

# Interaktionen in Virtuellen Welten: Ein Testframework

Gerald Melles<sup>1</sup>

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 20099 Hamburg, DE  
contact@geraldmelles.com

**Zusammenfassung.** Dies ist eine Ausarbeitung als Teil des Hauptseminars des Masterstudiengangs Informatik an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg. Darin wird der Stand der Wissenschaft bei der Entwicklung von Mensch-Maschine-Interaktionstechniken in virtuellen Welten erläutert und auf dessen Basis die Entwicklung einer Testplattform vorgeschlagen, welche die Aussagen über die Eignung von Interaktionsimplementationen für bestimmte Aufgaben möglich machen soll.

**Schlüsselwörter:** VR, virtual reality, interaction, intention, tracking, comparison

## 1 Einleitung

In dieser Arbeit soll die Thematik von Interaktionen in virtuellen Welten im allgemeinen und typische Probleme bei Auswahl und Implementation derselben im speziellen beschreiben. Insbesondere soll dabei jeweils auch auf aktuelle wissenschaftliche Arbeiten verwiesen werden, welche sich schwerpunktmäßig damit befassen.

Somit soll eine Basis geschaffen werden, um die Entwicklung eines Testframeworks für Mensch-Maschine-Interaktionen in virtuellen Welten vorzuschlagen. Ziel des Frameworks soll es sein, maschinell erfasste und durch Befragungen ermittelte Werte zu liefern, durch welche sich die Eignung eines VR-Interaktionsdesigns für bestimmte Nutzungsszenarios einschätzen lässt.

Ein gewisses Grundverständnis von VR und dessen Funktionsweisen wird vorausgesetzt - insbesondere jetzt, wo VR-Techniken auch für Privatanwender leicht verfügbar sind, scheint ein weiteres Ausholen unangemessen. Stattdessen sei bei Bedarf hier auf entsprechende Fachliteratur wie [4] verwiesen.

Diese Arbeit ist eine von zweien, welche das vorgeschlagene Testsystem betreffen, die andere ist [1]. Die beiden Arbeiten ergänzen sich thematisch.

### 1.1 Definitionen

*Interaktion* Der Begriff Interaktion i.w.S. beschreibt das wechselseitige Einwirken mehrerer Akteure aufeinander. In dieser Arbeit allerdings wird dieser Begriff stellvertretend für Mensch-Maschine-Interaktionen (oder Human-Computer-Interaction, HCI) stehen. Genauer: Für solche Mensch-Maschine-Interaktionen,

welche im Kontext virtueller Welten stehen.

Interaktionen in virtuellen Welten beinhalten sowohl das Agieren von Hard- und Softwaresystemen und deren menschlichen Nutzern, als auch deren *wechselseitige Reaktionen* auf das wahrgenommene (bzw. erfasste) Handeln des *Interaktionspartners*.

Auch ist im folgenden von Interaktionskonzepten die Rede: Hierbei handelt es sich um die Verbindung einer Beschreibung maschinell erfassbarer menschlicher Aktionen und von Entwicklerseite beabsichtigter, darauf folgender Reaktionen seitens des Hard- und Softwaresystems.<sup>1</sup>

*Interaktionsdesign* Konkrete, technische Umsetzung eines Interaktionskonzepts. Im Unterschied zum Begriff des Interaktionskonzepts beinhaltet das Interaktionsdesign auch Folgen der tatsächlichen (technischen) Implementation. Eine mögliche Folge könnten beispielsweise Einschränkungen durch Latenzen sein, welche durch verwendete Hardware bedingt sind.

*Effizienz* beschreibt hier den notwendigen Aufwand bei Nutzung eines Interaktionsdesigns zum Erreichen eines im Testscenario vorgegebenen *Ziels*. Vornehmlich ist hier Zeitaufwand gemeint.

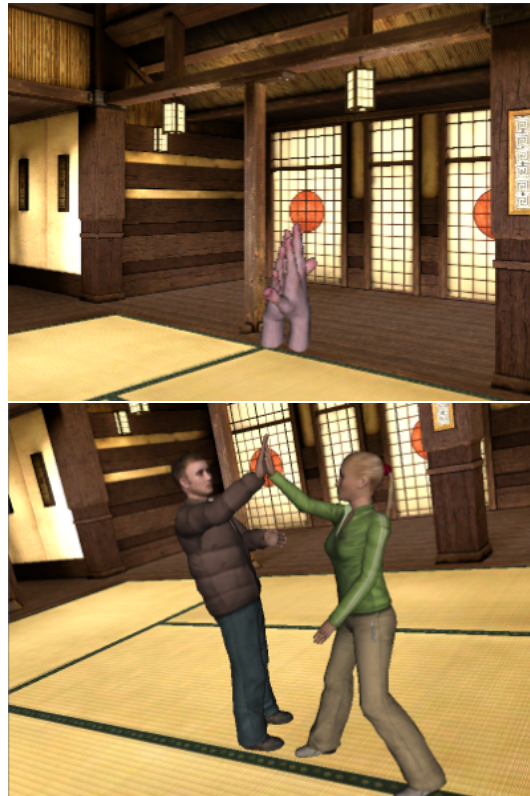
*Effektivität* ist der Grad des Erreichens des angestrebten Ziels. Im Gegensatz zu Effizienz wird der dabei eingesetzte Aufwand nicht berücksichtigt. Ist das Ziel des Szenarios beispielsweise das Aufeinanderstapeln virtueller Kisten innerhalb eines Zeitlimits, so ließe sich die Anzahl erfolgreich aufeinandergestapelter Kisten als Maß der Effektivität interpretieren.

*Immersion und Natürlichkeit* Immersion (auch: 'Presence') ist ein Begriff, der ein Phänomen der subjektiven Wahrnehmung beschreibt und - auch deshalb - nicht leicht zu definieren. Die Encyclopedia of Multimedia definiert immersive VR wie folgt: "The goal of Immersive Virtual Reality is to completely immerse the user inside the computer generated world, giving the impression to the user that he/she has 'stepped inside' the synthetic world"(s. [5], S. 345). Auch hier findet sich also nicht viel mehr als ein Zirkelschluss. Dennoch ist Immersivität ein üblicher Schirmbegriff für das subjektive Gefühl der Natürlichkeit von Wahrnehmung und Interaktion, der Ähnlichkeit zwischen virtueller und realer Welt. Immersion lässt sich schwer messen, hier muss häufig auf Befragungstechniken zurückgegriffen werden. Es gibt allerdings Beziehungen zu maschinell messbaren Werten, so benötigt der Nutzer bei Interaktionskonzepten hoher Immersivität häufig sehr viel weniger Zeit bis er diese beherrscht als bei weniger immersiven Konzepten. Möglicherweise lässt sich daher auch bspw. über die messbare, bis zum Erreichen eines ersten Teilziels verstrichene Zeit auf Immersivität des Konzepts schließen.

---

<sup>1</sup> Zwar gehört eigentlich auch die umgekehrte Maschine-zu-Mensch-Beziehung zum Interaktionskonzept, aber dahingehende Betrachtungen gehören eher zu den Cognitive Sciences und sind damit nicht mehr im Rahmen dieser Arbeit behandelbar. Sie werden daher nur am Rande betrachtet.

Es ist gezeigt worden, dass ein hoher Immersionsgrad bzw. ein erhöhtes Gefühl der Präsenz in der VR Nutzern ermöglichen kann, Aufgaben in virtuellen Umgebungen besser zu erledigen. Ein gutes Beispiel ist hier die High-Five-Studie in [15]: High-Fiving fiel Nutzern leichter, wenn sie ganze Körper anstelle von (nur) Händen sehen konnten (s. Abb. 1).



**Abb. 1.** High-Fiving in VR, nur Hände und ganzer Körper ([15]).

*Mixed Reality* Insbesondere dann, wenn hohe Immersionsgrade gefragt sind, ist es mitunter unerlässlich, wenigstens einen Teil der natürlichen menschlichen Wahrnehmung in die VR zu übernehmen - beispielsweise durch das interne Rendering menschlicher Körper (oder Körperteile) [14]. Durchmischung von realer und virtueller Welten werden häufig als 'mixed reality' bezeichnet. Hier soll bewusst darauf verzichtet werden, diesen Begriff genau zu definieren und künstlich Grenzen zu ziehen. Viele Studien im Bereich der VR-Interaktion haben reale und virtuelle Objekte in die Gesamterfahrung mit einbezogen (z.B. [15]; s. Abb. 3).

## 2 Interaktionen in Virtuellen Welten

Bei der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine i.w.S. ist es notwendig, beiderseitig zu gewährleisten, dass die Kommunikationspartner eine hinreichende Menge an Informationen aus der Kommunikation ziehen können. Im speziellen Fall der virtuellen Welten gibt es hier zwei Schwerpunkte: Einerseits müssen die - zur Immersion möglichst natürlichen - Aktionen des Nutzers seitens Soft- und Hardware 'wahrgenommen', interpretiert und eine Nutzerintention daraus abgeleitet werden. Andererseits muss der Informationsfluss in umgekehrter Richtung ebenfalls auf eine Weise erfolgen, welche dem Nutzer möglichst verständlich ist (wenn auch möglicherweise nicht bewusst). Auch sollte diese möglichst immersiv, zeitnah und ohne Nebeneffekte sein: So führt beispielsweise bereits eine verzögerte Drehung der Kameraperspektive als Reaktion darauf, dass der Nutzer seinen/ihren Kopf gedreht hat, leicht zu Verwirrung und Unwohlsein bzw. *simulator sickness*<sup>2</sup>.

Im folgenden sollen einige Kernaspekte der Mensch-Maschine-Interaktion in virtuellen Welten erläutert werden:

- Maschinelle Erfassung von Aktionen des Nutzers (Tracking & Inputkanäle)
- Interpretation der Absicht des Nutzers
- Reaktion des VR-Systems

Zusätzlich gibt es beim Durchlaufen des Kreises zwischen Aktion und Reaktion beider Interaktionspartner noch weitere zu beachtende Aspekte, welche aber nicht im Fokus dieser Arbeit liegen und nur kurz erläutert werden sollen. Diese beinhalten insbesondere:

- 'Passive' Darstellung der virtuellen Welt (inkl. Veränderungen darin, welche nicht durch den betrachteten Nutzer ausgelöst wurden)
- Nutzerwahrnehmung in der VR (und Interpretation derselben durch den Nutzer)
- Reaktion des Nutzers auf Stimuli aus der VR

### 2.1 Mensch zu Maschine

H2M-Interfaces erlauben die Kommunikation von Mensch zu Maschine. Daher soll hier zwischen zwei Grundarten, welche im folgenden als *Trackingbasierte* und *Werkzeughasierte* Systeme bezeichnet werden, unterschieden werden und Beispiele für beide gegeben werden.

**Werkzeuge** Werkzeugbasierte Interfacetechniken stellen dem Nutzer Hardware zur Verfügung, die dieser (im Gegensatz zu Trackingverfahren) bewusst selbst

---

<sup>2</sup> Dieses Phänomen, welches mitunter auch als 'Cyber sickness' bekannt ist, ist in einer Reihe an Studien genauer untersucht worden, eine gute Zusammenfassung bietet hier z.B. [3]. Allerdings sollte auch nicht unerwähnt bleiben, dass insbesondere bei VR-Systemen der Entertainment-Branche dieser Effekt nicht nur akzeptiert sondern sogar absichtlich hervorgerufen werden könnte, wie etwa in [13] vorgeschlagen.

manipuliert. Klassische Fernsteuerungen für Fernseher sind dafür ein gutes Beispiel, aber auch Computertastaturen, Mäuse und Joysticks (s. Abb. 2)

Die dabei verwendeten Werkzeuge müssen in der virtuellen Welt nicht über ein gleichartiges Gegenstück verfügen, sondern können dort auch anders oder überhaupt nicht dargestellt werden. In [6] wird beispielsweise ein System vorgeschlagen, welches in der virtuellen Welt ein zweidimensionales Head-Up-Display (HUD) vor dem Nutzer erscheinen lässt und nutzt dabei die menschliche Fähigkeit zur Propriozeption: Es erfasst Fingerdrücke auf einer realen Oberfläche vor dem Gesicht des Nutzers, welche auf das HUD übernommen werden.



**Abb. 2.** 'Bottomless Joystick' [10], Adaption eines herkömmlichen Joysticks für VR

**Tracking** Als besonders immersiv gelten die trackingbasierten Systeme, welche erlauben, Parameter (insbesondere Position und Orientierung) von Objekten und menschlichen Körpern (und Körperteilen, wie Händen oder Fingern) im realen Raum zu erfassen. Auch wenn wir uns dabei häufig realen Werkzeugen bedienen (wie bspw. eines Hammers oder einer Geige), nutzen wir doch letztlich die Kinetik unserer Körper für einen Großteil unserer Aktionen. Trackingtechniken erlauben es, unsere Körperbewegungen auch im virtuellen Raum zur Interaktion mit der Umwelt zu nutzen.

Im Unterschied zu werkzeuggesteuerten Systemen liefern Trackingsysteme ständig Informationen über den Nutzer, nicht nur wenn dieser sie absichtlich manipuliert. Besonders häufig werden für das Tracking von Körpern Infrarotreflektoren und -kameras eingesetzt - so z.B. das ART-System<sup>3</sup> welches auch in Abb. 3 zu sehen ist. Dabei wird das zu trackende Objekt mit Infrarotlicht beleuchtet, welches daran angebrachte Infrarotreflektoren aufleuchten lässt. Diese Reflektionen werden von mehreren Kameras aufgezeichnet, welche anhand dessen die Position des

<sup>3</sup> <http://www.ar-tracking.com/>

Reflektors bestimmen können.

Eine Umkehrung des o.g. Trackingverfahrens findet sich beispielsweise im Lighthouse-System des HMD-Rigs Vive von HTC<sup>4</sup>. Dort bestimmen am zu trackenden Objekt angebrachte Sensoren aktiv ihre eigene Position, indem sie Infrarotsignale von stationären 'Beacon'-Modulen empfangen.

Nicht alle Eingabemöglichkeiten für VR-Systeme sind klar den Kategorien Werkzeug oder Tracking zuzuordnen. Beispielsweise wird die HTC Vive in der Regel mit zwei in der Hand gehaltenen 'Wands' bedient, deren Position und Orientierung im Raum aber genauso wie die des Kopfes des Nutzers vom VR-System erfasst wird (mithilfe des o.g. Lighthouse-Systems).



**Abb. 3.** Infrarottrackingsetup für High-Fiving in VR, mit und ohne Körperkontakt ([15])

**Kontext und Notwendigkeit semantischer Interpretation** Jede Aktion eines Nutzers findet innerhalb eines Kontexts statt. Dieselbe Aktion innerhalb

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

unterschiedlicher Kontexte heißt nicht, dass der Nutzer auch dieselbe Absicht damit verfolgte oder nun eine ähnliche Reaktion seitens der virtuellen Welt erwartet. Beispielsweise kann eine abrupte Handbewegung mit der flachen Hand zum Umblättern eines virtuellen Buches oder zum Ohrfeigen des Avatars eines anderen Spielers dienen. Es ist daher wichtig, dass das VR-System Nutzeraktionen korrekt interpretiert.

**Klassifizierung von Interaktionen über Intention** In [4] wird vorgeschlagen, die erfassbaren Aktionen eines Nutzers anhand dessen zu klassifizieren, auf was er/sie einzuwirken versucht und welche Form diese Einwirkung haben sollte.

*Selektion* beschreibt die Auswahl einer Position, eines Volumens oder eines oder mehrerer Objekte. Beispiel: Nutzer zeigt mit Finger auf ein virtuelles Objekt, welches daraufhin aufleuchtet.

*Manipulation* ist die Veränderung von Parametern von Objekten. Beispiel: Nutzer schiebt Handfläche gegen ein virtuelles Objekt, welches sich daraufhin wegbewegt (bzw. wegschieben lässt).

*Navigation* beschreibt Interaktionen für die Veränderung der Perspektive des Nutzers. Hierbei wird zwischen Wayfinding und Bewegungskontrolle unterschieden. Wayfinding beschreibt die "Analyse, Planung und Entscheidung über Wege in der Virtuellen Umgebung" ([4], S. 168). Bewegungskontrolle stellt auf dessen Basis Interaktionen bereit, welche der Nutzer zum Durchführen dieser Bewegung nutzen kann.

*Systeminteraktionen* Interaktionen, die nicht in eine der drei o.g. Kategorien fallen, sind häufig dazu bestimmt, mit dem System selbst (und nicht mit der virtuellen Welt) zu interagieren. Beispielsweise kann ein Interface ermöglichen, die Simulation kurzzeitig anzuhalten oder zu beenden.

## 2.2 Maschine zu Mensch: Feedback

Die am meisten verbreiteten VR-Systeme sind vornehmlich in der Lage, die Illusion einer virtuellen Welt allein über visuelle und auditorische Stimuli aufrecht zu erhalten. Insbesondere bei der direkten Reaktion des Systems auf eine Aktion des Nutzers (was im folgenden "Feedback" genannt wird) sind jedoch neben diesen auch andere Stimuli nützlich. Dabei bedient man sich auch anderer menschlicher Sinne.

**Feedbackkanäle menschlicher Wahrnehmung** Die menschliche Wahrnehmung bietet eine Reihe unterschiedlicher 'Kanäle', über welche die Simulation mit dem Menschen in Kontakt treten könnte. VR-Systeme und Interaktionen darin sind i.d.R. *multimodal*. Am üblichsten sind hier natürlich die Seh- und Hörsinne, da VR-Systeme diese in der Regel ohnehin benötigen. Wie insb. Wissenschaftler

im Bereich der multimodalen Interaktion allerdings immer wieder anmerken (vgl. z.B. [8]) ließe sich die VR-Erfahrung noch weit darüber hinaus erweitern. So wird bspw. der Tastsinn bereits in begrenztem Maße eingesetzt. Die handelsüblichen VR-Systeme wie HTC Vive verfügen häufig über Vibrationsmotoren in werkzeuggesteuerten Interaktionssystemen (s.o.).

Manche Sinne werden nur selten als Feedbackkanäle verwendet, da die Erzeugung von Stimuli zu komplex wäre (z.B. Erzeugung/Freisetzen von Aromastoffen für Riech- und Schmecksinne). Es gibt auch dort schon vorgeschlagene Techniken, wie bspw. das in [7] beschriebene 'Olfactory Display'. Doch auch, wenn die Bedeutung dieser Sinne so groß ist, wie etwa in [9] postuliert - die Entwicklung entsprechender Mensch-Maschine-Interfaces steckt noch in den Kinderschuhen.

**Feedback und kausaler Zusammenhang** Insbesondere auch in Computerspielen hat sich bewährt, Feedback zu Interaktionen auch auf Wege zu liefern, welche zur Nutzeraktionen keinen klaren Bezug haben. So kann z.B. ein gedrückter Knopf nicht nur dazu führen, dass dieser sich visuell verändert (gedrückt bleibt) oder aufleuchtet, sondern der Nutzer könnte auch durch eine Audionachricht informiert werden, dass der Knopf erfolgreich gedrückt wurde. Was für einen Unterschied wahrgenommene kausale Beziehungen für das Gesamterlebnis des Nutzers im Allgemeinen und die Effizienz von Interaktionen im Speziellen ausmachen könnten, wird beispielsweise in [12] weiter erläutert.

### 3 Test- und Bewertungsframework

#### 3.1 Problemstellung

VR-Technologien sind in aller Munde. Nicht nur, dass sich schon seit Jahrzehnten viele Wissenschaftler damit beschäftigen, seit kurzer Zeit sind sie auch auf dem Consumermarkt angekommen und werden allseits fleißig beworben. Doch wissenschaftliches Hauptaugenmerk liegt schon lange in ein paar Teilbereichen, wie der Interpretation menschlicher Absicht aus Trackingdaten (z.B. Gesteninterpretation) oder der Entwicklung neuartiger In- und Outputgeräte. Ein Bereich, der uns insbesondere angesichts des gerade sehr stark wachsenden Interesses an VR seitens Industrie und Markt vernachlässigt erscheint, ist der der Unterstützung bei der *Auswahl* geeigneter VR-Interaktionskonzepte für einen bestimmten Zweck. Insbesondere ist das hilfreich, wenn Interaktionen in VR als 'Werkzeuge' mit klarem Ziel eingesetzt werden sollen. Beispielsweise wird in [11] gezeigt, wie VR-Interaktionen zur Steuerung industrieller Robotik eingesetzt werden könnten. Hier soll deshalb vorgeschlagen werden, ein Framework zu schaffen, welches erlaubt, virtuelle Testszenarien aufzubauen und auf deren Basis die Eignung von Interaktionsdesigns für bestimmte Aufgaben zu vergleichen. Insbesondere sollte der Vergleich von sehr ähnlichen Implementationen, welche sich beispielsweise nur durch unterschiedliche Latenzen oder unterschiedlich geformte Interaktionswerkzeuge unterscheiden, möglich sein.

Viele in den letzten Jahren vorgeschlagene Interaktionskonzepte sind außerdem



nicht mehr als einmal implementiert und Aussagen über ihre Eigenschaften nicht unabhängig validiert worden. Auch hierfür könnte das Framework eine gute Basis bieten.

### 3.2 Konstruktion von Testszenarios

Um sinnvolle Vergleiche zwischen verschiedenen Interaktionsimplementationen ziehen zu können, sollten diese innerhalb möglichst identischer Kontexte stattfinden. Das vorgeschlagene Framework soll daher vorgefertigte virtuelle Welten anbieten, innerhalb derer Probanden bestimmte Aufgaben zu erledigen haben. Die Kombination aus virtueller Umgebung und Aufgaben wird hier als *Szenario* bezeichnet.

Das Testszenario könnte mithilfe einer formalen, semantischen und/oder modellhaften Beschreibung definiert werden. Das könnte auf der einen Seite den Implementationsaufwand verringern und andererseits ermöglichen, eine spätere Re-Implementation auf einer anderen technischen Basis zu erleichtern. Ein Beispiel für eine solche Beschreibungsmethodik findet sich in [2].

### 3.3 Erstes Beispiel

Ein erstes mögliches Testszenario soll hier kurz beschrieben werden:

In einem virtuellen Raum (25qm, quadratisch) befinden sich verstreut eine Anzahl kleiner Kisten (20\*20\*20cm). Diese müssen vom Probanden eingesammelt und innerhalb eines kleinen, auf dem Boden klar markierten Bereichs aufeinandergestapelt werden. Dieser Bereich ist nur wenig größer als die Grundflächen einer Kiste. Nach Ablauf eines Zeitlimit beendet das Szenario. Automatisch erfasst werden beispielsweise:

- Die bis zum Aufheben der ersten Kiste verstrichene Zeit
- Die bis zum korrekten Platzieren der ersten Kiste verstrichene Zeit
- Die Anzahl der am Ende des Tests erfolgreich aufgestapelter Kisten im markierten Bereich
- Die Anzahl während des Tests wieder aus dem markierten Bereich entfernter Kisten (z.B. aufgrund eines umfallenden Kistenturms)

Als Interaktionskonzept soll dem Nutzer ermöglicht werden, mithilfe eines an einem Head-Mounted-Display befestigten LeapMotion-Systems, welches Handbewegungen erfassen und im virtuellen Raum wiedergeben kann, die Kisten zu bewegen.

Im Anschluss an das Szenario soll der Nutzer einen Fragebogen ausfüllen. Dieser beinhaltet vornehmlich Fragen zur Ermittlung subjektiv empfundener Immersion. Als Ziel des Tests soll z.B. verglichen werden, wie sich die o.g. Testwerte und die Befragungsergebnisse unterscheiden, wenn der Proband seine Hände im virtuellen Raum sehen oder nicht sehen kann oder wie sich eine merkliche Latenz zwischen der Bewegung seiner Hand und dessen virtueller Repräsentation auswirkt.

### 3.4 Erweiterungsachsen

Das vorgeschlagene Framework mitsamt Testszenario ließe sich auf mehrere Weisen erweitern. Die folgenden Hauptachsen sollen schon hier vorgeschlagen werden.

**Mess- und Bewertungsverfahren** Die erfassten Werte könnten um viele weitere ergänzt werden. Insbesondere würde sich hier das Erfassen von Biowerten anbieten, z.B. über Pulsmessung und Wärmekameras.

**Szenarien** Unter Verwendung semantischer Beschreibungen für VR-Szenarien könnten sich weitere Testszenarios mit wenig Aufwand erstellen lassen. Das würde erlauben, andere Interaktionsarten zu testen, welche zum Erreichen bisheriger Szenarioziele nicht verwendbar waren.

## 4 Zusammenfassung

Bei der informatisch-technischen Konzeption von VR-Interaktionen gibt es eine kaum zu überschauende Fülle an Möglichkeiten. Die wichtigsten Komponenten von VR-Interaktionssystemen und übliche Kombinationen davon wurden in dieser Arbeit beschrieben, unter Bezugnahme auf den aktuellen Stand der Wissenschaft. Es wurde außerdem die Entwicklung eines Testsystems vorgeschlagen, welches die Eignung von VR-Interaktionsdesigns für bestimmte Zwecke testen könnte. Der mögliche Aufbau eines solchen Testsystemes mitsamt eines ersten, exemplarischen Testszenarios wurde ebenso erläutert wie Möglichkeiten für dessen zukünftige Erweiterung.

### 4.1 Aussicht

Die Implementierung des vorgeschlagenen Testsystems ist für das Hauptprojekt geplant. Auf dessen Basis soll die Masterthesis die Durchführung von Tests, Vergleichen und etwaigen Erweiterungen auf Basis des Testsystems beinhalten.

## Literatur

1. Bronsch, J.: Interaktionen in der virtuellen realität (hauptseminarausarbeitung). In: Hauptseminar Master Informatik. Hochschule für angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg (2017), bald verfügbar unter: <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master2016-hsem/bronsch/bericht.pdf>
2. Chevaillier, P., Trinh, T.H., Barange, M., Loor, P.D., Devillers, F., Soler, J., Querrec, R.: Semantic modeling of virtual environments using mascaret. In: 2012 5th Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems (SEARIS). pp. 1–8 (March 2012)

3. Davis, S., Nesbitt, K., Nalivaiko, E.: A systematic review of cybersickness. In: Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment. pp. 8:1–8:9. IE2014, ACM, New York, NY, USA (2014), <http://doi.acm.org/10.1145/2677758.2677780>
4. Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., Jung, B.: Virtual und Augmented Reality (VR / AR). Springer Vieweg (2013)
5. Furht, B.: Encyclopedia of Multimedia. Springer Publishing Company, Incorporated, 2nd edn. (2008)
6. Gugenheimer, J., Dobbstein, D., Winkler, C., Haas, G., Rukzio, E.: Face-touch: Touch interaction for mobile virtual reality. In: Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. pp. 3679–3682. CHI EA '16, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2851581.2890242>
7. Herrera, N.S., McMahan, R.P.: Development of a simple and low-cost olfactory display for immersive media experiences. In: Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Immersive Media Experiences. pp. 1–6. ImmersiveMe '14, ACM, New York, NY, USA (2014), <http://doi.acm.org/10.1145/2660579.2660584>
8. Hürst, W., Iwai, D., Balakrishnan, P.: International workshop on multimodal virtual and augmented reality (workshop summary). In: Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction. pp. 596–597. ICMI 2016, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2993148.3007631>
9. Jacobs, L.F.: Of space and smell: The strange evolution of the human nose. In: Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. pp. 350–351. HRI '17, ACM, New York, NY, USA (2017), <http://doi.acm.org/10.1145/2909824.3020259>
10. Katsumoto, Y.: Bottomless joystick. In: SIGGRAPH ASIA 2016 Emerging Technologies. pp. 6:1–6:1. SA '16, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2988240.2988245>
11. Lamberti, F., Manuri, F., Paravati, G., Piumatti, G., Sanna, A.: Using semantics to automatically generate speech interfaces for wearable virtual and augmented reality applications. IEEE Transactions on Human-Machine Systems 47(1), 152–164 (Feb 2017)
12. Lugin, J.L., Libardi, P., Barnes, M.J., Bras, M.L., Cavazza, M.: Event-based causality in virtual reality. In: 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No.04CH37583). vol. 1, pp. 156–163 vol.1 (2004)
13. von Mammen, S., Knote, A., Edenhofer, S.: Cyber sick but still having fun. In: Proceedings of the 22Nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology. pp. 325–326. VRST '16, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2993369.2996349>
14. Tecchia, F., Avveduto, G., Brondi, R., Carrozzino, M., Bergamasco, M., Alem, L.: I'm in vr!: Using your own hands in a fully immersive mr system. In: Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. pp. 73–76. VRST '14, ACM, New York, NY, USA (2014), <http://doi.acm.org/10.1145/2671015.2671123>
15. Young, M.K., Rieser, J.J., Bodenheimer, B.: Dyadic interactions with avatars in immersive virtual environments: High fiving. In: Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception. pp. 119–126. SAP '15, ACM, New York, NY, USA (2015), <http://doi.acm.org/10.1145/2804408.2804410>