

# Evaluation der berührungslosen 3D-Gestensteuerung eines Public Displays unter Einsatz der Microsoft Kinect

Björn Janich, Monique Dittrich, Milena Schlosser, Gerd Bruder, Frank Steinicke

Immersive Media Group (IMG)

Institut für Informatik & Institut für Mensch-Computer-Medien

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

E-Mail: {bjoern.janich,monique.dittrich,milena.schlosser}@stud-mail.uni-wuerzburg.de  
{gerd.bruder,frank.steinicke}@uni-wuerzburg.de

**Abstract:** In diesem Paper beschreiben wir die berührungslose Gestensteuerung eines Public Displays auf Basis der Microsoft Kinect und FFAST-Bibliothek. Public Displays sind (audio-)visuelle Informationssysteme, deren Inhalte entweder programmgesteuert oder manuell zusammengestellt werden können. Im Rahmen dieser Arbeit stellen wir ein interaktives Public Display vor, welches es Anwendern erlaubt durch die Inhalte mittels 3D-Gesten im Raum zu navigieren. Wir beschreiben die Umsetzung im Detail und stellen die Ergebnisse einer Benutzerstudie vor, in der wir die Gestensteuerung mit naiven Benutzern auf Benutzer-tauglichkeit geprüft haben. Wir diskutieren Implikationen für den Einsatz von 3D Interaktion im Rahmen von Public Displays.

**Keywords:** Gestensteuerung, Public Display, 3D Interaktion, Kinect

## 1 Einleitung

Die letzten Jahre haben eine zunehmende Verschmelzung von realen und virtuellen Elementen im täglichen Leben gezeigt. Hierzu zählen insbesondere an öffentlichen Plätzen eingesetzte Bildschirme, sogenannte Public Displays, die zum Teil passiv Informationen an Betrachter vermitteln, oder interaktiv auf Benutzereingaben reagieren können. Während im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion und 2D/3D Benutzerschnittstellen verschiedene Methoden vorgeschlagen wurden für die Interaktion mit virtuellen Elementen in derartigen semi-immersiven Umgebungen [ACD<sup>+</sup>10, OSW13], basiert die verbreitetste Interaktionsform aktuell auf berührungssensitiven Bildschirmen, sogenannten Touchscreens, die eine intuitive Interaktion ermöglichen [Moh11]. Jedoch bringen Touchscreens diverse Nachteile mit sich. Wie eine Studie des Wall Street Journals in 2012 zeigte, befinden sich allein auf Smartphones häufig bis zu 4200 verschiedene Bakterienkolonien<sup>1</sup>. Diese Zahlen lassen nur vermuten, welche Anzahl an Krankheitserregern an öffentlichen Touchscreens zu finden ist.

Ein weiterer Nachteil hängt ebenfalls unmittelbar mit der berührungsbasierten Steuerung von Touchscreens zusammen: sie müssen den Menschen direkt zugänglich sein und sind deren

---

<sup>1</sup><http://online.wsj.com/article/SB10000872396390444868204578064960544587522.html>

ständigen Kontakt ausgesetzt. Diese Art des Umwelteinflusses hat, neben witterungsbedingten Auswirkungen bei Touchscreens unter freiem Himmel, einen entscheidenden Einfluss auf die Langlebigkeit solcher Bildschirme und setzt sie einem unausweichlichen Diebstahl- und Vandalismusrisiko aus. Eine gesundheitlich unbedenklichere sowie diebstahl- und witterungsresistente Alternative für die Interaktion mit Public Displays bietet die berührungslose Gestensteuerung [Kru83, KH90, SZ94]. Durch Bewegungen des menschlichen Körpers können mit Hilfe aktueller Trackingsensoren Befehle an den Computer vermittelt werden wodurch dieser auch innerhalb gesicherter Bereiche (z.B. hinter Schaufenstern) nutzbar ist.

Derartige Steuerungen werden vermehrt von der Spieleindustrie gefördert, zu denen insbesondere die Microsoft Kinect zu zählen ist. Die robuste Erkennung von Gesten auf Basis von Körperbewegungen ist jedoch eine signifikante Herausforderung. Während die Gestensteuerung in Spieleumgebungen vergleichsweise kontrolliertes Training und die Anpassung an einzelne Benutzer ermöglicht, stellt sich die Frage, ob Gestensteuerungen in öffentlichen Umgebungen intuitiv genutzt werden und alltagstauglich für die Interaktion mit virtuellen Elementen sein können.

In dieser Arbeit beschreiben wir die Umsetzung und Evaluation eines universitär, nicht kommerziell genutzten interaktiven Public Displays. Die Aufgabe des Public Displays ist zum Einen an dessen Standort Navigationshilfen für die Besucher zu geben und zum Anderen über universitäre Neuigkeiten zu informieren. Aus den oben genannten Gründen wurde zur Interaktion mit dem Gerät eine Gestensteuerung mit der auf dem Display dargestellten Webanwendung unter Einsatz der Microsoft Kinect und der FFAST-Bibliothek [SLR<sup>+</sup>11] entwickelt.

## 2 Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel beschreiben wir verwandte Arbeiten zur berührungslosen Steuerung von Public Displays.

**Berührungslose Interaktion** Verschiedene optische und nicht-optische Trackingsensoren ermöglichen es, die Pose eines oder mehrerer Benutzer in der Nähe eines Public Displays in Echtzeit zu messen. Ein PrimeSense-Sensor<sup>2</sup>, wie er beispielsweise in der Microsoft Kinect<sup>3</sup> verwendet wird, ermittelt Raum- und Tiefenhinweise mit der Hilfe von IR-Licht. Aktuelle Entwicklungen wie die Leap Motion<sup>4</sup> demonstrieren eindrucksvoll die immer präziser werdende Technik. Im Fall der Leap Motion beruht diese auf mehreren Kameras und IR-LEDs, wodurch sogar die Bewegungen einzelner Finger getrackt werden können. Auf diese Weise kann eine Erkennung ganz ohne Eingabegeräte oder die Instrumentierung eines Anwenders stattfinden.

---

<sup>2</sup><http://www.primesense.com>

<sup>3</sup><http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>

<sup>4</sup><https://www.leapmotion.com>

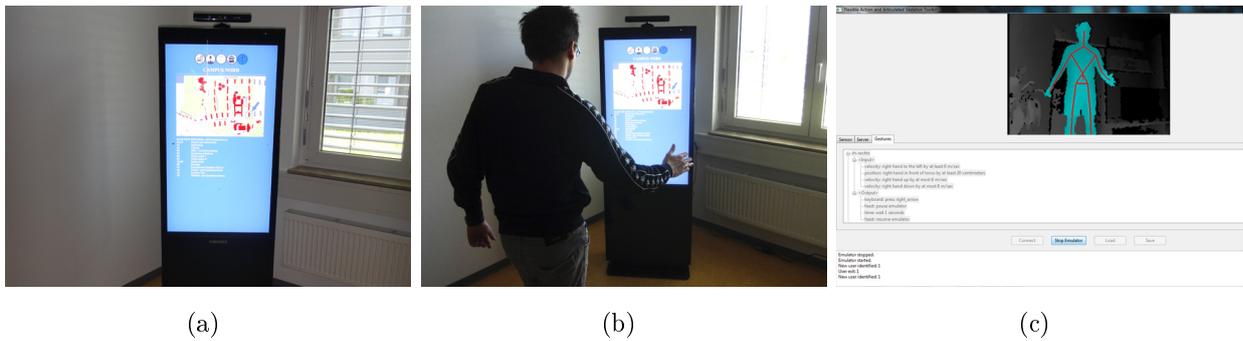


Abbildung 1: Design des Prototypen: (a) Public Display mit Microsoft Kinect, (b) Gesteninteraktion auf Basis von swipe-Gesten und (c) Darstellung des FFAST-Toolkits zur Definition von Gesten.

**Gestengesteuerte Interaktion** Gestenbasierte Interaktionsformen haben ihr Potenzial in den letzten Jahren insbesondere im Bereich berührungssensitiver Oberflächen gezeigt. Derzeit beschäftigen sich verschiedene Forschungsgruppen mit der Entwicklung neuer gestenbasierter Interaktionstechniken im Rahmen der berührungslosen Interaktion. Das SpeckleSense-Prinzip bezieht sich dabei beispielsweise auf projektionsbasierte Trackingsysteme, die auf eine dreidimensionale Aufteilung der Umgebung setzen und für deren Kodierung spezielle Blitzeffekte genutzt werden. Auch das sogenannte *Office of the Future* [RWC<sup>+</sup>98] oder das *Bokode-* [MWH<sup>+</sup>09] und *Prakash-*Projekt [RNd<sup>+</sup>07] verwenden inkohärent strukturiertes Licht, während sich das Unternehmen PrimeSense auf Gitterdiffraktionen spezialisiert hat, um die gewünschten Muster und Profile zu erzeugen.

**Motion Input für Public Displays** In Bereich der Public Displays bestehen bereits Projekte, die auf physikalische Eingabegeräte und Touch-Oberflächen verzichten. Hierzu werden Bewegungen zumeist der dominanten Hand eines Anwenders von Sensoren erkannt. Beispielsweise wurden Applikationen zum Betrachten von Fotos entwickelt [ZOR11], mit der auf diese Weise zwischen verschiedenen Miniaturansichten gewählt werden kann, wobei die jeweils ausgewählte Ansicht als Vollbild dargestellt wird. Diese berührungslose Interaktion ist sowohl aus den bereits eingangs erwähnten hygienischen Gründen als auch aus Gründen der Materialschonung vorteilhaft gegenüber berührungsabhängigen Varianten.

### 3 Implementierung des Interaktiven Public Displays

In diesem Kapitel wird die Umsetzung eines Prototypen der Gestensteuerung eines universitär genutzten Public Displays beschrieben. Verwendet wurde ein Samsung Professional LCD Display vom Typ SyncMaster OL46B. Das Display hat eine Größe von 45,9 Zoll was einer Bildschirmdiagonalen von 116cm entspricht. Insgesamt ist das Public Display 174cm hoch und 62cm breit. Die maximale Auflösung beträgt 1920×1080 Pixel.

### 3.1 Web-basierter Content

Als Grundlage für die Interaktion mit dem Public Display wurde eine simple Webanwendung entwickelt. Hierzu wurde ein lokaler WAMP-Server aufgesetzt und eine PHP- und JavaScript-basierte Webseite erstellt. Unter Einsatz des auf HTML5 basierenden Framework Reveal.js<sup>5</sup> hört die Webanwendung auf Tastatureingaben zum Umschalten zwischen verschiedenen Tabs wie in Abbildung 1 dargestellt. Im oberen Bereich der Webseite wurde eine Navigationsleiste angebracht, die einen Benutzer bei der Orientierung unterstützen kann. Die FFAST-Bibliothek [SLR<sup>+</sup>11] wurde eingesetzt in Kombination mit einer an das Public Display angebrachten Microsoft Kinect zur Erkennung der Bewegungen von Benutzern und zur Umwandlung von berührungslosen Gesten in Tastatureingaben (siehe Abb. 1(b-c)).

### 3.2 Unterstützte Gesten

Die FFAST-Bibliothek ermöglicht es, über verschiedene Parameter gewünschte Gesten im relativen Koordinatensystem des Körpers eines von der Kinect erkannten Benutzers zu definieren. Zur möglichst intuitiven Steuerung des Public Displays wurden in einer informellen Vorab-Studie im Rahmen eines Seminars vier Gesten identifiziert, die relativ robust von FFAST erkannt werden können, sowie als einfach und intuitiv von den Testanwendern eingeschätzt wurden. Durch die gewählte Menüstruktur der Webseite wurden vier verschiedene Gesten benötigt, um jeweils nach links, rechts, oben und unten navigieren zu können (siehe Abb. 1(b)). Hierzu wurden die bekannten swipe-Gesten ausgewählt, d.h. Wischbewegungen einer oder mehrerer Hände nach links/rechts oder oben/unten. Die definierten Gesten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

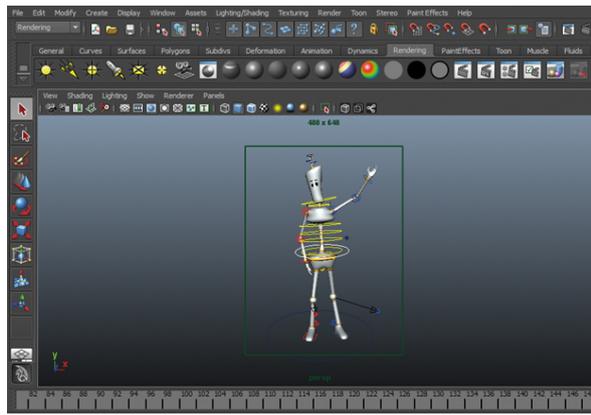
ID	Bewegung	Tastenabbildung
$G_1$	von-rechts-nach-links	rechte Pfeiltaste
$G_2$	von-links-nach-rechts	linke Pfeiltaste
$G_3$	von-oben-nach-unten	untere Pfeiltaste
$G_4$	von-unten-nach-oben	obere Pfeiltaste

Tabelle 1: Übersicht über die implementierten swipe-Gesten aus Sicht des Benutzers und ihre Abbildung auf Tastaturevents (vgl. Abb. 1(b)).

Nach der initialen Selektion und Implementierung der Gesten zeigte sich jedoch, dass je nach Lichtverhältnissen und Störobjekten FFAST die Position der Hände nicht korrekt bestimmen konnte. Um die Anzahl von negativen Fehlerkennungen (*false negatives*) zu reduzieren wurde hierfür in FFAST eine Mindestgeschwindigkeit von 6m/sec für die Handbewegungen, sowie ein Mindestabstand der Hand von 20cm vor dem Körper des Benutzers definiert, wodurch eine robuste Erkennung ermöglicht wurde. Im Rahmen der Implementierung unter

---

<sup>5</sup><http://lab.hakim.se/reveal-js/>



(a)



(b)

Abbildung 2: Einbettung von Hilfestellungen für die Gesteninteraktion mit Public Displays:  
 (a) Erstellung von Animationsbewegungen eines virtuellen Agenten in Autodesk Maya und  
 (b) Einbettung der Animationen in die entwickelte Webanwendung.

den Entwicklern zeigte sich nur eine geringe Anzahl von positiven Fehlerkennungen (*false positives*), jedoch konnte es nicht ausgeschlossen werden, dass hierbei Trainingsfaktoren eine Rolle gespielt haben. Auf diese wird in Kapitel 4 eingegangen.

### 3.3 Virtueller Agent

Da gestengesteuerte Webanwendungen im alltäglichen Leben noch nicht weit verbreitet sind, stellte sich die Frage, wie Benutzern diese Art der Interaktion möglichst einfach und intuitive vermittelt werden kann. Insbesondere muss Benutzern deutlich gemacht werden, dass es sich bei dem Public Display um ein interaktives Medium handelt, welches über gestenbasierte Interaktion ohne zusätzlichen Eingabegeräte bzw. Berührungen gesteuert werden kann. Daher wurde auf die Unterstützung eines *virtuellen Agenten (VA)* zurückgegriffen, der Benutzern entsprechende Hilfestellungen in Textform geben und Gesten vorführen kann. Dieser ist als Animation mit der 3D-Animationssoftware Autodesk Maya erstellt worden. Der VA wurde direkt in die Webseite eingebettet und ist in der Lage sämtliche notwendigen Gesten zu veranschaulichen. Abbildung 2 illustriert den entwickelten virtuellen Agenten und die Einbettung in die entwickelte Webanwendung.

## 4 Benutzerstudie

In diesem Kapitel beschreiben wir eine explorative Studie, in der wir die entwickelte Gestensteuerung und die Unterstützungsfunktion des virtuellen Agenten auf Intuitivität und Benutzerfreundlichkeit getestet haben.

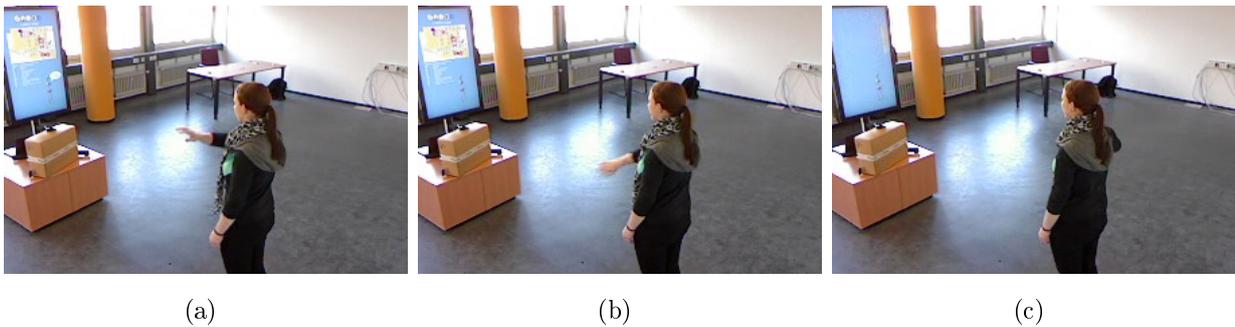


Abbildung 3: Screenshots eines Teilnehmers während der Benutzerstudie: Rechtshändige Swipe Bewegung von links nach rechts.

#### 4.1 Teilnehmer

Insgesamt nahmen 11 weibliche und 11 männliche Versuchsteilnehmer ( $N = 22$ ) an der Studie teil. Das Durchschnittsalter der Probanden war  $M = 22,24$  Jahre ( $SD = 2,37$ ). Alle Probanden waren Studierende der Studiengänge Mensch-Computer-Systeme ( $N_{MCS} = 12$ ) oder Medienkommunikation ( $N_{MK} = 10$ ) und hatten bereits erste Erfahrungen mit dem Thema Gestensteuerung. Besonders häufig bezogen sich diese Erfahrungen auf den Umgang mit Smartphones (100%), Tablets (86%), der Spielekonsole Nintendo Wii (68%) und der Microsoft Kinect (63%). Mit der Sony Konsole PS3 und deren Möglichkeit gestengesteuert zu interagieren hatten hingegen erst 13%, mit touchfähigen Laptops nur 50% der Probanden Erfahrungen gemacht. Die Benutzerstudie dauerte etwa 20 Minuten pro Versuchsteilnehmer.

#### 4.2 Design der Evaluation

Zu Beginn des Versuches wurden Probanden in den in Abbildung 3 dargestellten Versuchsbereich geführt. Die Versuchsteilnehmer wurden in zwei Gruppen unterteilt: Für Gruppe MVA wurde der virtuelle Agent dargestellt und Gruppe OVA hat ohne Agenten mit dem interaktiven Public Display interagieren müssen. Der Versuch wurde in zwei Phasen unterteilt: In der ersten Phase wurden die Probanden instruiert, frei und selbstständig für ca. 3 Minuten mit der Webanwendung zu interagieren. Während dieser Phase wurden die Probanden instruiert nach dem Prinzip des „lauten Denkens“ ihr Vorgehen zu kommentieren [Joe89]. In der zweiten Phase wurden den Probanden fünf einfache Inhaltsfragen gestellt, die mit Hilfe der Webanwendung beantwortet werden mussten. Zum Beispiel wurde nach einem bestimmten News-Eintrag oder einer Raumnummer gefragt. Versuchspersonen wurden während des Versuches von einer Webcam aufgenommen.

Im Anschluss an die Interaktion mit der Webanwendung wurde von den Probanden ein Fragebogen ausgefüllt. Auf einer sechsstufigen Ratingskala (1: „trifft überhaupt nicht zu“, 6: „trifft vollkommen zu“) wurden generelle Aussagen zur Gestensteuerung, dem virtuellen Agenten, bzw. zum Thema Hilfestellung und Intuitivität von den Probanden bewertet. Im Anschluss wurden informelle Kommentare der Probanden erhoben.

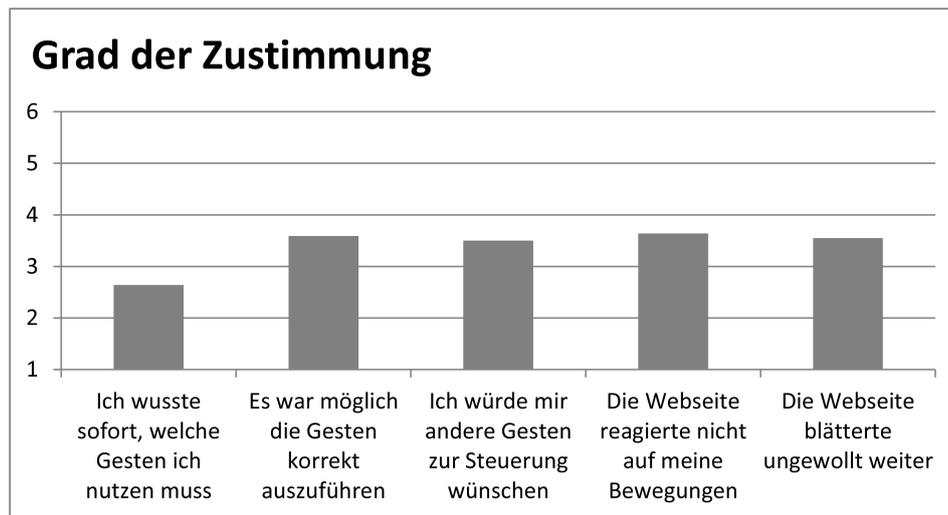


Abbildung 4: Ergebnisse der Fragebögen.

## 5 Ergebnisse

Die Auswertung der Evaluation schloss sowohl die von den Probanden ausgefüllten Fragebögen, als auch eine Analyse der Videoaufzeichnungen mit ein. Die Durchschnittswerte sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Ergebnisse wurden mit Mann-Whitney-U-Tests ausgewertet. Drei Datensätze konnten nicht in der Auswertung berücksichtigt werden, da es den Probanden über die Versuchsdauer nicht gelang mittels der spezifizierten Gesten zu navigieren. Einem von diesen war der virtuelle Agent als Hilfestellung gezeigt worden.

### 5.1 Fragebögen

Die Ergebnisse der Fragebögen sind in Abbildung 4 aufgeführt. Wir haben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Antworten für die Konditionen mit und ohne virtuellem Agenten finden können. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass es keine gravierenden Unterschiede bezüglich der Intuitivität und Bedienbarkeit zwischen den Gruppen MVA und OVA gibt, der virtuelle Agent also keinen starken Einfluss auf die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit hatte. Generell liegen die Antworten im Mittel zwischen den Werten 2 und 4 auf 6-Punkt Ratingskalen, was darauf hinweist, dass der subjektive Eindruck der Benutzerfreundlichkeit als akzeptabel aber noch verbesserungsfähig eingestuft wurde.

### 5.2 Videoaufzeichnung

In diesem Kapitel beschreiben wir die Ergebnisse der Auswertung der Videoaufzeichnungen mit dem Fokus auf Unterschiede im Benutzerverhalten und der Identifikation von Problemen der Gestensteuerung.

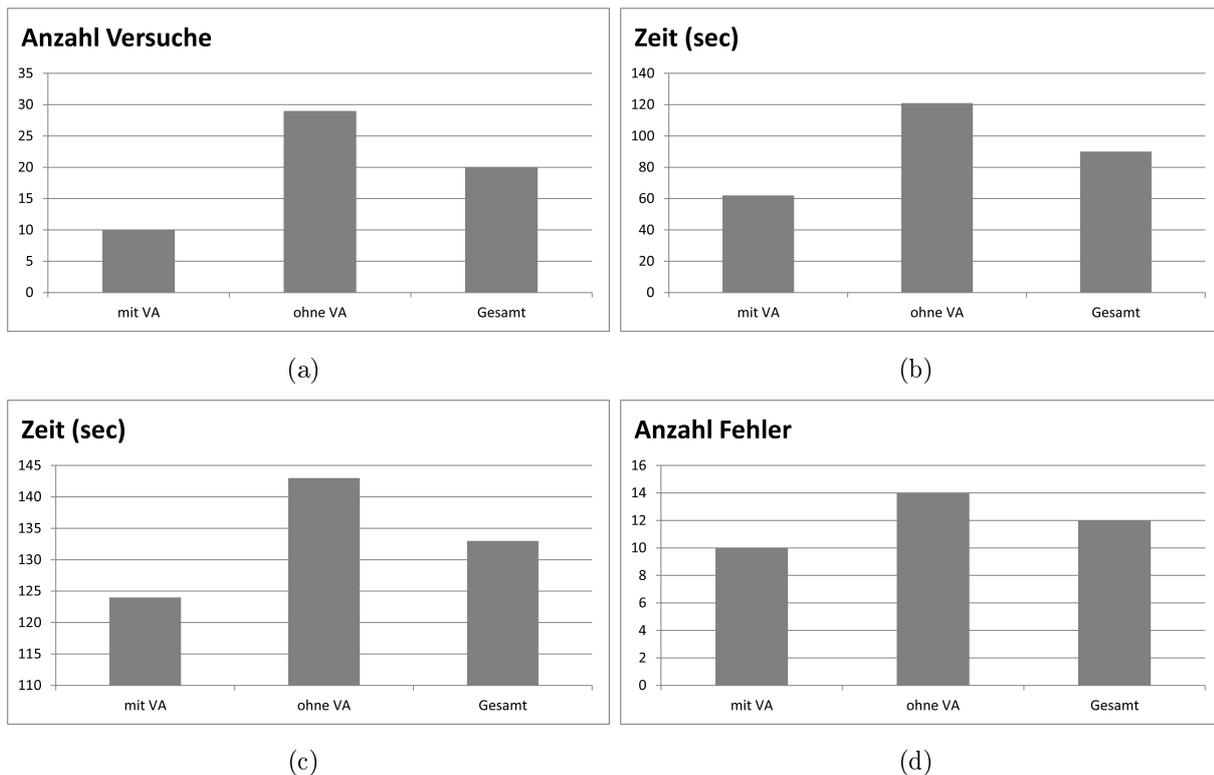


Abbildung 5: Ergebnisse der Videoauswertung: (a) Durchschnittlich benötigte Versuche bis eine Geste korrekt ausgeführt wurde, (b) durchschnittlich benötigte Zeit in Sekunden bis eine Geste richtig ausgeführt wurde, (c) durchschnittliche Bearbeitungszeit der Aufgaben in Sekunden und (d) durchschnittliche Fehlerzahl.

**Erlernbarkeit** Die durchschnittlich benötigten Versuche und verstrichene Zeit bis Probanden zum ersten Mal eine Geste bewusst richtig ausführen konnten sind in Abbildung 5(a-b) dargestellt. Im Schnitt benötigten die Probanden 1:30 Minuten und 20 Versuche. Nach Gruppe getrennt zeigen die Daten, dass die Gruppe MVA nicht nur etwa im Mittel die Hälfte der Zeit, sondern auch nur etwa halb so viele Versuche bis zur richtigen Geste benötigte als Gruppe OVA. Wir haben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen finden können, aber die Ergebnisse suggerieren, dass die Darstellung des virtuellen Agenten für die Erlernbarkeit der Gestensteuerung hilfreich war. Die Ergebnisse zeigen selbst für den Fall, dass keine Hilfestellung gegeben wurde, dass die meisten Probanden nach einer gewissen Zeit des Ausprobierens in der Lage waren, die Gestensteuerung zu bedienen.

**Fehler** Die durchschnittlich aufgetretenen positiven Fehlerkennungen während der Bearbeitung der gestellten Aufgaben nach der initialen Kennenlernphase sind in Abbildung 5(c-d) dargestellt. Dabei wurde nicht unterschieden, ob durch FAAST eine vermeintlich richtig ausgeführte Wischbewegung nicht erkannt wurde, oder ob ein Proband die Geste nicht gemäß der vorprogrammierten Einstellungen ausgeführt hat und aufgrund dessen keine Reaktion erfolgte. Im Schnitt benötigten die Probanden 2:13 Minuten und machten 12 Fehler. Die

Gruppe OVA hat im Mittel länger für die Bearbeitung der Aufgabe gebraucht hat und mehr Fehler gemacht als die Gruppe MVA. Die Ergebnisse spiegeln die für die Erlernbarkeit wider, obwohl die Unterschiede zwischen den Gruppen geringer auszufallen scheinen. Wir haben auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen finden können.

**Auffälligkeiten** Wir haben die Videoaufzeichnungen nach Verhaltensauffälligkeiten der Probanden während der Evaluation analysiert. Wie erwartet, sind zwei der Probanden zunächst davon ausgegangen, es handele sich um einen berührungssensitiven Bildschirm und haben versucht, diesen über Touch-Gesten zu bedienen. Wir gehen davon aus, dass die sichtbare Anbringung der Kinect und deren Bekanntheitsgrad unter den Versuchsteilnehmern den übrigen genügend Hinweise gegeben hat, die Webanwendung über berührungslose Gesten zu steuern. Vier Probanden interagierten zudem mit der Webanwendung so, als würden sie, ähnlich einer Maus an einem Desktop-Computer, ihre dominante Hand für die Steuerung eines Cursor nutzen. Die übrigen Versuchsteilnehmer haben (modulo Fehlhaltungen der Hände) auf Anrieb die vorgesehenen swipe-Gesten eingesetzt.

## 6 Diskussion

Bei der Auswertung und informellen Befragung zeigte sich, dass die Probanden die gewählten Gesten tendenziell als intuitiv empfanden und auch der Meinung waren diese richtig ausführen zu können. Gleichzeitig erschien es ihnen aber nicht sofort ersichtlich, welche Gesten die richtigen zur Interaktion mit der Webanwendung waren. Speziell suggerieren die Ergebnisse für die initiale Kennenlernphase, dass die Versuchsteilnehmer ohne Hilfestellung durch den virtuellen Agenten länger und mehr Versuche benötigten um die Gestensteuerung zu beherrschen. Die Mehrheit der Probanden wünschte sich zudem weitere Gesten in Bezug auf Zoomen, Winken, Navigation durch Greifen, Kopfbewegungen oder Tippen. Die Gestensteuerung auf Grundlage der FFAST-Bibliothek zeigte darüber hinaus eine vergleichbar hohe Störanfälligkeit, was sich auf die stark sprunghafte Erkennung von Körperposen durch die Kinect zurückführen lässt.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit haben wir eine berührungslose Gestensteuerung für ein Public Display vorgestellt und diese in einer Benutzerstudie evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass berührungslose Gestensteuerungen momentan noch nicht so bekannt und standardisiert sind wie die Interaktion mit berührungssensitiven Displays. Dies führt zu sehr unterschiedlichen Erwartungen und Verhaltensmustern bei den Nutzern. Im Gegensatz zu Gestensteuerungen bekannter Spielekonsolen ist es bei Public Displays meist nicht möglich interaktive Tutorials oder Trainingseinheiten einzubauen, durch die Benutzer auf die erkennbaren Gesten trainiert werden.

Unter Einsatz eines virtuellen Agenten als eingebettete Hilfestellung für die Identifikation und Durchführung erkennbarer Gesten sollten diese Mehrdeutigkeiten aufgelöst werden. An-

hand der Fragebögen zeigt sich jedoch, dass der in der Evaluation verwendete Agent in der subjektiven Wahrnehmung der Probanden keine große Hilfe dargestellt hat. Hingegen zeigt sich bei der objektiven Auswertung der Videoaufzeichnungen, dass die Gruppe mit dargestelltem Agenten weniger Zeit und auch weniger Anläufe benötigte um die Gestensteuerung zu beherrschen. Zwar waren diese Differenzen statistisch nicht signifikant, aber die Ergebnisse deuten an, dass virtuelle Agenten zur Unterstützung bei der Interaktion mit Public Displays beitragen können.

Für zukünftige Forschungsarbeiten bieten sich insbesondere die Analyse und Optimierung von Agenten als Werkzeuge für die Vermittlung von Hilfestellungen bei Public Displays an. Denkbar ist auch ein Vergleich des Agenten mit anderen Hilfestellungen wie animierte Grafiken, animierte Handgesten und reine Textform. Für zukünftige Gestensteuerungen im Rahmen von Public Displays könnte auf aktuellere Trackingsysteme zurückgegriffen werden, wie beispielsweise die Leap Motion (siehe Kapitel 2). Diese lassen darauf hoffen, dass durch eine höherfrequente Abtastung und höhere Auflösung die Genauigkeit erhöht wird und zudem die Störanfälligkeit durch Lichtverhältnisse vermindert wird. Zudem sollten sowohl die Anzahl der Probanden, als auch die soziodemographische Verteilung der Stichprobe ausgeweitet werden.

## Literatur

- [ACD<sup>+</sup>10] F. Alt, K. Cheverst, C. T. Dang, N. Davies, T. Döring, T. Hesselmann, C. Kray, A. Krüger, T. Kuflik, M. Langheinrich, A. De Luca, N. Memarovic, J. Müller, H. Pinto, M. Rohs, E. Rukzio, S. Rutledge, A. Schmidt, L. Spassova, F. Steinicke, M. Strohbach, A. Sylverster, L. Terrenghi, and M. Zancanaro. *Report on Dagstuhl seminar 10011: Pervasive Public Displays*. Dagstuhl, 2010.
- [Joe89] A. H. Joergensen. Using the “thinking-aloud” method in system development. In *Designing and using human-computer interfaces and knowledge-based systems*, pages 743–750. G. Salvendy and M.J. Smith, 1989.
- [KH90] G. Kurtenbach and E. Hulteen. *The Art of Human Computer Interface Design*, chapter Gestures in Human-Computer Communications, pages 309–317. Addison-Wesley, 1990.
- [Kru83] M. W. Krueger. *Artificial Reality*. Addison-Wesley, 1983.
- [Moh11] C. Mohs. *Gestaltung intuitiver Schnittstellen für Infotainmentsysteme*. GRIN Verlag, 2011.
- [MWH<sup>+</sup>09] A. Mohan, G. Woo, S. Hiura, Q. Smithwick, and R. Raskar. Bokode: imperceptible visual tags for camera based interaction from a distance. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, pages 98:1–98:8, 2009.

- [OSW13] T. Ojala, B. Schilit, and R. Want. *Proceedings of the International Symposium on Pervasive Displays*. ACM, 2013.
- [RNd<sup>+</sup>07] R. Raskar, H. Nii, B. deDecker, Y. Hashimoto, J. Summet, D. Moore, Y. Zhao, J. Westhues, P. Dietz, J. Barnwell, S. Nayar, M. Inami, P. Bekaert, M. Noland, V. Branzoi, and E. Bruns. Prakash: lighting aware motion capture using photo-sensing markers and multiplexed illuminators. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 26(3):1–11, 2007.
- [RWC<sup>+</sup>98] R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake, L. Stesin, and H. Fuchs. The office of the future: a unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, pages 179–188, 1998.
- [SLR<sup>+</sup>11] E. Suma, B. Lange, A. Rizzo, D. Krum, and M. Bolas. FFAST: The flexible action and articulated skeleton toolkit. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality*, pages 247–248, 2011.
- [SZ94] D. Sturman and D. Zeltzer. A survey of glove-based input. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 14:30–39, 1994.
- [ZOR11] J. Zizka, A. Olwal, and R Raskar. SpeckleSense: Fast, precise, low-cost and compact motion sensing using laser speckle. In *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pages 489–498, 2011.