

Interaktionen in der virtuellen Realität

Hauptseminar Ausarbeitung

Johann Bronsch

Wintersemester 2016/17

HAW Hamburg

Abstract. In dieser Arbeit wird zunächst der Begriff *Interaktion* erläutert. Darauf folgend werden Interaktionen in virtuellen Welten aus der technischen Sicht klassifiziert. Darüber hinaus werden einige Risiken bei der Erkennung von Interaktionen genannt. Anschließend wird eine Fragestellung formuliert und einige Verfahren zur Analyse von Interaktionen vorgestellt.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Wie in [2] beschrieben ist die Idee von virtuellen Welten nicht neu. Jedoch ermöglichen die heute zur Verfügung stehenden Technologien den Aufbau komplexer virtueller Welten. Daher steigt die Zahl der zur Verfügung stehenden Anwendungen rasant an. Auch die Anzahl der Möglichkeiten mit diesen Welten zu interagieren steigt stetig. So bieten die meisten Hersteller von Head-Mounted-Displays Controller an, um einfache oder komplexe Interaktionen durchführen zu können. Des Weiteren existieren auch Konzepte die ganz ohne einen Controller auskommen. Dies erhöht die Anzahl an möglichen Interaktionen und Interaktionskonzepten in virtuellen Welten. Der Fokus liegt jedoch bei den meisten Anwendungen auf der Funktionalität. Unter Umständen schließt jenes die Benutzerfreundlichkeit oder die Auswirkung dieser Interaktionen auf den Grad der Immersion aus. Dieses kann bei den unterschiedlichen Arten von Anwendungen verschiedene Probleme erzeugen. So könnte es bei Spielen unter Umständen den Spielspaß mindern oder bei Schulungssoftware den Lerneffekt.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im folgenden Kapitel 2 wird zuerst der Begriff Interaktion erläutert. Des Weiteren werden Interaktionskonzepte in virtuellen Welten vorgestellt und erläutert. Abschließend werden die Risiken bei der Erkennung und Interpretation von Interaktionen genannt.

In Kapitel 3 wird zum einen die Fragestellung für die folgenden Arbeiten formuliert und zum anderen die Verfahren zur Analyse von Interaktionen beschrieben. Im Anschluss

daran werden die nächsten Schritte für die folgenden Arbeiten benannt.

Das Kapitel 4 zeigt den aktuellen Stand der Entwicklung auf und gibt eine kurze Zusammenfassung der Arbeit wieder.

2 Interaktions Konzepte

In diesem Abschnitt sollen zunächst der Begriff Interaktion in den Disziplinen der Soziologie und der Informatik erläutert werden. Hierbei werden die Betrachtungen der anderen Disziplinen wie z.B. die Kommunikationswissenschaft nicht beachtet, da jenes den Rahmen dieser Ausarbeitung sprengen würden.

Interaktion

Der Ursprung dieses Begriffes liegt in der Soziologie und stellt somit einen zentralen Begriff in dieser Disziplin dar. Dieser bedeutet, in dem genannten Kontext, den "wechselseitigen, aufeinander bezogene menschliche Handlung (...), also die Beziehung zwischen zwei oder mehreren Menschen" (vgl. [5, S. 478]). Jenen Begriff hat die Informatik übernommen und auf die Nutzung von Computersystemen durch Menschen übertragen. Das Forschungsgebiet der "Human-Computer-Interaction", auch HCI genannt, beschäftigt sich primär mit der Gestaltung von Nutzerschnittstellen. Diese soll die Interaktion zwischen Mensch und Maschine verbessern.

Auch wenn beide Disziplinen denselben Begriff benutzen, meinen jene dabei jedoch verschiedene Sachverhalte. In der Informatik versteht man darunter die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine. Bei der Soziologie ist hierbei eine Kommunikation zwischen Menschen gemeint. Dies schließt auch die Kommunikation von Menschen über unterschiedlichste Medien mit ein. Es lassen sich jedoch Gemeinsamkeiten beim analysieren von Interaktionen finden, wenn diese, wie von Quiring und Schweiger beschriebenen Analyserahmen, zerlegt werden [11, S. 9]. Dabei wird eine Interaktivität als ein Prozess angesehen, welcher aus einer Aktion und einem Bedeutungsaustausch besteht. So könnte man das Sprechen oder die Mimik als eine Aktion verstehen. Aber auch das Auswählen eines Elementes auf einer Weboberfläche oder das betätigen eines Joysticks wäre nach solch einer Definition eine Aktion. Des Weiteren wird in [11] der Bedeutungsaustausch zwischen Mensch und Maschine als nicht möglich angesehen, da jene keine Bedeutung aktiv konstruieren kann. Laut [11] findet jedoch eine Bedeutungsvermittlung zwischen Mensch und Maschine statt. Diese wird aber von den Entwicklern des Systems ermöglicht und so erfolgt die Bedeutungsvermittlung zwischen Nutzer und Entwickler ab.

Anders als bei der Mensch - Mensch Kommunikation werden bei der Mensch - Maschine Kommunikation die Kommunikations- und Aktionsregeln von Entwicklern festgelegt. Somit sind die Nutzer solcher Systeme an diese Regeln gebunden. Welche Bedeutung, mittels technischer Systeme, vermittelt wird hängt dabei von der individuellen Situationsevaluation der Nutzer und Entwickler ab. Die Definition von Quiring ist wie folgt:

Unter Situationsevaluation verstehen wir die subjektive Wahrnehmung des interaktiven Systems und der Kommunikationssituation. Die Situationsevaluation hat wesentlichen Einfluss auf das beobachtbare Verhalten (also die Aktionen) und den Bedeutungsaustausch. Während die Eigenschaften des Systems eine technische Begrenzung der möglichen Aktionen und damit indirekt auch des Kommunizierbaren darstellen, ergeben sich die situationspezifischen individuellen Aktionen und damit auch das tatsächlich Kommunizierte aus der Situationsevaluation. [11, S. 12]

Solch ein Durchlauf einer Interaktion könnte wie in Figure 1 aussehen. Dabei ist zu erkennen, dass die Nutzer durch eine Aktion mit dem System kommunizieren. Der Bedeutungsaustausch erfolgt jedoch direkt. Jedoch sind die aufgestellten Theorien

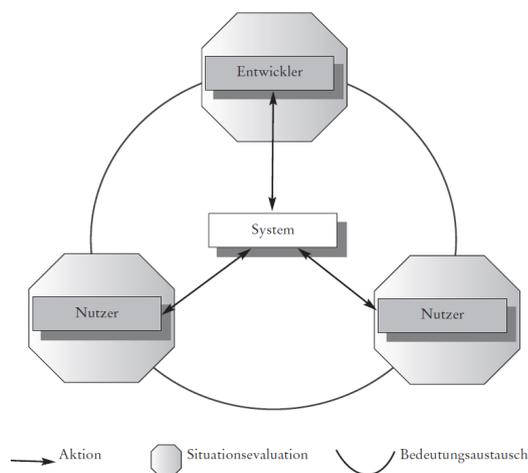


Fig. 1. Aktion, Situationsevaluation und Bedeutungsaustausch in interaktiven Settings [11, S. 11]

und Aussagen mittlerweile über zehn Jahre alt und sollten daher nochmal kritisch betrachtet werden.

2.1 Interaktionen in virtuellen Welten

Die Interaktionen in virtuellen Welten erfolgen nach dem selben Schema ab wie zuvor erläutert. Dabei löst eine Aktion eine Reaktion und somit einen Bedeutungsaustausch aus. Dieser wird von dem Nutzer und dem System im Zuge der Situationsevaluation beurteilt. In virtuellen Welten gibt es verschiedene Arten von Interaktionen. Diese lassen sich unter unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifizieren. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen wird in dieser Arbeit nur die technische Sicht näher betrachtet und die konzeptionelle Sicht nur in den Grundzügen erläutert und auf die Arbeit von [9] verwiesen.

Technische Sicht

Um eine Klassifizierung aus technischer Sicht vornehmen zu können, muss zunächst definiert werden wie Virtual Reality-Systeme Aktionen eines Nutzers erkennen. Um dies zu bewerkstelligen kann man auf verschiedene Technologien zurückgreifen. Eine dieser Möglichkeiten ist das verfolgen von Objekten die mit einem "Marker" versehen worden sind. Jener "Marker" wird, von z.B. optischen Systemen, erfasst und dessen Position an das Virtual Reality-System weitergegeben. Es gibt jedoch auch "Markerlose"-Systeme. Jene erkennen aus den übermittelten Bildern Objekte und übertragen die Position an das Virtual Reality-System. Der wahrscheinlich einfachste Fall für die Erkennung von Aktionen ist mit Hilfe von Controllern. So erkennt das Virtual Reality-System einen Knopfdruck des Nutzers und kann darauf reagieren.

Aus der vorangegangenen Erläuterung lassen sich Interaktionen, auf Basis der Beschaffenheit von Objekten mit denen interagiert werden soll, klassifizieren. So wird in dieser Ausarbeitung unterschieden zwischen Realmodellen, Mixed-Reality Interfaces und vollständig virtuellen Interfaces.

Realmodell

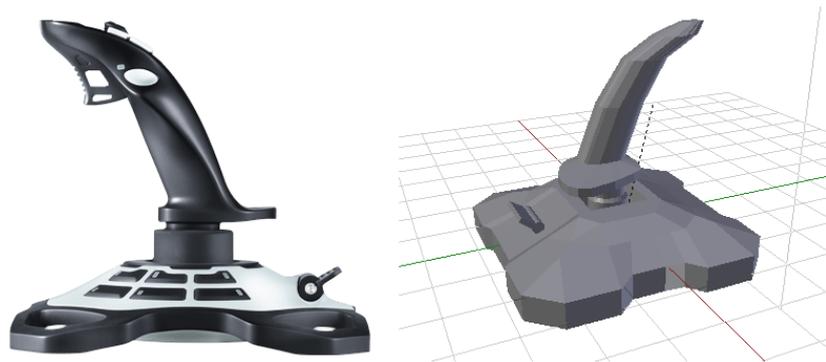


Fig. 2. Abbildung eines Realmodells mit dem 3D-Modell für die virtuelle Welt

In Figure 2 ist ein Joystick als reales Objekt und dessen 3D Darstellung abgebildet. Das Ziel hierbei ist es eine möglichst realistische Darstellung des Objektes zu erstellen. Durch die Interaktion mit solchen Realmodellen kann die Immersion von Virtual Reality Simulation gesteigert werden. Da sowohl die optische als auch die haptische Wahrnehmung beeinflusst wird.

Dabei gibt es eine Fülle von Controllern. Diese sind jedoch selten in virtuellen Welten so dargestellt wie deren reale Abbildung. Bei Objekten die in der Realität vorhanden sind, aber in der virtuellen Welt anders aussehen und/oder eine andere Funktion haben, werden in dieser Ausarbeitung *Mixed-Reality Interfaces* genannt. Welche im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

Mixed-Reality Interfaces

Wie in dem vorherigen Abschnitt erwähnt wurde sind *Mixed-Reality Interfaces* Objekte die in der Realität eine andere Funktion und/oder Aussehen haben als in der virtuellen Realität. Dies hat den Vorteil das die Funktion eines Objektes um ein vielfaches erweitert werden kann und auch ein haptisches Feedback liefert. Jenes erhöht zu dem den Grad der Immersion.

Ein Beispiel solch eines *Mixed-Reality Interfaces* könnte ein einfaches Brett sein, welches in der virtuellen Welt als ein Tablett dargestellt wird. Dabei wird die Position des Objektes, durch z.B optische Positionserkennungssysteme, bestimmt und mit einer erweiterten Information in der virtuellen Welt überblendet. Es lassen sich jedoch nicht nur einzelne Objekte mit angereicherten Informationen überblenden, sondern auch komplette Szenarien, wie in [4] vorgestellt. In Figure 3 wird der Aufbau eines TurkDecks dargestellt.

Darüber hinaus sind auch kommerzielle Projekte in der Entwicklungsphase. Eines davon ist das Projekt *The Void* (vgl. [13]). Das Ziel bei *The Void* ist es für die Benutzer ein immersives Erlebnis zu ermöglichen.

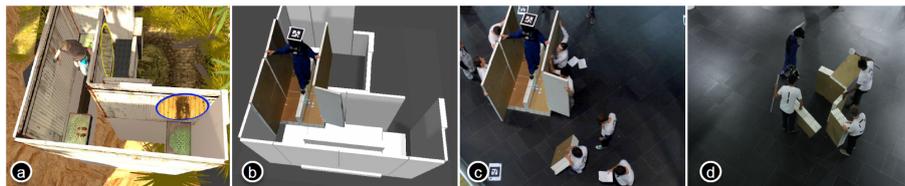


Fig. 3. TurkDeck Aufbau, (a) Darstellung eines Szenarios in der virtuellen Realität (b) und der Aufbau in der Realität. (c) Das Ziel in dieser Forschungsarbeit war es ein modulares System zu erstellen, welches sich auch zur Laufzeit aufbauen lässt. (d) Dabei werden die einzelnen Baugruppen wiederverwendet. [4, S. 1]

Vollständig virtuelle Interfaces

Bei vollständig virtuellen Interfaces sind jene gemeint, die nur in der virtuellen Welt existieren. Als Beispiel könnte man einen Fußball nennen. Dieser wird nur in der virtuellen Welt dargestellt. Da dieser jedoch kein Objekt ist welches in der realen Welt existiert und dadurch kein haptisches Feedback liefern kann, sinkt der Grad an Immersion. Es beschäftigen sich jedoch viele Forschungsarbeiten mit diesem Thema. Eines davon ist *Impacto* (vgl. [8]). Das Ziel ist es, mittels elektrischer Impulse, ein Gefühl von einem Stoß oder Aufprall zu simulieren. In Figure 4 ist das *Impacto-System* dargestellt. Bei diesem Versuch war das Ziel den Aufprall eines Fußballs auf den Fuß zu simulieren. Es sind bei diesem System auch andere Szenarien möglich, wie zum Beispiel ein Boxkampf oder ein Tennisspiel. Mit diesem System lässt sich jedoch kein Widerstand, der beim greifen von Objekten entsteht, simulieren. Auch wenn es dafür schon Lösungsansätze gibt, in Form eines Handschuhs (vgl. [6]), können diese unter

Umständen die Bewegungsfreiheit einschränken.

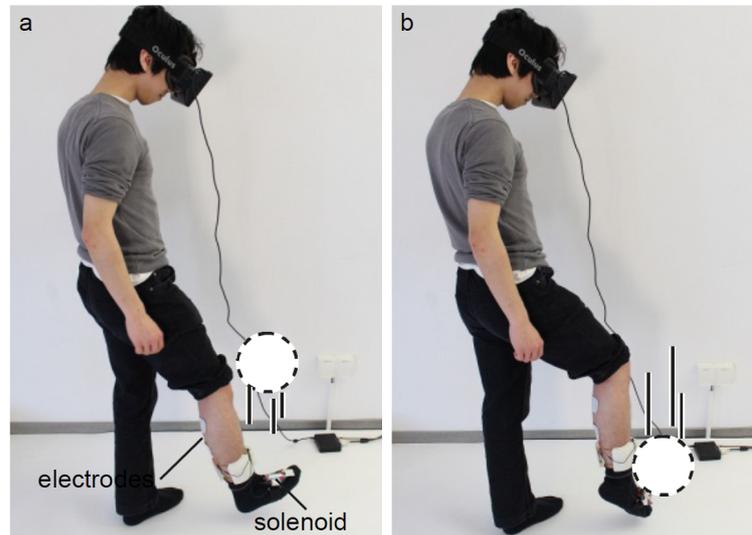


Fig. 4. Impacto befestigt am Bein um den Aufprall eines Fußballs zu simulieren [8, S. 13]

Konzeptionelle Sicht

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert ist die Klassifizierung von Interaktionen, aus der technischen Sicht, eine die auf der verwendeten Technologie basiert. Bei der konzeptionellen Sicht betrachtet man die Intention des Nutzers.

Was will der Nutzer erreichen?

Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen wird hier auf die Arbeit von Gerald Melles verwiesen, vgl. [9].

2.2 Risiken

Die Erkennung von Aktionen ist bei heutigem Stand der Technik einigermaßen zuverlässig. Das Problem ist vielmehr die Erkennung einer Intention und der damit verbundenen erfolgreichen Interaktion. Bei primitiven Interfaces lässt sich meist die Intention des Nutzers leicht bestimmen. Bei vollständig virtuellen Interfaces kann dies jedoch sehr komplex sein. Eine ähnliche Problemstellung lässt sich in [7] finden. Hierbei werden imaginäre Interfaces erstellt, somit "zeichnet" der Benutzer seine Aktion in die Luft. Diese sollen dann vom System interpretiert werden und dann auf jene richtig reagieren.

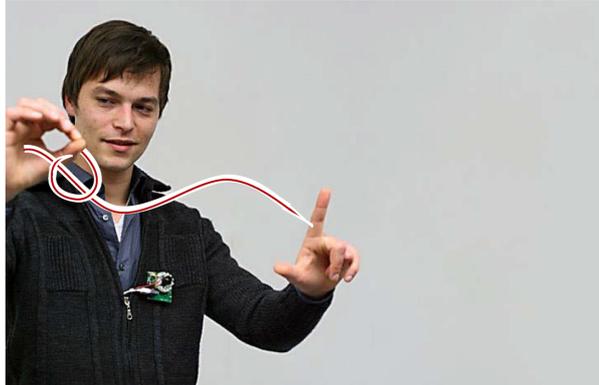


Fig. 5. Beispiel von Imaginary Interfaces [7, S. 1]

Ein Beispiel solch einer Interaktion ist in Figure 5 abgebildet.

Um herauszufinden ob eine Interaktion geglückt ist gibt es mehrere Verfahren. Eines davon ist das so genannte *Wizard of Oz*-Verfahren, welches im nächste Kapitel näher erläutert wird. Aufgrund der Fülle an verschiedenen Verfahren zur Untersuchung von Interaktionen und deren Erfolg ist es daher notwendig sich auf einige wenige zu konzentrieren. Diese sollen dann in die Konzeption einfließen. Hierbei sollte man sowohl auf den Umfang als auch die Anzahl der zu Untersuchenden Interaktion achten, da dies sonst den Umfang von zukünftigen Arbeiten sprengen könnte. Daher sollte bei den Interaktionen das Verständnis von Mensch - Maschine im Vordergrund stehen.

3 Methodik

In diesem Kapitel werden die nächsten Schritte für folgende Arbeiten formuliert, einige Möglichkeiten zur Evaluierung von Interaktionen benannt und deren Vor- und Nachteile analysiert. Anschließend sollen zum einen die Methodiken zur Umsetzung der Testplattform für Interaktionen benannt werden und zum anderen die zu betrachtenden Interaktionen. Dabei soll die Anzahl der zu betrachtenden Interaktionen begrenzt werden, da dies sonst den Rahmen der folgenden Arbeiten sprengen würde.

3.1 Evaluierung

An dieser Ausarbeitung anschließende Arbeiten sollten sich mit der folgen Fragestellung beschäftigen.

Welche Interaktionen/Interaktionskonzepte in der virtuellen Realität sind sinnvoll und immersiv?

Um diese Fragestellung beantworten zu können müssen im Vorfeld die Evaluationsmethoden festgelegt und analysiert werden. Hierzu werden in den folgenden Abschnitten einige Methoden vorgestellt und deren Vor- und Nachteile benannt.

Evaluierung mit Fragebögen

Die Evaluierung mittels Fragebögen ist vom Ablauf sehr einfach. Die Gestaltung der Fragebögen kann jedoch sehr komplex sein. Wie jedoch solche Fragebögen aussehen könnten und was sie beinhalten sollten, im Bezug auf virtuelle Welten, wurde in [12] beschrieben. Jedoch sind die Fragebögen in [12] sehr stark auf die Immersion, vgl. Figure 6, ausgelegt. Jene beurteilen nicht die Interaktionen auf ihre Sinnhaftigkeit. Daher müssten diese erweitert werden um bestimmte Interaktionen, während spezifischer Szenarien, analysieren zu können.

Die Analyse von Fragebögen kann jedoch zu Ungenauigkeiten führen, da diese das subjektive Empfinden eines einzelnen Nutzers wieder spiegeln. Um solche Ungenauigkeiten zu minimieren sind große Versuchsgruppen notwendig. Des Weiteren können Eindrücke verfälscht werden wenn der Fragebogen nach einem Set von Interaktionen ausgefüllt wird. Jenes lässt sich dadurch minimieren das die Fragen nach jeder Interaktion gestellt werden.

Zusammengefasst sind Fragebögen ein gute Möglichkeit subjektive Eindrücke von Nutzern zu erfassen. Jedoch mit der Einschränkung das diese durch das jeweilige persönliche Befinden des Nutzers beeinflusst werden und in vielen Fällen nicht reproduzierbar sind.

<i>In the computer generated world I had a sense of "being there" ...</i>	Please tick against your answer
1. not at all ...	1
....	...
7. very much ...	7

<i>There were times during the experience when the computer generated world became more real or present for me compared to the "real world"...</i>	Please tick against your answer
1. at no time	1
....	...
7. almost all of the time	7

<i>The computer generated world seems to me to be more like</i>	Please tick against your answer
1. something that I saw	1
....	...
7. somewhere that I visited	7

Fig. 6. Beispiel Fragen in Bezug auf die Immersion aus [12, S. 18]

Evaluierung mit Messdaten/Logs

Die Evaluierung von Messdaten und/oder Logs aus durchgeführten Interaktionen verringern die menschlich erzeugten Ungenauigkeiten, da hier keine Fragebögen ausgefüllt werden müssen. Durch Messdaten lässt sich jedoch nicht der Grad der Immersion feststellen. Messdaten können Aufschluss über die Sinnhaftigkeit von Interaktion geben. So könnte man, anhand der Fehlerquote bei Erreichen eines Ziels, bestimmen wie sinnvoll das bereitgestellte Werkzeug ist.

Die Auswahl von Messparametern ist daher entscheidend für die Evaluierung von Interaktionen. Solche Parameter können zum Beispiel die vorher genannten Fehlerquoten sein, aber auch die Zeit die ein Nutzer braucht um eine Aufgabe durchzuführen.

Der kombinierte Einsatz mit Fragebögen ist eine Möglichkeit sowohl die Sinnhaftigkeit von Interaktionen zu untersuchen als auch den Grad der Immersion feststellen zu können. Des Weiteren könnten die Messdaten die Evaluierung der Fragebögen erleichtern und Ungenauigkeiten minimieren.

Wizard-of-Oz-Experiment

Das Wizard-of-Oz-Experiment ist ein häufig eingesetztes Verfahren bei Versuchen im Bereich der Mensch-Maschine-Kommunikation. Dabei soll der Nutzer eine Aufgabe, ohne vorherige Einweisung in das System, erfolgreich abschließen. Jene Aufgabe wird prinzipiell beim ersten Versuch auch schafft.

Solch ein Szenario könnte, wie in [1] beschrieben, das Öffnen oder Schließen der Rollos in einem Smart Home sein. Dabei wurde einem Probanden die Aufgabe gestellt diese zu öffnen bzw. zu schließen. Hierbei sollte der Proband eine selbst bestimmte Bewegung durchführen und seine Intention laut äußern, welche in Figure 7 dargestellt wird. Die von dem Probanden erwartete Aktion wurde durch den "Wizard" im Hintergrund ausgeführt. Somit lassen sich Gesten bestimmen für vordefinierte Aktion. Es ist jedoch schwierig mit diesem Verfahren schon bestehende Gesten zu analysieren.



Fig. 7. Wizard-of-Oz-Experiment im Living Place [1, S. 8]

Zusammenfassung

Mit den beschriebenen Analyseverfahren lassen sich Interaktionen überprüfen. Darüber hinaus kann man, durch Beobachtungen und mithilfe von Fragebögen, den Grad der Immersion bestimmen. Diese sollen daher in den folgenden Arbeiten genutzt werden um die genannte Fragestellung zu beantworten. Die Festlegung auf nur ein Verfahren ist jedoch nicht vorteilhaft, da die Schwächen der einzelnen Verfahren das Ergebnis verfälschen könnten. Um diese so weit wie möglich zu minimieren ist eine Kombination von mehreren Verfahren sinnvoll. So könnten zum Beispiel die Ergebnisse der Fragebögen mit den Messdaten ergänzt werden.

3.2 Next Steps

Für die Analyse von Interaktionen ist die Entwicklung einer Testplattform notwendig. Jene soll im Hauptprojekt entwickelt werden. Des Weiteren soll diese es ermöglichen, mit den vorher genannten Verfahren, die Interaktionen zu analysieren und zu bewerten.

Die Entwicklung der Testplattform soll in Form eines iterativen Prozesses durchgeführt werden. So soll in der ersten Iteration nur eine Interaktion implementiert werden. Des Weiteren sollen die Logs ausgelesen und verarbeitet werden können. Darauf aufbauend könnten weitere Interaktionen oder Analysemethoden implementiert werden. Somit kann der Entwicklungsprozess als formative Evaluation verstanden und mittels gewonnener Ergebnisse stetig weiter verbessert werden.

Abschließend soll ein Fragebogen erstellt werden, mit deren Hilfe der Grad der Immersion bewertet werden kann.

4 Fazit

4.1 Aktueller Stand

Im Grundprojekt wurde eine Toolchain beschrieben, vgl. [3]¹. Darüber hinaus wurden einige Plug-Ins entworfen die das Implementieren von Interaktionskonzepten vereinfachen. Um dies zu überprüfen wurde ein Szenario geschaffen in dem eine Vielzahl von Interaktionen implementiert wurde. Hierbei wurde das Cockpit eines fiktiven Raumschiffs modelliert, vgl. Figure 8. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können sowohl bei der Entwicklung einer Testplattform als auch bei der Konzeption von Interaktionen genutzt werden.

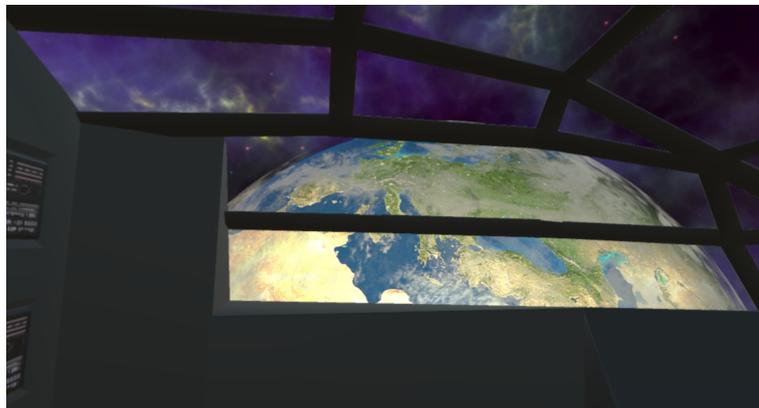


Fig. 8. Simulierter Ausblick aus dem Cockpit [10]

¹ Zum Erscheinungszeitpunkt dieser Arbeit noch nicht verfügbar. Wird in Kürze nachgereicht.

4.2 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Motivation genannt, welche zu der in der Arbeit erwähnten Fragestellung geführt hat. Darüber hinaus wurden Verfahren genannt, wie die zu prüfenden Elemente aus der Fragestellung evaluiert werden können. Des Weiteren wurden die nächsten Schritte formuliert und einige Spezifikationen bei der Entwicklung der Testplattform genannt. Abschließend wurde der aktuelle Stand der Entwicklung dargestellt.

References

1. Bernat, K.: Entwicklung einer gestensteuerung in einer smart-home umgebung. Tech. rep., Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master2015-proj/bernat.pdf> (2015)
2. Bronsch, J.: Vergleich von virtual-und augmented-reality in bezug auf deren gemeinsamkeiten und probleme. Tech. rep., Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master2015-gsem/bronsch/bericht.pdf> (2016)
3. Bronsch, J.: Virtual-reality toolchain. Tech. rep., Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master2016-proj/bronsch.pdf> (2017)
4. Cheng, L.P., Roumen, T., Rantzsch, H., Köhler, S., Schmidt, P., Kovacs, R., Jasper, J., Kemper, J., Baudisch, P.: Turkdeck: Physical virtual reality based on people. In: Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology. pp. 417–426. UIST '15, ACM, New York, NY, USA (2015), <http://doi.acm.org/10.1145/2807442.2807463>
5. Goertz, L.: Wie interaktiv sind medien? : auf dem weg zu einer definition von interaktivität. Rundfunk und Fernsehen Jg. 43, 477–493 (1995)
6. Gu, X., Zhang, Y., Sun, W., Bian, Y., Zhou, D., Kristensson, P.O.: Dexmo: An inexpensive and lightweight mechanical exoskeleton for motion capture and force feedback in vr. In: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. pp. 1991–1995. CHI '16, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2858036.2858487>
7. Gustafson, S., Bierwirth, D., Baudisch, P.: Imaginary interfaces: Spatial interaction with empty hands and without visual feedback. In: Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. pp. 3–12. UIST '10, ACM, New York, NY, USA (2010), <http://doi.acm.org/10.1145/1866029.1866033>
8. Lopes, P., Ion, A., Baudisch, P.: Impacto: Simulating physical impact by combining tactile stimulation with electrical muscle stimulation. In: Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology. pp. 11–19. UIST '15, ACM, New York, NY, USA (2015), <http://doi.acm.org/10.1145/2807442.2807443>
9. Melles, G.: Interaktionen in virtuellen welten: Ein testframework. Tech. rep., Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master2016-hsem/melles/bericht.pdf> (2017)
10. Meyer, U., Melles, G., Bronsch, J.: Virtual reality als plug and play (2017), <http://csti.haw-hamburg.de/virtual-reality-workbench-plattform/>
11. Quiring, O., Schweiger, W.: Interaktivität - ten years after bestandsaufnahme und analyserahmen (1), 5 – 24 (2006)
12. Slater, M., Usoh, M., Steed, A.: Depth of presence in virtual environments. Presence: Teleoper. Virtual Environ. 3(2), 130–144 (Jan 1994), <http://dx.doi.org/10.1162/pres.1994.3.2.130>
13. Void, T.: The void (2017), <http://thevoid.com/>