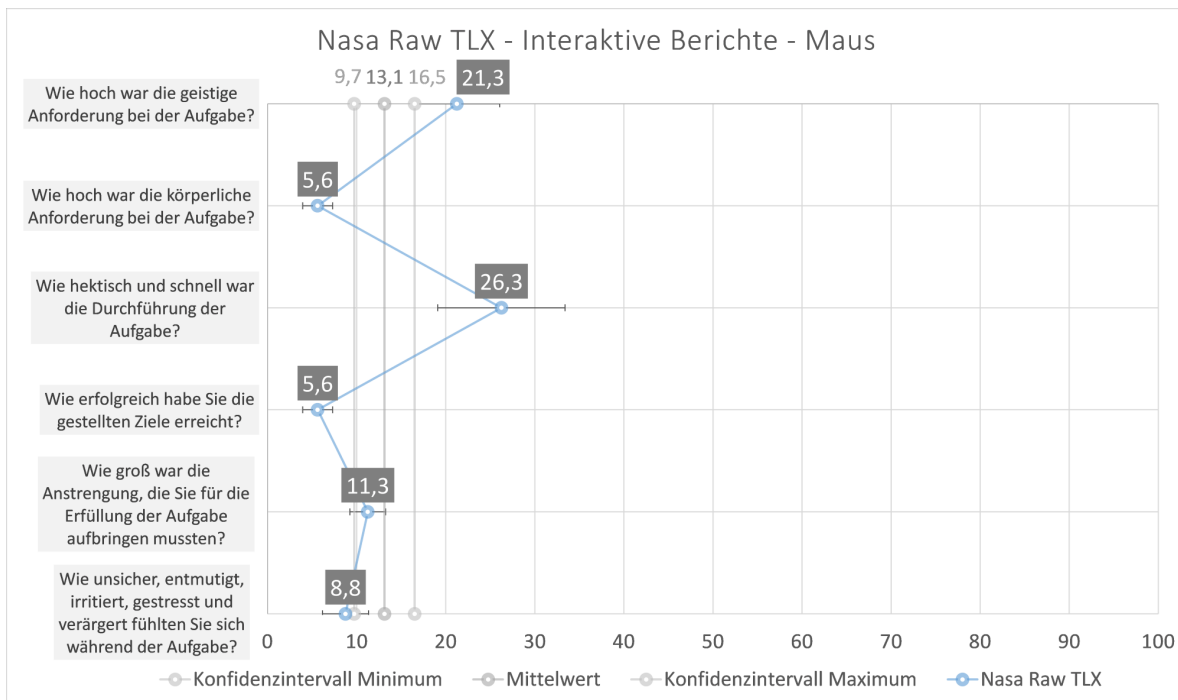


Abbildung 5.13: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des System Usability Scale-Fragebogens für Interaktive Berichte mit *Maus*-Bedienung. Visualisiert werden die erreichte Gesamtpunktzahl mitsamt Konfidenzintervall, sowie die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen berechnet wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl liegt bei 13,1 und das Konfidenzintervall von 9,7 bis 16,5. Damit ist die Belastung bei der Durchführung der Aufgaben ähnlich niedrig, wie bei der Interaktion mittels berührungssensitiver Bildschirme. Die Nutzer waren sich darin zusätzlich relativ einig. Am negativsten bewertet wurden die geistige Anforderung, sowie die Hektik bei der Durchführung.

Aufgabe	Durchschn. Fehler p.P.	Fehler insgesamt
Gesamter Durchgang	1,0	20

Tabelle 5.17: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Fehlerrate pro Proband, sowie die absolute Fehleranzahl des Durchgangs „Interaktive Berichte mit Maus-Bedienung“ dar.

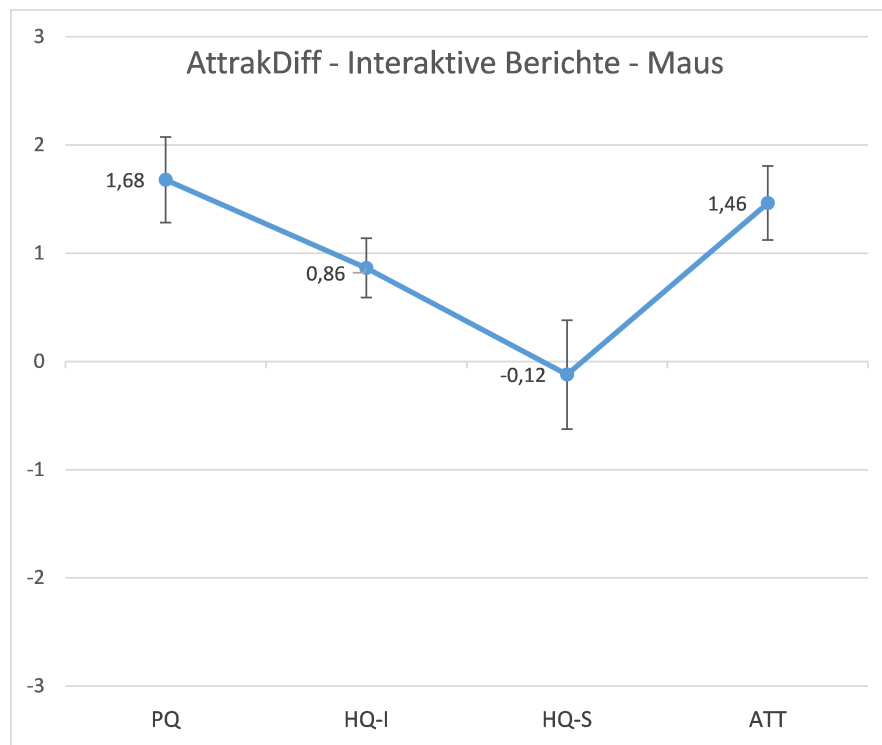


Abbildung 5.14: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *AttrakDiff*-Fragebogens für Interaktive Berichte mit *Maus*-Bedienung. Dies sind die vier Kennzahlen pragmatische Qualität, hedonische Qualität - Identität, hedonische Qualität - Stimulation und die Attraktivität. Für alle vier Kennzahlen sind ebenfalls die Konfidenzintervalle angegeben (weitere Informationen zur Darstellung siehe: 5.2). Die pragmatische Qualität bewertet die Benutzbarkeit des getesteten Produkts und ist hier ebenso wie die Attraktivität des Produkts gut bewertet. Die hedonische Qualität und davon vor allem die Stimulation wurde eher durchschnittlich bewertet. Bei der Stimulation waren sich die Benutzer am wenigsten einig, da das Konfidenzintervall vergleichsweise groß ist.

Interaktive Berichte mit Freihandgesten-Eingabe

Die Abbildungen 5.15, 5.16 und 5.17 visualisieren die Ergebnisse der Fragebögen für den Studiendurchgang „Interaktive Berichte mit Freihandgesten-Eingabe“. Die Tabellen 5.18 und 5.19 stellen die gemessene Durchführungsdauer und Fehlerrate dar.

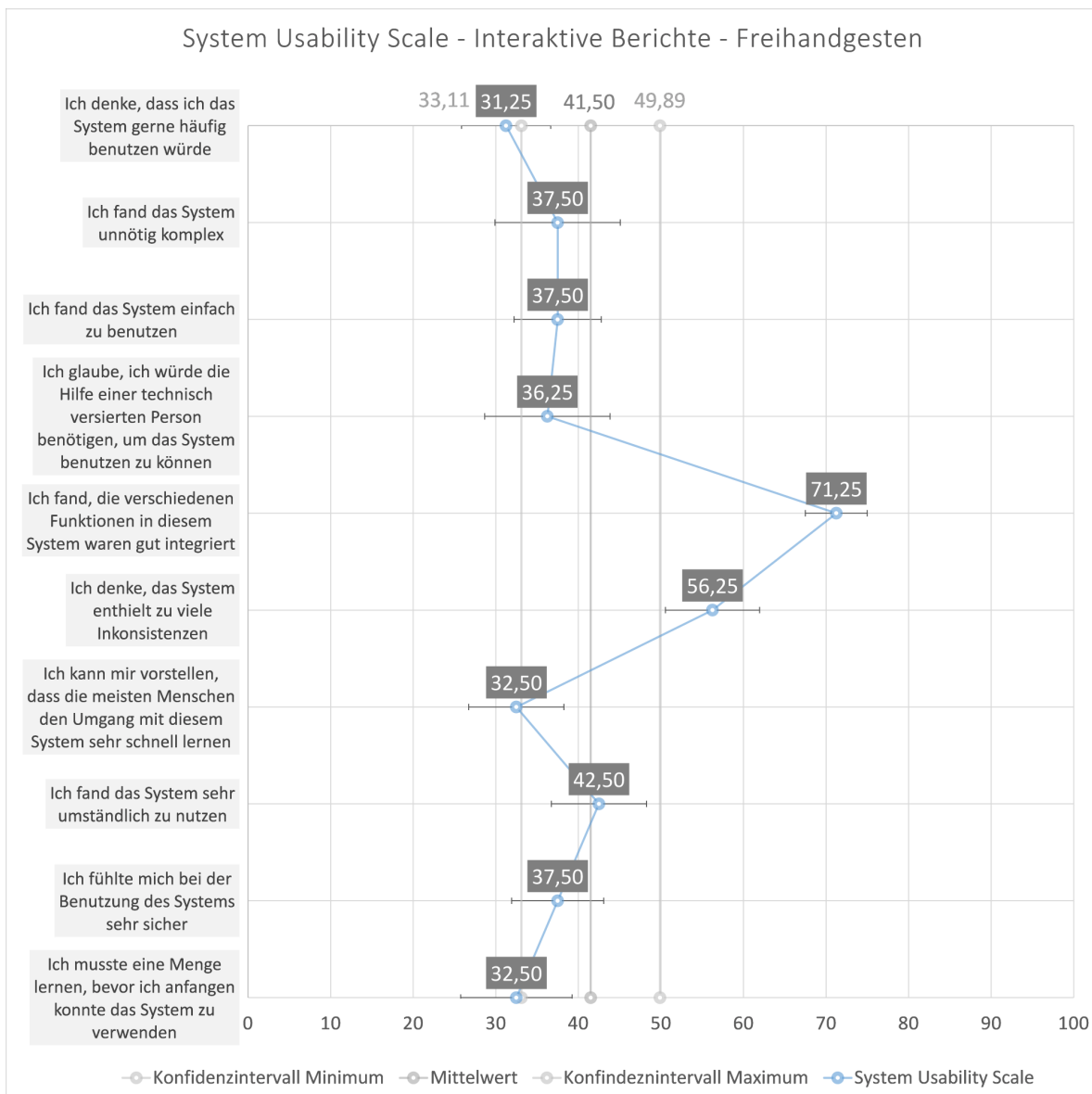


Abbildung 5.15: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *System Usability Scale*-Fragebogens für Interaktive Berichte mit *Freihandgesten*-Interaktion. Visualisiert wurden die Gesamtpunktzahl mit 95% Konfidenzintervall und die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen erreicht wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Der durchschnittliche *System Usability Scale*-Score liegt bei 41,5 und mit 95% Wahrscheinlichkeit für die Grundgesamtheit im Bereich 33,11 - 49,89. Damit erreicht dieser Durchgang der Studie nach Jeff Sauro 5.2 die Note F. Bei der Betrachtung der Fragen fällt auf, dass die Fragen 5 und 6 jeweils positiv heraus stehen. Hierbei wird die Integration der Funktionen und die Konsistenz des Systems positiv bewertet. Daraus lässt sich schließen, dass die prinzipiellen Ideen und Konzepte der Umsetzung einleuchtend waren, jedoch die Interaktion dennoch schwer viel.

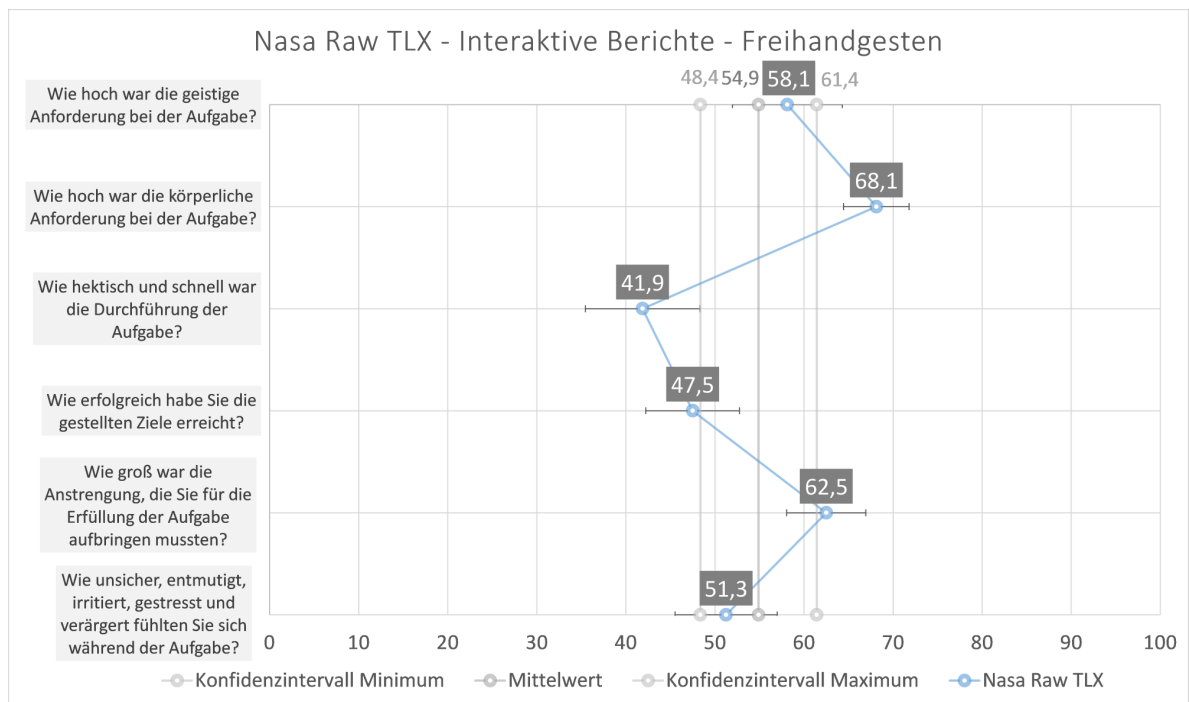


Abbildung 5.16: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des System Usability Scale-Fragebogens für Interaktive Berichte mit Interaktion mittels *Freihandgesten*. Visualisiert werden die erreichte Gesamtpunktzahl mitsamt Konfidenzintervall, sowie die Punktzahlen, die bei den einzelnen Fragen berechnet wurden, mit Standardfehlern (Skalierung siehe: 5.2). Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl liegt bei 54,9 und das Konfidenzintervall von 48,4 bis 61,4. Damit ist sowohl die Gesamtpunktzahl, als auch Uneinigkeit der Benutzer deutlich größer, als beim Durchgang mit *Maus*-Bedienung. Die schlechteste Bewertung erhielten die körperliche und geistige Anforderung, sowie die allgemeine Anstrengung.

Fortschritt	Durchschn. Dauer
Reihe/Spalte ausgewählt	00:00:48
Gruppe hinzu-/abgewählt	00:01:22
Ausreißer selektiert	00:02:11
Männer/Frauen selektiert	00:02:52
Ticketkauf abgeschlossen	00:03:26

Tabelle 5.18: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Durchführungsdauer des Studiendurchgangs „Fahrkartenautomat mittels *Freihandgesten*-Bedienung“ dar. Die Dauer wurde jeweils beim erfolgreichen Durchführen von einzelnen Aufgaben gemessen.

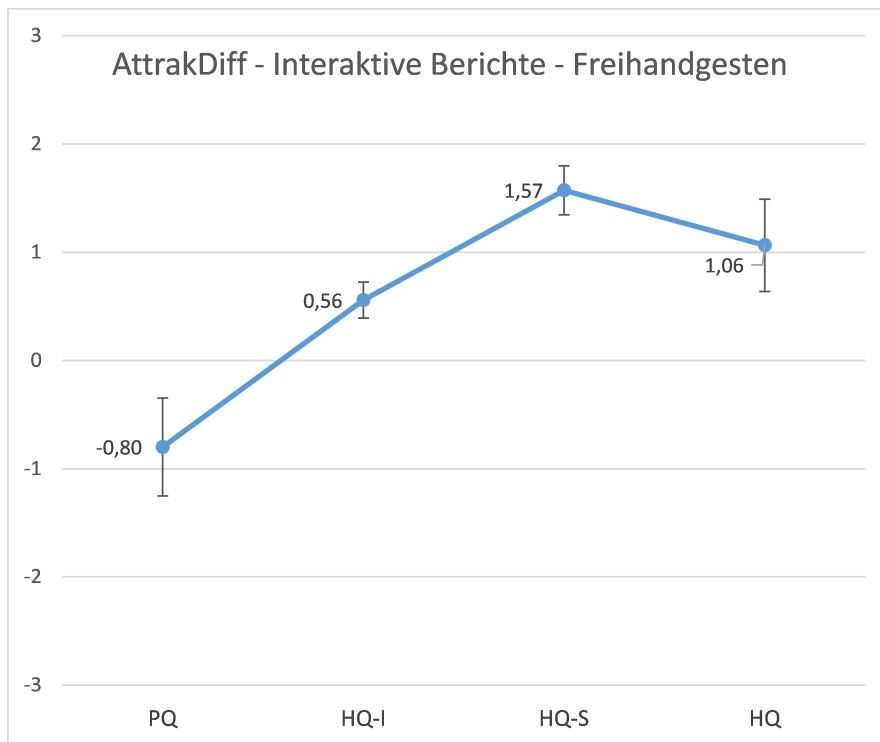


Abbildung 5.17: Diese Darstellung zeigt die Ergebnisse des *AttrakDiff*-Fragebogens für Interaktive Berichte mit *Freihandgesten*-Interaktion. Dies sind die vier Kennzahlen pragmatische Qualität, hedonische Qualität - Identität, hedonische Qualität - Stimulation und die Attraktivität. Für alle vier Kennzahlen sind ebenfalls die Konfidenzintervalle angegeben (weitere Informationen zur Darstellung siehe: 5.2). Die pragmatische Qualität bewertet die Benutzbarkeit des getesteten Produkts und ist hier unterdurchschnittlich bewertet. Die Identität und vor allem die Stimulation und die Attraktivität wurden positiv bewertet. Bei der pragmatischen Qualität und der Attraktivität waren sich die Benutzer am wenigsten einig, da das Konfidenzintervall vergleichsweise groß ist.

Aufgabe	Durchschn. Fehler p.P.	Fehler insgesamt
Gesamter Durchgang	3,3	65

Tabelle 5.19: Diese Tabelle stellt die durchschnittliche Fehlerrate pro Proband, sowie die absolute Fehleranzahl des Durchgangs „Interaktive Berichte mit *Freihandgesten*-Bedienung“ dar.

Vergleich und Analyse

Um die erhaltenen Messergebnisse besser vergleichen zu können, wurden die Unterschiede zwischen den Messungen paarweise mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests auf ihre statistische Signifikanz getestet. Die Ergebnisse dieser Tests werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Untersucht wurden sowohl die erreichten Gesamtpunkte (*System Usability Scale*-Punkte, *Nasa Raw TLX*-Punkte, PQ, HQ-I, HQ-S, ATT), als auch die Punkte pro Frage (*System Usability Scale* Fragen 1-10, *Nasa TLX* Frage 1-6).

System Usability Scale Der System Usability-Score der Interaktion mit der Maus (82,73 - 91,27) war signifikant höher, als der mit Freihandgesten (33,11 - 49,89; $T=0,0$; $p < 0,05$; Effektgröße $r: -0,62$). Ebenso sind alle Punkte pro Frage signifikant höher. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Test und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.20 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Punkte Maus (skaliert)	Pkt. Gesten (skaliert)	T	p	Effektgröße r
1	80	31,25	3	$< 0,05$	-0,37
2	93,75	37,5	2	$< 0,05$	-0,31
3	91,25	37,5	0	$< 0,05$	-0,21
4	82,5	36,25	3,5	$< 0,05$	-0,05
5	88,75	71,25	7,5	$< 0,05$	-0,24
6	88,75	56,25	0	$< 0,05$	-0,21
7	85	32,5	0	$< 0,05$	-0,11
8	91,25	42,5	8,5	$< 0,05$	-0,18
9	90	37,5	0	$< 0,05$	-0,34
10	78,75	32,5	0	$< 0,05$	-0,06

Tabelle 5.20: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des System Usability Scale-Fragebogens für Maus-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe

Nasa Raw TLX Die Punktzahl im Nasa Raw TLX bei der Interaktion mittels Maus (9,7 - 16,5) ist signifikant niedriger, als die bei der Interaktion mit Freihandgesten (48,4 - 61,4; $T=0$; $p < 0,05$; Effektgröße $r: -0,62$). Ebenso sind alle Punkte pro Frage signifikant niedriger, außer bei Frage 3. Hier ist ein Unterschied der Punktzahlen von 15,63, der nicht statistisch signifikant ist. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Test und die Effektgrößen pro Frage sind in Tabelle 5.21 aufgelistet.

AttrakDiff Die Kennzahlen des AttrakDiff-Fragebogens unterscheiden sich für die beiden Durchgänge mit Maus-Eingabe und Freihandgesten-Eingabe in ihrer Charakteristik. Während die pragmatische Qualität und die Attraktivität des Produkts mit Maus-Eingabe signifikant

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Frage	Punkte Maus (skaliert)	Pkt. Gesten (skaliert)	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
1	21,25	58,13	23	< 0,05	-0,49
2	5,63	68,13	0	< 0,05	-0,62
3	26,25	41,88	52	0,08	-0,28
4	5,63	47,50	0	< 0,05	-0,62
5	11,25	62,50	0	< 0,05	-0,61
6	8,75	51,25	2	< 0,05	-0,61

Tabelle 5.21: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des Nasa Raw TLX-Fragebogens für Maus-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe

höher bewertet wurden, fällt die hedonische Qualität-Stimulation beim Durchgang mit Freihandgesten signifikant besser aus. Lediglich die hedonische Qualität-Identität liefert für beide Durchgänge keinen signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und die Effektgrößen pro Kennzahl sind in Tabelle 5.9 aufgelistet.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Kennzahl	Punkte Maus	Pkt. Gesten	<i>T</i>	<i>p</i>	Effektgröße <i>r</i>
PQ	2,1	-0,1	1	< 0,05	-0,60
HQ-I	0,7	0,4	49	0,149	-0,33
HQ-S	-0,2	1,3	1	< 0,05	-0,61
ATT	1,5	0,4	6,5	< 0,05	-0,54

Tabelle 5.22: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für den Vergleich des AttrakDiff-Fragebogens für Maus-Eingabe und *Freihandgesten*-Eingabe

5.3 Diskussion & Offenes Interview

Neben den Auswertungen der Fragebögen, der Fehlerrate und der Durchführungsdauer, wurde ebenso mit jedem Teilnehmer ein offenes Interview geführt, in dem er seinen Gesamteindruck, die Probleme und die positiven Elemente der verschiedenen Interaktionstechniken ausführen konnte. Anhand der hierbei geäußerten Meinungen und den statistischen Ergebnissen wird in diesem Abschnitt eine Diskussion der Ergebnisse vorgenommen. Dabei werden gemessene, signifikante Effekte mit den Aussagen im offenen Interview in Verbindung gebracht und somit mögliche Zusammenhänge dargestellt.

Fahrkartenautomat mit Touch-Bedienung Der erste Durchgang testet die Bedienung eines Fahrkartenautomaten mittels berührungssensitiven Bildschirmen. Alle Probanden haben die Applikation Fahrkartenautomat bereits vor der Studie mindestens einmal verwendet.

Ebenso benutzen alle Probanden regelmäßig Geräte mit berührungssensitiven Bildschirmen. Dementsprechend fiel die Durchführung dieses Durchgangs den Probanden, laut subjektiver Angaben im offenen Interview, durchgehend leicht. Die Betrachtung der Ergebnisse der verschiedenen Fragebögen bestätigt diesen Eindruck. Der System Usability Scale-Fragebogen ergab eine durchschnittliche Punktzahl von 92,38, was laut Jeff Sauro [Sau] einem sehr guten Wert entspricht (siehe Abbildung: 5.2). Das 95% Konfidenzintervall für die durchschnittliche Punktzahl ist (89,4 - 95,35). Das heißt, die durchschnittliche Punktzahl für die Grundgesamtheit kann mit hoher Wahrscheinlichkeit mit sehr gut (nach Jeff Sauro [Sau] mit Schulnote A) bewertet werden.

Die Belastung der Probandinnen und Probanden wird durch den Nasa Raw TLX Fragebogen untersucht und fällt in diesem Durchgang mit einer durchschnittlichen Punktzahl von 10,7 und einem 95% Konfidenzintervall von (7,0-14,4) auf einer Skala von 1-100 niedrig aus. Bei Betrachtung der Abbildung 5.4 fällt auf, dass lediglich die Fragen vier und fünf eine etwas höhere Belastung anzeigen. Bei der Frage fünf wird dabei die körperliche Belastung adressiert. Im offenen Interview wurde das anhaltende Ausstrecken des Armes, für die Bedienung mittels berührungssensitiver Bildschirme und die Bedienung mittels Freihandgesten, als anstrengend bezeichnet. Dies kann die etwas höhere Bewertung der körperlichen Belastung beim *Nasa Raw TLX*-Fragebogen erklären. Die Frage fünf wurde bei allen Durchgängen mit einem durchschnittlichen Wert von mindestens 22,5 beantwortet. Dies mag auf die Situation der Benutzerstudie zurückzuführen sein, da der Proband und die Probandin die gestellten Aufgaben so gut und schnell wie möglich erfüllen wollten. Dies wurde von einigen der Probanden im offenen Interview aufgeführt.

Die Betrachtung der Ergebnisse des AttrakDiff-Fragebogens, dargestellt in Abbildung 5.5, zeigt, dass die Benutzbarkeit des Produkts gut bewertet wurde (pragmatische Qualität). Die Attraktivität des Produkts im Ganzen wurde ebenfalls überdurchschnittlich bewertet, während die hedonische Qualität eher durchschnittlich ausfällt. Vor allem die Kennzahl Stimulation, welche zur hedonischen Qualität gehört, fällt etwas ab. Das heißt, dass das Produkt wenig interessant oder anregend auf die Benutzer gewirkt hat. Dies entspricht den Erwartungen insofern, dass die Probanden das Produkt und die Interaktionstechnik bereits kennen und gewohnt sind. Die durchschnittliche Dauer dieses Durchgangs betrug 52 Sekunden. Dabei machten die Probanden lediglich durchschnittlich 0,3 Fehler.

Fahrkartenautomat mit Bedienung mittels Freihandgesten Beim diesem Durchgang der Studie wurde die originale Version der Applikation des Fahrkartenautomaten mittels Freihandgesten bedient. Hierbei zeigt sich, dass die Benutzbarkeit wesentlich schlechter bewertet wurde, als bei der Bedienung mit einem berührungssensitivem Monitor. So ist in diesem Fall die durchschnittliche System Usability Scale-Punktzahl lediglich 53,13, was der Schulnote D-F entspricht. Allerdings ist in diesem Fall das 95% Konfidenzintervall wesentlich größer (43,92 - 62,33), als im vorigen Durchgang. und liegt im Bereich der Noten C- bis F. Das heißt, die Bewertungen der Probanden waren in diesem Durchgang deutlich unterschiedlicher, als bei der Bedienung mittels berührungssensitiven Bildschirmen. Beim offenen Interview stellte sich heraus, dass die Metaphern, die für die Interaktion mittels Freihandgesten verwendet wurden, unterschiedlich gut aufgefasst wurden. Beispielsweise war die Abbildung der x- und y-Koordinate im Koordinatensystem der Leap Motion auf die x- & y-Koordinate des Cursors

(Hand nach oben, unten, links oder rechts bewegen führt zur Verschiebung des Cursors in die gleiche Richtung) für einige Probanden schnell eingängig, während andere instinktiv versuchten, die y-Koordinate der Maus durch die z-Koordinate der Leap Motion, also durch eine Bewegung der Hand zum Bildschirm oder zum Körper, zu steuern. Das größte Problem der Probanden war laut Interview die hohe Präzision, die bei der Eingabe mit der Leap Motion nötig war, sowie die Gefahr, durch unbewusste Bewegungen, Fehler zu verursachen.

Der TLX-Fragebogen zeigt die deutlich höhere Anstrengung, die für die Bedienung mittels Freihandgesten nötig ist. Hier stechen bei dem durchschnittlichen Wert von 40,3 vor allem die körperliche und geistige Anforderung und die allgemeine Anstrengung heraus. Die körperliche Anstrengung wurde oftmals, ähnlich wie bei der Touch-Eingabe, mit dem Ausstrecken des Armes begründet. Der große Unterschied bei der körperlichen Belastung zur Interaktion mittels Touch liegt laut Probanden an der höheren Anforderung an die Präzision, die das Halten des Armes anstrengender macht und an der längeren Durchlaufsdauer der Durchgänge mit Freihandgesten-Eingabe. Die geistige Anforderung wurde laut den Angaben im Interview nicht dadurch verursacht, dass die Lösungswege nicht leicht verständlich waren, sondern eher dadurch, dass die Ausführung eine hohe Konzentration erforderte, um Fehler zu vermeiden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse des AttrakDiff-Fragebogens fällt auf, dass im Vergleich zur Interaktion mittels Touch-Eingaben ein nahezu gespiegeltes Ergebnis erreicht wurde. Das heißt, die Eigenschaft der hedonischen Qualität Simulation (HQ-S: 1,27) der Bedienung mittels Freihandgesten wurde wesentlich besser bewertet, als bei der klassischen Variante. Die Probanden empfanden also das Verwenden der neuartigen Interaktionstechnik als interessant und anregend. Dagegen sinkt die Bewertung der pragmatischen Qualität analog zum Ergebnis des System Usability Scale-Fragebogens auf durchschnittliche (PQ: -0,09). Auch die Attraktivität sinkt im Vergleich deutlich.

Bei der Betrachtung der Dauer der Durchführung und der Anzahl der Fehler ist festzustellen, dass beide im Vergleich zur Interaktion mittels Touch-Eingaben deutlich angestiegen sind. Die Dauer des gesamten Durchlaufs steigt um eine Minute auf 01:53, die Fehleranzahl steigt von 0,3 auf 1,5.

Angepasster Fahrkartenautomat mit Bedienung mittels Freihandgesten Bei diesem Durchlauf wurde die Oberfläche der Fahrkartenautomaten-Applikation für die Bedienung mittels Freihandgesten angepasst. Dabei wurde die Tastatur zur Auswahl der Stationen durch eine alternative Variante ersetzt (siehe: 3.11). Eine hierbei interessante Fragestellung für die Auswertung ist, ob die Anpassung der Oberfläche für eine bessere Benutzbarkeit und geringere Fehlerrate sorgt. Die Ergebnisse des System Usability Scale-Fragebogens zeigen, dass die durchschnittliche Bewertung dieses Durchgangs zirka 10 Punktzahl über der der unangepassten Variante liegt (SUS: 63,25). Auch das 95% Konfidenzintervall ist für diesen Durchgang etwas kleiner (57,05 - 69,45). Das heißt, die Probanden waren sich in diesem Durchgang etwas einiger, als im vorhergehenden. Allerdings ergab der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für den Unterschied des durchschnittlichen System Usability Scale-Punktzahlen, dass dieser nicht statistisch signifikant ist (siehe: 5.2.1). Die Auswertung der Unterschiede bei den einzelnen Fragen des System Usability Scale-Fragebogens zeigt dagegen, dass zumindest bei vier Fragen statistisch signifikante Unterschiede gemessen werden konnten. So benutzten die Proban-

den die Variante mit angepasster Benutzeroberfläche signifikant lieber, als die Version ohne Anpassungen (Ergebnis von Frage 1). Zudem empfanden sie die angepasste Variante als weniger komplex (Frage 2). Das Selbstvertrauen bei der Bedienung der Applikation ist bei der angepassten Variante ebenso signifikant höher (Frage 9) und das Bedürfnis nach Unterstützung durch einen Experten signifikant niedriger, als bei der nicht angepassten Variante. Die Anpassung der Benutzeroberfläche des Fahrkartenautomaten führte zu keiner signifikanten Veränderung der Beanspruchung der Probanden während der Interaktion, die durch den Nasa Raw TLX-Fragebogen erfasst wurde. Daraus lässt sich schließen, dass in diesem Fall die Interaktionstechnik und nicht die Benutzeroberfläche für die Beanspruchung sorgt. Dabei ist zu erkennen, dass bei allen Fragen die angepasste Variante etwas besser abschneidet, als die nicht angepasste, außer bei der Frage: „Wie hektisch und schnell war die Durchführung der Aufgabe?“. Bei dieser Frage schneidet die angepasste Variante über 10 Punkte schlechter ab. Warum dies der Fall ist, konnte in den offenen Interviews nicht erörtert werden. Weder die Differenz der Gesamtpunktzahl, noch die Differenzen bei den einzelnen Fragen können als statistisch signifikant betrachtet werden.

Die Betrachtung des AttrakDiff-Fragebogens bestätigt das bessere Abschneiden im Vergleich zur unangepassten Variante, welches beim offenen Interview von Probanden skizziert wurde. So steigen hier die Kennzahlen Stimulation und Identität, sowie die Attraktivität des Produkts signifikant. Lediglich die pragmatische Qualität bleibt nahezu unverändert. Die Probanden nannten zum vorhergehenden Durchgang gerne das Treffen der kleinen Buchstaben als eines der größten Probleme, welches durch die Anpassung der Benutzeroberfläche eingedämmt wurde. Die Fehlerrate sinkt von 1,5 Fehlern pro Durchgang auf 0,9 Fehler. Die Durchführungsdauer bleibt mit durchschnittlichen 01:48 Minuten nahezu unverändert.

Interaktive Berichte mit der Maus Der zweite Vergleichsdurchgang der Studie verwendet die Maus als Eingabegerät. Hierbei mussten die Probanden einige Aufgaben mit der Applikation Interaktive Berichte lösen, die sie im letzten Durchgang ebenfalls mittels Freihandgesten durchführen sollten. Das Ergebnis des System Usability Scales (87,0) zeigt, dass die Probanden hierbei keinerlei Probleme hatten. Die Verwendung einer Maus mit einer klassischen Desktop-Applikation sind alle Probanden seit mehreren Jahren gewohnt. Wenn man die Ergebnisse zu den einzelnen Fragen des System Usability Scales betrachtet, stechen die erste und die letzte Frage mit etwas schwächeren Ergebnissen heraus. Eine mögliche Interpretation ist, dass die Probanden die Software vorher nicht kannten und deswegen ein gewisser Lernaufwand vorhanden war. Weiterhin wurde die Frage, ob die Probanden die Software gern häufiger nutzen würden, etwas weniger positiv beantwortet. Dies könnte daran liegen, dass die Applikation einen sehr speziellen Anwendungsfall unterstützt, die Auswertung und Visualisierung von Studienergebnissen. Das 95% Konfidenzintervall für die durchschnittliche System Usability Scale-Punktzahl liegt derweil bei 82,73 - 91,27. Das heißt, die Probanden waren sich einig darin, dass das getestete System eine sehr gute Benutzbarkeit bietet.

Der Nasa Raw TLX-Fragebogen wurde durchschnittlich mit einer Punktzahl von 13,1 bewertet. Das heißt, er liegt nur knapp über dem Wert des Durchgangs „Fahrkartenautomat mittels Touch“. Lediglich die geistige Anforderung und Hektik bei der Durchführung der Aufgabe wurden mit durchschnittlich zirka 20 Punkten etwas höher bewertet. Dies könnte erneut daran liegen, dass die Applikation und deren Funktion im Gegensatz zum Fahrkartenautomaten

den Probanden zu Beginn unbekannt war.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse des AttrakDiff-Fragebogens zeigt sich, dass die Charakteristik sehr der Charakteristik des Durchgangs mit Touch-Eingabe ähnelt. Zwischen allen Werten existieren lediglich geringe Unterschiede. Das heißt, die pragmatische Qualität und die Attraktivität wurden gut bewertet, wohingegen die hedonische Qualität und vor allem die Stimulation abfallen. Die Durchführungsdauer lag bei 01:15, die Fehlerrate bei durchschnittlich einem Fehler pro Durchgang.

Interaktive Berichte mit Bedienung mittels Freihandgesten Der letzte Durchgang testet die Interaktion mit der Applikation Interaktive Berichte mittels Freihandgesten. Hierbei kommen die meisten neuen Interaktionskonzepte zum Einsatz, was den Durchgang zum komplexesten der Studie macht.

Das Ergebnis des System Usability Scale-Fragebogen ist dementsprechend etwas negativer zu bewerten, als die vorangegangenen. Im Durchschnitt wurden 41,5 Punkte erreicht. Das 95% Konfidenzintervall liegt bei 33,11 - 49,89. Das bedeutet, die Punktzahl ist mit F+ bis F zu bewerten. Dabei entspricht die durchschnittliche bis gute Punktzahl bei den Fragen fünf und sechs, den Aussagen der Probanden, dass sie die Umsetzung prinzipiell gelungen empfanden, die Bedienung Ihnen aber dennoch schwer viel. Nach subjektiver Meinung von 9 Probanden sollte das Interaktionskonzept nach einer „Eingewöhnungszeit und mit etwas Feinschliff“ gut verwendbar sein. Hierzu wäre es interessant, zwei Studien mit denselben Probanden durchzuführen. Hierdurch könnte man Auswirkungen messen, die durch das Verwenden von Freihandgesten über einen längeren Zeitraum auftreten. 12 Probanden nannten die Spalten & Reihenauswahl als positives Element der Bedienung. Der Eingabemodus Shortcuts bereitete der Mehrheit der Probanden die größten Schwierigkeiten.

Der Nasa TLX-Fragenbogen ergab analog zur schlechteren Bewertung der Benutzbarkeit eine höhere Belastung. So wurde die durchschnittliche Punktzahl 54,9 mit dem Konfidenzintervall 48,4 - 61,4 erreicht. Die höchsten Belastungen wurden dabei bei der körperlichen und der geistigen Belastung angegeben. Dies resultiert, wie in vorigen Durchgängen, in der Anstrengung, den Arm nach vorne strecken und präzise bewegen zu müssen. Hinzu kommt, dass der Durchgang mehr unterschiedliche Interaktionskonzepte testet und somit deutlich länger ausfällt, als die voran gegangenen. Dadurch steigt auch die körperliche Belastung. Die geistige Belastung ist ebenso gestiegen, da die hier getesteten Eingabemodi die Verwendung von mehreren Händen, Posen und Gesten erfordert hat, was zu einer komplexeren Aufgabe als bei den Durchgängen mit Fahrkartenautomaten geführt hat.

Der AttrakDiff-Fragebogen liefert für diesen Durchgang Ergebnisse, die wiederum den anderen Durchgängen mit Freihandgesten ähneln. So wird die hedonische Qualität-Stimulation am besten bewertet, während die pragmatische Qualität unterdurchschnittlich abschneidet. Die Attraktivität wird etwas konträr zu den bisherigen Ergebnissen überdurchschnittlich bewertet. Dies passt allerdings zu Aussagen im offenen Interview, welche der Bedienung der Interaktive Berichte-Applikation durch Freihandgesten ein „Minority Report“-Gefühl zusprechen, ebenso wie den Eindruck, man habe „mit den Händen alles auf einmal unter Kontrolle“.

Die Durchführungsdauer dieses Durchgangs steigt im Vergleich zum Durchgang mit der

Maus wesentlich an, um mehr als zwei Minuten auf 03:26. Die Fehlerrate lag mit 3,3 Fehlern pro Durchgang ebenfalls deutlich höher.

Klassische Interaktionstechniken vs Freihandgesten Die Studie zeigt, dass die Benutzbarkeit und die Beanspruchung bei der Benutzung der Interaktion mittels Freihandgesten deutlich schlechter zu bewerten sind, als bei klassischen Interaktionstechniken wie die Eingabe mittels Maus oder Tastatur. Im offenen Interview häufig genannte Probleme bei der Interaktion mittels Freihandgesten waren: Hohe Präzision nötig, ungewohnte Interaktion, Position verändert sich beim Versuch des Klicks, begrenzter Interaktionsraum der Leap Motion, kein taktiler Feedback, hoher Lernaufwand. Das Problem war überwiegend nicht das Verstehen des Konzepts der Interaktion, sondern die schwierige motorische Umsetzung.

Fahrkartenautomat vs Interaktive Berichte Die Ergebnisse des Fahrkartenautomaten mit Freihandgesten-Eingabe haben besser abgeschnitten, als die Freihandgesten-Eingabe für Interaktive Berichte. Dies liegt nach Erkenntnissen im Interview vor allem an den komplexeren Eingabemethoden. Dabei gab es überraschenderweise sehr unterschiedliche Angaben, welche Eingabemethoden den Probanden besser und welche ihnen schlechter gefallen hat.

6 Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit vergleicht die Verwendung von Freihandgesten zur Interaktion mit Computern anhand von zwei Anwendungsfällen. Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse und Erkenntnisse, die durch die Arbeit erlangt wurden, zusammen und erläutert, welche aufbauenden und vertiefenden Fragestellungen in zukünftigen Arbeiten angegangen werden können.

6.1 Zusammenfassung

In verschiedenen Szenarien gibt es die Motivation für berührungslose Interaktion mit Computern. Dies sind beispielsweise Szenarien, in denen das Eingabegerät aus Gründen der Verschmutzung oder aus hygienischen Gründen nicht berührt werden soll. Dies können Umgebungen in der Industrie sein, wo der Benutzer mit Schmutz in Kontakt kommt oder Computer im öffentlichen Raum, wie beispielsweise an Bahnhöfen oder Innenstädten. Hier kann argumentiert werden, dass das Anfassen von Eingabegeräten für die Verbreitung von Keimen und Erregern führen kann. Ein weiteres Szenario für berührungslose Interaktion besteht, wenn der zu bedienende Computer oder die Benutzerschnittstelle nicht direkt erreicht werden kann oder bei der Interaktion eine größere Bewegungsfreiheit gewünscht ist, als es mit Eingabegeräten wie der Maus oder berührungssensitiven Bildschirmen umsetzbar ist. Dies wird beispielsweise von der Microsoft Kinect im Zusammenspiel mit der Microsoft Xbox umgesetzt. Diese sind typischerweise im Wohnzimmer platziert, wo weder die Eingabe mit der Maus, noch die Interaktion mittels Touch-Eingaben anwendbar ist. Gleichzeitig sind in den vergangenen Monaten Geräte, wie die eben erwähnte Microsoft Kinect oder die Leap Motion auf dem Markt veröffentlicht worden, welche die Interaktion mittels Freihandgesten kostengünstig ermöglichen. Für diese gilt es, den sogenannten *Sweetspot* (englisch für: süßer Punkt, optimaler Punkt) zu kennen. Das heißt, es ist für das sinnvolle Einsetzen dieser Geräte und Interaktionstechniken nötig, herauszufinden, für was sie ideal geeignet sind und für was nicht. Aus dieser Motivation heraus wird die Interaktion mit Freihandgesten anhand von zwei Anwendungsfällen mit klassischen Eingabegeräten, wie der Maus und berührungssensitiven Bildschirmen verglichen. Die beiden Anwendungsfälle sind der Fahrkartenautomat der Deutschen Bahn, der mittels Touch-Eingaben gesteuert wird und die Applikation UID Interaktive Berichte, welche mit der Maus bedient wird und die Visualisierung und Präsentation von Studienergebnissen ermöglicht. Die Motivation für das Ersetzen der Touch-Eingabe des Fahrkartenautomaten der Deutschen Bahn ist das hygienischen Bedenken bei Computern im öffentlichen Raum. Die Anwendung Interaktive Berichte soll in Präsentationsszenarien eingesetzt werden, wobei der Präsentator nicht an eine Maus oder einen berührungssensitiven

Bildschirm gebunden sein möchte. Darum soll hier die Interaktion mittels Freihandgesten für eine höhere Bewegungsfreiheit sorgen.

Für beide Szenarien wurde ein Interaktionskonzept entwickelt, welches verschiedene Eingabemöglichkeiten definiert, die es ermöglichen, die Funktionen der beiden Anwendungen mittels Freihandgesten zu verwenden. Dabei wurde das Konzept für den Fahrkartenautomaten so konzipiert, dass die Interaktion möglichst selbsterklärend funktioniert. Darum orientiert sich die Interaktion an der Benutzeroberfläche des Fahrkartenautomaten. Da diese Benutzeroberfläche allerdings für berührungssensitive Bildschirme optimiert wurde, erschien es sinnvoll, Teile der Applikation für die Interaktion mittels Freihandgesten anzupassen. Im Gegensatz zur möglichst einfachen Interaktion mit dem Fahrkartenautomaten sollte die Interaktion für die Applikation Interaktive Berichte als Expertensystem umgesetzt werden, für welches ein gewisser Lernaufwand akzeptiert wird. Die Konzentration lag hierbei vielmehr auf der effizienten Anwendung aller Funktionen der Applikation mittels speziell angepasster Eingabemöglichkeiten.

Um die entworfenen Interaktionskonzepte verwenden und testen zu können, wurde eine C#-Bibliothek entwickelt, welche die Erkennung von Gesten und Posen implementiert und so die Interaktionskonzepte umsetzt. Weiterhin wurde die Bibliothek in die Applikation Interaktive Berichte eingebunden. Vom Fraunhofer Institut IAT und der Deutschen Bahn wurde uns die Software der Fahrkartenautomaten zur Verfügung gestellt. Allerdings ließen sich nicht alle Ideen umsetzen, ohne den Source Code verändern zu können. Darum wurde die Fahrkartenautomaten-Applikation für die Arbeit nachgebaut und ebenso mit der C#-Bibliothek verknüpft. Für den angestrebten Vergleich der Interaktionstechniken wurde anschließend eine Studie durchgeführt. In der Studie mussten 20 Probanden und Probandinnen einige Aufgaben jeweils einmal mit der klassischen Interaktionstechnik (Maus oder Touch) und mittels Freihandgesten durchführen. Zusätzlich gab es für den Anwendungsfall Fahrkartenautomat noch einen dritten Durchgang, bei dem die für die Interaktion mittels Freihandgesten angepasste Benutzeroberfläche getestet wurde. Im Anschluss an jeden Durchgang füllten die Teilnehmer die Fragebögen *System Usability Scale*, *Nasa Raw TLX* und *AttrakDiff* aus. Zusätzlich wurde die Fehlerrate und die Durchführungsdauer mitgeloggt. Anschließend wurden die Fragebögen ausgewertet und die Ergebnisse der einzelnen Durchgänge miteinander verglichen.

6.2 Diskussion

Bei Betrachtung der Ergebnisse fällt zunächst auf, dass die Interaktion mittels Freihandgesten im Vergleich zu den klassischen Interaktionstechniken eine wesentlich schlechtere Benutzbarkeit und eine wesentliche höhere Beanspruchung der Benutzer mit sich bringt. Dies kann zum Einen daran liegen, dass die Benutzer nahezu keine Erfahrung mit der Interaktion mittels Freihandgesten hatten (lediglich 1 Proband hatte Erfahrung im Umgang mit einer Microsoft Kinect, alle anderen hatten keinerlei Erfahrung mit Freihandgesten), sich aber mit der Maus- und Touch-Eingabe sehr gut auskannten. Andererseits sind bei der im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Lösung, im Vergleich zu den etablierten Eingabegeräten, noch Probleme bei der Robustheit vorhanden, die mit Sicherheit zum schlechteren Nutzererlebnis beigetragen

haben. Weiterhin konnte in der Evaluation festgestellt werden, dass das Interaktionskonzept gut verstanden und größtenteils als intuitiv eingeschätzt wurde. Allerdings bereitete die Ausführung der entsprechenden Eingaben dennoch Probleme, da die Anforderungen bezüglich der Präzision bei den Eingaben zu hoch waren und, wie bereits erwähnt, die Robustheit noch nicht ausreichend war. Der AttrakDiff-Fragbogen ergab, dass die hedonische Qualität-Stimulation für die Durchgänge mit Freihandgesten wesentlich höher bewertet wurde, als mit den klassischen Eingabemethoden. Das heißt, dass die Applikation durch die Verwendung von Freihandgesten für die Benutzer wesentlich interessanter und anregender wurden. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Anpassung der Benutzeroberfläche des Fahrkartenautomaten sich positiv auf die Bewertung der hedonischen Qualität (Identität und Stimulation) und der Attraktivität des Produkts ausgewirkt hat. Das heißt, die Anpassung verbesserte den Grad, in dem sich die Benutzer mit dem Produkt identifizieren konnten (Identität), ebenso wie die Stimulation und den Gesamteindruck des Produkts (Attraktivität). Weiterhin fiel sowohl in der statistischen Auswertung, wie auch im offenen Interview mit den Probanden auf, dass die Eingabemodi, die sich an der Benutzeroberfläche orientierten, am besten aufgefasst wurden. Das bestätigt die Annahme, dass die direkte Interaktion mit auf dem Bildschirm angezeigten Elementen eine intuitivere Lösung darstellt, als das Verwenden von speziellen Gesten und Posen, die zunächst gelernt werden müssen. Das Feedback durch den Cursor wurde überwiegend positiv bewertet. Allerdings hätten mehrere Probanden sich zusätzlich eine Demonstration der komplexeren Gesten innerhalb der Anwendung gewünscht.

6.3 Ausblick

Um weitere Erkenntnisse für die hier betrachtete Fragestellung zu erhalten, macht es Sinn, die Freihandgesten-Eingabe bezüglich der Robustheit zu optimieren. Da die direkte Interaktion mittels virtuellen Objekten der vielversprechendste Ansatz zu sein scheint, wäre es interessant, in diese Richtung weiter zu arbeiten. Hierfür wäre eine weitere Möglichkeit, die Benutzeroberfläche dementsprechend anzupassen. Einerseits könnten klassische Desktop- oder Touch-optimierte Oberflächen stärker auf die Interaktion mittels Freihandgesten angepasst werden. Andererseits scheint die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung von Inhalten noch mehr Potenziale zu bieten, da hier die virtuelle direkte Interaktion noch realistischer und somit intuitiver und natürlicher umgesetzt werden könnte.

Literaturverzeichnis

- [BBH89] J. Byers, A. Bittner, S. Hill. Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary. *Advances in industrial ergonomics and safety I*, S. 481–485, 1989. (Zitiert auf Seite 56)
- [BSS13] G. Bruder, F. Steinicke, W. Sturzlinger. To touch or not to touch?: comparing 2D touch and 3D mid-air interaction on stereoscopic tabletop surfaces. In *Proceedings of the 1st Symposium on Spatial User Interaction*, S. 9–16. ACM, Los Angeles, California, USA, 2013. doi:10.1145/2491367.2491369. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2491369>. (Zitiert auf Seite 31)
- [Bux07] B. Buxton. Multi-touch systems that I have known and loved. *Microsoft Research*, 56:1–11, 2007. URL <http://www.cs.berkeley.edu/~tlavian/spring2009/Projects/Multytouchsystems.pdf>. (Zitiert auf Seite 9)
- [Cas96] J. Cassel. What you need to know about nature gesture. In *Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition: Keynote Address*. 1996. (Zitiert auf Seite 14)
- [Cas98] J. Cassell. A Framework For Gesture Generation And Interpretation. *Computer vision in human-machine interaction*, S. 191–215, 1998. URL <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=Pe7gG0LxEUIC&oi=fnd&pg=PA191&dq=A+framework+for+gesture+generation+and+interpretation&ots=03uaKyG8TR&sig=MV1khWtIzoSZ8cDCChykel0k004>. (Zitiert auf den Seiten 18 und 19)
- [Dou01] P. Dourish. *Where the action is: the foundations of embodied interaction*. December. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2001. URL http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=DCIy2zxrCqcC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Where+the+Action+Is++The+Foundations+of+Embodied+Interaction&ots=oD36g5f1Rg&sig=1sSrgeVqin-KLFXG-0Szae8_rss. (Zitiert auf Seite 19)
- [GJM11] S. Grandhi, G. Joue, I. Mittelberg. Understanding Naturalness and Intuitiveness in Gesture Production: Insights for Touchless Gestural Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 821–824. 2011. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1979061>. (Zitiert auf den Seiten 19 und 20)
- [Hay] F. Hayes. *Encyclopedia Americana*. (Zitiert auf Seite 15)

- [HS98] C. Hummels, P. Stappers. Meaningful gestures for human computer interaction: beyond hand postures. In *Proceedings Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, S. 591–596. IEEE Comput. Soc, 1998. doi: 10.1109/AFGR.1998.671012. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=671012>. (Zitiert auf den Seiten 14 und 19)
- [KH90] G. Kurtenbach, E. Hulteen. Gestures in Human-Computer Communication. In *The Art and Science of Interface Design*, S. 309–317. Addison-Wesley Publishing Co., 1990. (Zitiert auf Seite 15)
- [KS05] M. Karam, M. Schraefel. A taxonomy of gestures in human computer interactions. Technischer Bericht, 2005. URL <http://eprints.ecs.soton.ac.uk/11149>. (Zitiert auf Seite 19)
- [Lea14a] Leap Motion. Airspace Store, 2014. URL <https://airspace.leapmotion.com/>. (Zitiert auf den Seiten 27 und 30)
- [Lea14b] Leap Motion. www.leapmotion.com, 2014. URL <https://www.leapmotion.com/>. (Zitiert auf Seite 24)
- [Lee10] J. Lee. In search of a natural gesture. *ACM Crossroads*, 16(4):9–12, 2010. URL http://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=1764848&type=pdf#page=11. (Zitiert auf den Seiten 13, 14, 18 und 19)
- [Mar14] A. Martin. *2D und 3D Gesten-Interaktion mit einem Assistenzsystem am Arbeitsplatz für leistungsgeminderte Arbeiter*. Dissertation, Universität Stuttgart, 2014. (Zitiert auf Seite 30)
- [MBEM92] W. F. Moroney, D. W. Biers, F. T. Eggemeier, J. A. Mitchell. A comparison of two scoring procedures with the NASA task load index in a simulated flight task. In *Aerospace and Electronics Conference, 1992. NAECON 1992., Proceedings of the IEEE 1992 National*, S. 734–740. 1992. URL http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=220513. (Zitiert auf Seite 56)
- [Met14] M. Metias. *Combining Multiple Gesture Sensing Technologies to Interact with Public Displays*. Dissertation, Universität Stuttgart, 2014. (Zitiert auf Seite 29)
- [MSD] MSDN. msdn.microsoft.com. URL <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx>. (Zitiert auf Seite 25)
- [Nor10] D. Norman. Natural user interfaces are not natural. *interactions*, 17(3):6–10, 2010. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1744163>. (Zitiert auf den Seiten 15, 16 und 18)
- [NSMG03] M. Nielsen, M. Störring, T. B. Moeslund, E. Granum. A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for man-machine interaction. Technischer Bericht, Aalborg University, Laboratory of Computer Vision and Media Technology, Aalborg, 2003. URL http://www.cs.uml.edu/~holly/teaching/91550/spring2012/fgnet_techreport.pdf. (Zitiert auf Seite 19)

- [PSH97] V. Pavlovic, R. Sharma, T. Huang. Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 19(7):677–695, 1997. URL http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=598226. (Zitiert auf Seite 21)
- [RLL11] J. Ruiz, Y. Li, E. Lank. User-defined motion gestures for mobile interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 197–206. ACM Press, New York, New York, USA, 2011. doi:10.1145/1978942.1978971. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=1978942.1978971>. (Zitiert auf den Seiten 15 und 17)
- [Sau] J. Sauro. *measuringusability.com*. URL www.measuringusability.com/sus.php. (Zitiert auf den Seiten 57 und 84)
- [Sla] Slashgear. *slashgear.com*. URL <http://www.slashgear.com/metapro-ar-glasses-pack-iron-man-tech-into-aviator-style-17309096/>. (Zitiert auf Seite 26)
- [SWE08] H. I. Stern, J. P. Wachs, Y. Edan. Optimal Consensus Intuitive Hand Gesture Vocabulary Design. In *Semantic Computing, 2008 IEEE International Conference on*, S. 96–103. Ieee, 2008. doi:10.1109/ICSC.2008.29. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4597179>. (Zitiert auf Seite 19)
- [VAW12] R.-d. Vatavu, L. Anthony, J. O. Wobbrock. Gestures as Point Clouds : A \$ P Recognizer for User Interface Prototypes. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction*, S. 273–280. ACM, 2012. (Zitiert auf Seite 48)
- [WBRF13] F. Weichert, D. Bachmann, B. Rudak, D. Fisseler. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 13(5):6380, 2013. doi:10.3390/s130506380. URL <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3690061&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>. (Zitiert auf den Seiten 23 und 30)
- [WW11] D. Wigdor, D. Wixon. *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Elsevier, 2011. URL <http://books.google.com/books?id=ID0L0EI79-YC&pgis=1>. (Zitiert auf den Seiten 9, 13, 18 und 36)

Alle URLs wurden zuletzt am 04.05.2014 geprüft.

Erklärung

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

Ort, Datum, Unterschrift