

Frischer Wind in der CAVE: Realisierung und Evaluation einer multimodalen virtuellen Welt

Julia Fröhlich, Ipke Wachsmuth

Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme – Technische Fakultät

Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld

Tel. 0521/1062921, Fax. 0521/1062962

E-Mail: jfroehli@techfak.uni-bielefeld.de

Zusammenfassung

Ein Großteil der Arbeiten im Bereich der virtuellen Realität konzentriert sich auf die grafische Repräsentation. Weitere Ausgabemodalitäten wie Sound, Geruch und Haptik werden eher wenig berücksichtigt. Um dem Anwender einen möglichst hohen Grad an Realismus zu vermitteln, ist lange bekannt, dass beispielsweise akustische Ausgaben eine wichtige Rolle spielen [Bat92].

Aufbauend auf [FW11] stellt dieser Beitrag ein wissensbasiertes Konzept zur intuitiven Entwicklung von multimodalen virtuellen Welten vor. Durch eine semantische Anreicherung der virtuellen Objekte wird es dabei möglich, weitere Ausgabemedien ohne großen Aufwand anzusprechen. Die bereits vorgestellte Integration einer akustischen Ausgabe wurde um haptische Stimuli erweitert. Die haptische Modalität besteht dabei sowohl aus taktilen Reizen bei der Berührung virtueller Objekte, wie auch aus einem Windsystem, welches die Erzeugung von Luftströmen ermöglicht. Wind wird dabei zu den haptischen Modalitäten gezählt, da er auch den Tastsinn des Benutzers anspricht.

Um den Zusammenhang von multimodalen Ausgaben und erlebter Präsenz genauer zu untersuchen, haben wir eine Benutzerstudie mit 80 Teilnehmern durchgeführt. Dabei wurde als Basis allen Teilnehmern die gleiche grafische Welt gezeigt, aber eine unterschiedliche Anzahl an weiteren Modalitäten. Zur Datenerfassung wurden sowohl ein Immersionsfragebogen wie auch Biosensoren eingesetzt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass mehr Modalitäten nicht automatisch, sondern erst in zureichender Kombination, auch eine höhere Präsenz bewirken.

Schlüsselwörter

Haptik, Immersion, Virtual Reality, Wind

Ersch. in: Gausemeier, J., Grafe, M., & Meyer auf der Heide, F. (eds.) 11. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, pp. 191–203. Paderborn: HNI Verlagsschriftenreihe Band 311 (2013)

1 Einleitung

Schon Morton Heilig erkannte 1962 mit der Erfindung des Sensoramas [Hei92], wie wichtig multimodale Ausgaben für die Erschaffung einer glaubhaften virtuellen Welt sind. Es wurden neben stereoskopischen Bildern auch Stereosound, Gerüche und Wind genutzt, um die möglichst realistische Illusion einer Motorradfahrt durch Brooklyn zu schaffen. Wenngleich die grafische Ausgabe heute um ein Vielfaches besser geworden ist, wird die zusätzliche Integration von weiteren Ausgabekanälen häufig vernachlässigt. Das Auslassen weiterer Modalitäten begründet sich vermutlich in dem arbeitsreichen Prozess, der mit der Erstellung verbunden ist.

Eines der Hauptziele von Arbeiten im Bereich der Virtuellen Realität ist es, dem Benutzer ein möglichst realistisches Erlebnis zu vermitteln – die Immersion soll möglichst hoch sein. Zur Bewertung wurden verschiedene Fragenbögen entwickelt, mit denen die subjektiv wahrgenommene Präsenz in einer virtuellen Welt gemessen werden kann. Aber auch objektive Faktoren werden evaluiert. So ist es zum Beispiel möglich, Körperreaktionen wie Puls und Hautleitfähigkeit als Maß für Präsenz zu nehmen [MIW+02].

Um virtuelle Welten immersiver erscheinen zu lassen, können verschiedene Faktoren einbezogen werden. Die Hauptpunkte sind: möglichst natürliche Interaktions- und Navigationsmetaphern, möglichst realistische grafische Darstellung und das Ansprechen weiterer Sinne durch multimodale Ausgaben. Dabei kommen am häufigsten akustisches und taktiles Feedback zum Einsatz. Beispielsweise wird bei Berührung eines virtuellen Objektes ein Widerstand an der Hand gespürt und somit taktil empfunden. Zu diesem Zweck entwickelten Hersteller von Spielekonsolen auch Controller, die durch Vibration den Tastsinn des Nutzers ansprechen. In VR-Anwendungen kommen speziell entwickelte Geräte wie ein Phantom-Device oder Datenhandschuhe zum Einsatz. Haptische Windsysteme werden bisher eher selten verwendet. Wind kann in virtuellen Welten aber vielfältig eingesetzt werden, beispielsweise um das Empfinden von Geschwindigkeit zu erhöhen, Umgebungswind darzustellen, Temperaturreize zu generieren oder Windeffekte wie durch einen vorbeifahrenden Zug zu simulieren.

Dinh. et al. [DWS+99] zeigten 1999 in einer Studie, dass weitere Modalitäten eine additive Auswirkung auf die wahrgenommene Präsenz haben – je mehr Sinne angesprochen wurden, umso höher war die Präsenz. Ob diese Annahme in heutigen Anwendungen auch noch gilt, wird in diesem Beitrag hinterfragt. Zum einen sind die damals eingesetzten Techniken heute allgegenwärtig und zum anderen weckt der häufige Einsatz von Computerspielen und Spezialeffekten eine größere Erwartungshaltung bei den Benutzern. Deswegen erschien es uns sinnvoll, die Aussage mit heutiger Technik noch einmal zu überprüfen und auch weitere Modalitäten (wie zum Beispiel den Wind) einzubeziehen.

2 Verwandte Arbeiten

Der Einsatz von Wind in virtuellen Welten ist bisher nicht weit verbreitet und die eingesetzten Systeme haben sehr spezielle Anwendungsbereiche. Beispielsweise simulierten Deligiannidis und Jacob Fahrtwind, um so dem Nutzer ein Gefühl für seine Geschwindigkeit zu vermitteln, während er sich mit einem Roller virtuell fortbewegt [DJ06]. Dieses System hat allerdings den Nachteil, dass die Richtung des erzeugten Luftzugs nicht dynamisch angepasst werden kann. Eine Benutzerstudie belegte einen subjektiv empfundenen größeren Realismus der Anwendung, wenn zusätzlich Wind präsentiert wurde. Objektive Messungen zeigten zusätzlich signifikante Effekte: eine Navigationsaufgabe wurde in kürzerer Zeit erledigt, wenn Wind vorhanden war [DJ06]. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die sogenannte thermische Realität. José Dionisio stellte die 'Virtual Hell' vor, ein System, das mit Hilfe von Infrarotlampen und Ventilatoren Temperaturreize generieren kann [Dio97]. In diesem System wurden drei Ventilatoren eingesetzt und dadurch eine (geringe) Richtungssimulation ermöglicht. Das System, welches von Sylvain Cardin [CTV07] für die Anwendung mit einem Head-Mounted Display (HMD) vorgestellt wurde, ist deutlich flexibler. Es besteht aus acht Ventilatoren, die gleichmäßig um den Kopf der Nutzer verteilt sind und sich einzeln und stufenlos ansteuern lassen. So konnte ein Umgebungswind dargestellt werden, der sich in Richtung und Stärke an die Position und Ausrichtung des Benutzers in der virtuellen Welt anpassen ließ.

Grundsätzlich sollen die genannten Ansätze die Präsenz eines Benutzers erhöhen. Als Präsenz bezeichnet man die „subjektive Erfahrung, sich an einem Ort oder in einer Umgebung zu befinden, auch wenn man sich physisch anderswo befindet“¹ [WS98]. Um nun eine möglichst große Immersion zu erzeugen und damit das Gefühl der Präsenz bei dem Benutzer auszulösen, sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen. Sheridan stellt die drei wichtigsten Faktoren wie folgt vor [She94]:

1. die Qualität (und Quantität) des visuellen, auditiven und haptischen Feedbacks
2. die Möglichkeit, die Sensoren zu bewegen und somit die Perspektive anzupassen
3. die Möglichkeit, die Umgebung so einfach wie in der echten Welt zu verändern

Der zweite Punkt kann als erfüllt betrachtet werden, da durch die Verbindung von einer CAVE mit einem angebundenen Tracking-System die Perspektive in Echtzeit an die Kopfposition angepasst wird. Auch Ein- und Ausgabegeräte sind vielfältig auf dem Markt und können dem Anwendungsfeld entsprechend ausgewählt werden. Zu Punkt 3 wurden einige natürliche Navigations- und Interaktionsmetaphern entwickelt. So ist es mit Datenhandschuhen beispielsweise möglich, über Gesten sehr natürlich zu interagieren. Unsere aktuellen Arbeiten richten sich auf Punkt 1: In heutigen Ansätzen wird oft nur akustisches Feedback generiert oder (in spezialisierten Anwendungen) taktiles Feedback eingesetzt.

¹ Aus dem Englischen übersetzt

3 Arbeitsumgebung

Unser Arbeitsraum ist eine dreiseitige CAVE bestehend aus Front, linker Seite und Boden. Die drei Seiten werden jeweils von zwei Beamern beleuchtet, um einen orientierungsunabhängigen Stereoeffekt zu erzeugen. Jedes der insgesamt sechs Bilder wird von einem Renderclient erzeugt, zusätzlich gibt es einen Server für die interaktive Anwendung. Für die Interaktion ist ein Trackingsystem (A.R.T.) mit 10 Kameras im Einsatz. Um den akustischen Eindruck im virtuellen Raum zu erzeugen, sind 8 Lautsprecher an den Ecken des Interaktionsraums angebracht. Zusätzlich sorgen zwei Subwoofer unter der Bodenprojektion für Tiefenschall.

Um die Erstellung multimodaler Ausgaben für virtuelle Welten zu vereinfachen, wird eine Realisierung mittels intelligenter virtueller Objekte eingesetzt, die die nötigen Informationen bereits gespeichert haben. Aufbauen auf das Instantreality-Framework wurde eine Systemkomponente entworfen, die weitere Informationen zu Objekten auslesen, speichern und wiedergeben kann. Das Instantreality-Framework wurde vom Fraunhofer IGD und ZGDV entwickelt [FBB09]. Aufbauend auf dem X3D-Standard können die Knoten des Szenengraphen mit sogenannten Metadaten versehen werden. Auf diese Weise können den Objekten Eigenschaften verschiedener Ausgabemodalitäten in intuitiver Weise zugewiesen werden. Es ist möglich, zu einem Objekt mehrere Metadaten anzugeben. Dies bietet einen Ausgangspunkt für das vorgestellte Framework, da so sehr leicht beispielsweise auch haptische und klangliche Informationen hinterlegt und auf entsprechende Ausgabemedien übertragen werden können.

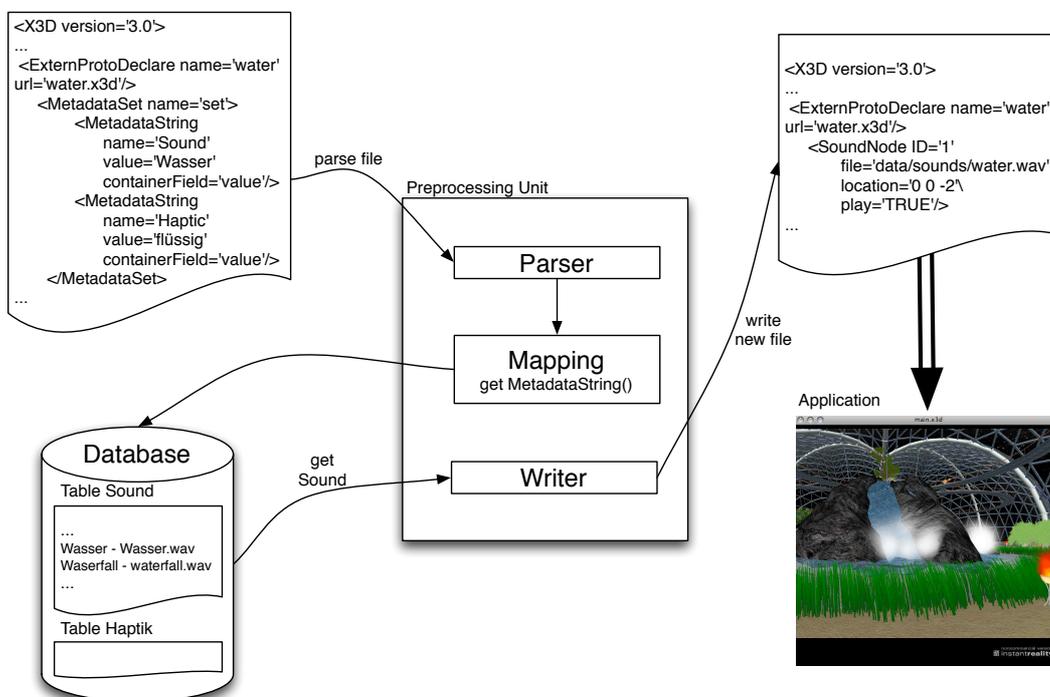


Abbildung 1: Schematischer Ablauf der Verarbeitung (nach [FW11])

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Verarbeitung der Anreicherung durch Metadaten. Die praktische Umsetzung des Systems erfolgt in Java und unterteilt sich in drei Verarbeitungsschritte:

1. X3D-Datei einlesen
2. Metadaten mit einer Datenbank abgleichen
3. Weitere Informationen maschinenlesbar einfügen

Als Grundlage müssen X3D-Dateien vorhanden sein, in der die Objekte in Metadaten Informationen zu ihren Eigenschaften enthalten. Dieses Wissen wird nicht separat in einer Wissensbasis vorgehalten, sondern verteilt direkt an den Objekten verankert.

4 Das Windsystem

Der Fokus unserer Windsimulation liegt zurzeit auf richtungsabhängigem Umgebungswind, doch gehörte zu den Anforderungen, auch weitere Windarten darstellen zu können. Eine gleichmäßige Verteilung der Ventilatoren um die CAVE bildet die Grundlage, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Da eine Montage unterhalb der Projektionsfläche oder auf Kopfhöhe nur auf zwei Seiten möglich gewesen wäre, entschieden wir uns für eine Installation oberhalb der Projektionswände. Laut einer Studie sind Menschen nicht dazu in der Lage, den von zwei benachbarten Windquellen erzeugten Luftstrom zu unterscheiden, wenn der Winkel zwischen den Quellen weniger als 45° beträgt [MK04]. Demgemäß wurden acht Ventilatoren möglichst gleichmäßig oberhalb der CAVE installiert. Sie sind geneigt ausgerichtet, sodass der Haupteffekt in der Mitte unserer Installation zu spüren ist. Abbildung 2a) skizziert den Aufbau.

Bei der Wahl der Ventilatoren waren vor allem die erzeugte Luftleistung, eine stufenlose Regelung und eine geringe Geräuschentwicklung ausschlaggebend. Die übrige Funktionalität (insbesondere das Tracking-System) durfte auf keinen Fall durch eine Verdeckung gestört werden. Die von Cardin [CTV07] verwendeten Computerlüfter wären für ein CAVE-Setup in der Leistung nicht ausreichend gewesen. Handelsübliche Zimmerventilatoren sind zu träge, um eine dynamische Anpassung der Windrichtung und Windstärke zu gewährleisten. Unsere Wahl fiel auf Axiallüfter der Firma ADDA. Die Ventilatoren haben einen Durchmesser von 25,4 cm und sind jeweils 2 kg schwer. Mit einem Luftdurchsatz von bis zu 12.735 cmm (Kubikmeter pro Minute) bei einer maximalen Geräuschentwicklung von 55,6 dB/A konnten alle Anforderungen bestmöglich erfüllt werden. Abbildung 2b) zeigt die Installation in einer Ecke unserer CAVE.

Die Ansteuerung der Ventilatoren ist mit zwei MultiDim MKIII Dimmerpacks der Firma ShowTec realisiert worden. Üblicherweise werden diese Geräte zur Lichtsteuerung eingesetzt und bieten jeweils vier Ausgänge. Hiermit ist es möglich, jeden Ventilator über ein DMX-Signal einzeln anzusteuern. Softwareseitig wurde dafür ein Client-Server-Modell entwickelt. Der Server verwaltet die einzelnen Windquellen und berechnet die Gesamtausgabe der einzelnen Ventilatoren.

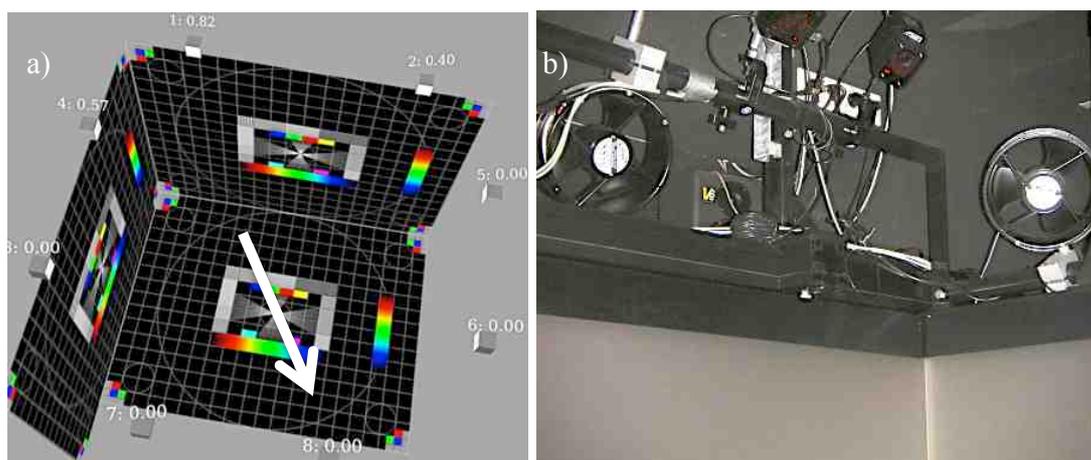


Abbildung 2: a) Positionen der Lüfter mit beispielhaften Aktivierungswerten für eine gegebene Windrichtung, die durch den weißen Pfeil repräsentiert wird, und b) die Installation in unserer CAVE

Auf der konzeptionellen Ebene war es uns wichtig, verschiedene Arten von Wind repräsentieren zu können. Dabei haben wir uns an der Unterteilung des Soundsystems in drei Arten orientiert [FW12], die sich als praktisch gut anwendbar bewiesen hat. Es war somit möglich, den Wind leicht in das vorhandene Framework zu integrieren und trotzdem eine hohe Anwendungsvielfalt zu bieten.

Ambienter Wind repräsentiert einen konstanten Umgebungswind. Er hat keine feste Position und wird durch Stärke und Richtung definiert. Die Richtung wird mit der Ausrichtung des Benutzers in der CAVE verrechnet, um die geeigneten Lüfter auszuwählen. Die Aktivierung eines Ventilators ergibt sich aus dem Skalarprodukt von Richtung des Windes und Wirkrichtung des Ventilators. Dieser Wert wird mit der gewünschten Stärke skaliert (negative Werte werden auf 0 gesetzt). Der Zusammenhang zwischen Winkelunterschied der Vektoren und der Aktivierung der Ventilatoren ist somit linear. Die Stärke kann dabei in den klassischen Stufen der Beaufortskala (Windstärke 0 bis 12) angegeben werden.

Statischer Wind wird von Objekten in der Welt erzeugt. Somit wäre es beispielsweise möglich, einen virtuellen Ventilator zu simulieren. Die Windquellen haben eine feste Position im virtuellen Raum, und eine Wirkrichtung kann definiert werden. So ist hinter einem virtuellen Ventilator kein Luftzug zu spüren. Auch das Anwendungsbeispiel des Fahrtwindes lässt sich so modellieren, indem die umgekehrte Fahrtrichtung als Windrichtung definiert wird und die Stärke in Abhängigkeit der Geschwindigkeit angepasst wird.

Event Wind wird nur bei bestimmten Ereignissen erzeugt. Dahinter steckt die Idee, auch einen kurzen Luftzug, wenn zum Beispiel die Tür schnell geschlossen wird oder ein virtueller Zug vorbei fährt, darzustellen. Da die Lüfter eine kurze Anlaufphase benö-

tigen, können sehr kurze Events nicht dargestellt werden. Auch soll noch überprüft werden, ob der Richtungsunterschied bemerkbar ist, wenn ein vorbeifahrender Zug simuliert wird.

5 Benutzerstudie

Die hier durchgeführte Benutzerstudie diente der Evaluation unseres wissensbasierten Systems zur multimodalen Anreicherung von virtuellen Welten. Im Folgenden wird zuerst das Studiendesign genauer beschrieben. Im nächsten Abschnitt werden die Ergebnisse präsentiert und analysiert.

5.1 Navigation und Interaktion

Es gibt viele unterschiedliche Navigations- und Interaktionsmetaphern in virtuellen Welten, allerdings fokussieren die meisten auf Effizienz an Stelle von Realismus. Die Möglichkeit, Aufgaben schnell zu erledigen, ist oft wichtiger als die intuitive Bedienung. Häufig werden sehr lange Trainingszeiten benötigt, um den Umgang mit solchen Systemen zu erlernen. Im Rahmen dieser Studie war es uns wichtig, auch unerfahrene Teilnehmer, ohne langwierige Einarbeitung und Erklärung, einzubeziehen. Da gerade unerfahrene Benutzer oft versuchen, virtuelle Gegenstände zu berühren, haben wir uns für eine natürliche Handinteraktion entschieden. Mit speziellen Handschuhen war ein Fingertracking möglich, das verbunden mit einer Gesteninteraktion das natürliche Greifen ermöglicht. Um die Immersion nicht zu brechen, wurde eine Physikanbindung realisiert, sodass die Objekte realistisch auf Manipulationen reagieren konnten.

In den meisten CAVE-Umgebungen ist ein echtes Laufen durch den begrenzten Raum nicht möglich. Eine Studie hat allerdings gezeigt, dass ein „walking in place“ immer noch realistischer ist als die Navigation mit einem zusätzlichen Eingabegerät [SUS95]. Somit haben wir uns dafür entschieden, die Füße der Teilnehmer mit zusätzlichen Markern auszustatten. Durch ein Laufen auf der Stelle konnte so eine möglichst realistische Navigation umgesetzt werden. Durch eine Drehung des Kopfes in eine Richtung konnte die Welt rotiert werden. In der Kombination hat dies bewirkt, dass immer in die Richtung des angeschauten Punktes gelaufen wurde. Es wurde dabei darauf geachtet, die Welt so langsam zu drehen, dass die Rotation kein Schwindelgefühl auslöste, aber dennoch der Weltausschnitt von Interesse auf der Frontseite projiziert wurde.

5.2 Virtuelle Welt

Die präsentierte virtuelle Welt besteht aus zwei Räumen (vgl. Abb. 3). Der erste, größere Raum dient als Trainingsraum. Er ist groß genug, um die Navigation zu üben und auch verschiedene Richtungswechsel zu ermöglichen. Er ist wie ein Wohnzimmer ausgestattet und detailreich gestaltet, um das Interesse ihn zu erkunden zu fördern. Zusätz-

lich gibt es einige Gegenstände, die zur Interaktion bereit stehen. So ist es möglich, mit einem Schlägel auf einen Gong zu schlagen oder einen Ball durch den Raum zu werfen.

Der zweite, kleinere Raum besteht hauptsächlich aus einem Abgrund. Eine schmale Galerie ermöglicht es, um den Abgrund herum zu gehen. An der rechten und linken Seite des Raumes liegt jeweils ein Ball. Die Aufgabe war es, beide Bälle auf eine Zielscheibe zu werfen, die unten im Abgrund lag. Dafür sind zwei Planken an den Seiten angebracht, die es ermöglichen, näher an die Zielscheibe zu gehen. Über dem Abgrund liegt eine unsichtbare Glasplatte. Es ist also nicht möglich, herunter zu fallen, und der Weg zwischen den beiden Bällen kann verkürzt werden. In der Praxis hat dies aber fast niemand ausprobiert.



Abbildung 3: Die virtuelle Welt, wie sie in der Studie präsentiert wurde.

5.3 Fragebögen

In der Studie wurden sechs verschiedene Sorten von Fragebögen benutzt. Sie wurden in deutscher Übersetzung an die Teilnehmer ausgehändigt.

1. Ein Fragebogen, um die demografischen Daten der Teilnehmer zu erfassen.
2. Der *Immersion Tendency Questionnaire (ITQ)*, wie er von Witmer und Singer 1998 vorgestellt wurde, bestehend aus 12 Fragen, um die Tendenz, schnell in täglichen Aktivitäten (Lesen, Computerspiele, Fernsehen) einzutauchen, abzufragen [WS98].
3. Der *Simulator Sickness Questionnaire* – ausgeteilt vor und nach dem Experiment –, um die Auswirkung der virtuellen Welt auf das Wohlbefinden der Teilnehmer zu erfahren [KLB+93].

4. Die zwei Höhenangstfragebögen, die Cohen 1977 vorgestellt hat. Sie bestehen aus 20 Höhenangst auslösenden Situationen [Coh77].
5. Der *University College London (UCL) Presence Questionnaire*, wie er von Slater, Usoh und Steed vorgeschlagen wurde [SUS95]. Er besteht aus 13 Fragen, die die subjektiv empfundene Präsenz der Teilnehmer erfassen.
6. Ein Fragebogen mit offenen Fragen, in dem bestimmte Empfindungen und die Erinnerung an die virtuelle Welt abgefragt wurden.

5.4 Ablauf

Die Teilnahme an der Studie dauerte ca. 60 Minuten. Zu Beginn wurden die ersten Fragebögen (1, 2, 3, 4) ausgeteilt. Im Anschluss gab es eine Kalibrierungsphase in der CAVE. Dabei wurden die Handschuhe kalibriert und danach eine Gestenkalibrierung zum natürlichen Interagieren durchgeführt. Schließlich wurden Biosensoren zum Messen von Puls und Hautleitfähigkeit angelegt und getestet.

Danach konnten die Teilnehmer die virtuelle Welt betreten. Während der gesamten Zeit wurden die Biodaten aufgenommen. In einem ersten Schritt durchliefen sie ein Trainingsprogramm von ca. 15 Minuten. Dafür gab es einen einheitlichen Ablauf, in dem die Grundlagen der Navigation und Interaktion erklärt wurden. Im Anschluss gab es noch eine freie Trainingszeit, um das Gelernte zu festigen. Wenn sich die Teilnehmer sicher genug fühlten, wurde mit der eigentlichen Studie begonnen. Dafür bekamen sie die Aufgabe, durch ein Rolltor in den nächsten Raum zu gehen und die beiden Bälle auf die Zielscheibe zu werfen. Anschließend gingen sie zurück in den Trainingsraum. Dort mussten sie sich noch einige Minuten aufhalten, um auch nach dem Erlebnis mit dem Abgrund die Biodaten messen zu können.

Anschließend wurden den Teilnehmern die Geräte abgenommen und der zweite Teil der Fragebögen (3, 5, 6) übergeben. Als Abschluss haben wir ihnen die Möglichkeit gegeben, Fragen zu stellen und sich die Technik noch einmal genauer anzuschauen.

5.5 Teilnehmer

Die Teilnehmer wurden durch Aushänge im Universitätsgebäude angeworben und mit Schokolade belohnt. Teilnahmevoraussetzungen waren: Deutsch als Muttersprache und keine Teilnahme an vorherigen Studien in unserem Arbeitsbereich. Zusätzlich wurden Personen mit starker Höhenangst ausgeschlossen (dies wurde aber zur Sicherheit noch einmal mit den Fragebögen überprüft). Der inhaltliche Fokus lag also nicht auf Therapiemöglichkeiten, sondern rein auf der Überprüfung der Auswirkung von verschiedenen präsentierten Modalitäten in einer virtuellen Welt.

Die Teilnehmer wurden in vier ausbalancierte Gruppen aufgeteilt. Dabei wurde auf eine ähnliche Verteilung in Bezug auf Teilnehmeranzahl, Geschlecht, Alter, Vorerfahrung mit virtuellen Welten, Ergebnis des ITQ-Fragebogens und Ergebnis der Höhenangstfra-

gebögen geachtet. Die Gruppen unterschieden sich in der Anzahl der präsentierten Modalitäten. Als Grundlage wurde allen Teilnehmern die gleiche grafische Welt präsentiert. In Kondition 1 gab es keine weiteren Stimuli. Kondition 2 hatte zusätzlich eine akustische Ausgabe, während Kondition 3 um haptische Reize angereichert war. Die Teilnehmer in Kondition 4 bekamen alle Ausgabemodalitäten (Grafik, Akustik, Haptik). Somit konnte überprüft werden, wie sich weitere Ausgabemodalitäten auf die subjektive Präsenz (UCL-Fragebogen) aber auch auf die physiologische Reaktion auf den Abgrund (Biosensoren) auswirken.

6 Ergebnisse

Zur Evaluation der subjektiven Präsenz wurden die UCL-Fragebögen ausgewertet. Die Auswertung des Fragebogens sieht es vor, nur die „hohen Antworten“ (die obersten 3 einer 7-Punkt Likert-Skala) zu zählen. Abbildung 4a) zeigt die Mittelwerte der vier Konditionen. Es ist interessant zu sehen, dass Kondition 2 und 3 am schlechtesten abgeschnitten haben. Eine Varianzanalyse ergab einen hochsignifikanten Unterschied (Welch's $F(3, 40.39) = 8.893, p < .001$). Auch die Auswertung der Biosensoren als objektive Präsenzmessung, bestätigt dieses Ergebnis. Dabei wurde der Mittelwert des Pulses während des Trainings (Prä), während der Zeit im Pit Raum (Pit) und für 3 Minuten nach Verlassen des Raums mit dem Abgrund (Post) verglichen. Abbildung 4b) zeigt den prozentualen Anstieg der Pulswerte für die einzelnen Konditionen. Dabei ist der Mittelwert in der Trainingsphase (Prä) als 100% festgelegt worden. Auch wird verdeutlicht, dass Teilnehmer in Kondition 2 und 3 eine geringere Reaktion gezeigt haben. Dieser Effekt ist signifikant ($F(3,70) = 4.1, p < .05$).

Die detaillierte Auswertung der Ergebnisse wird in [FW13] präsentiert. Unsere Ergebnisse haben gezeigt, dass eine Anreicherung mit weiteren Modalitäten nicht automatisch zu einer Verbesserung der Präsenz geführt hat. Erst in der vollen Kombination (Kondition 4) konnte eine Verbesserung erzielt werden. Die Anreicherung mit nur einem weiteren Ausgabekanal (Kondition 2 und 3) führte sogar zu einer Verschlechterung.

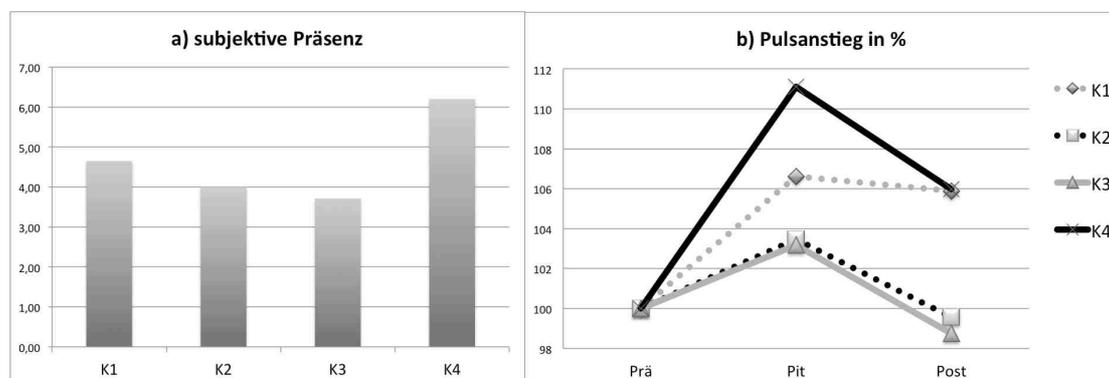


Abbildung 4: a) Auswertung des UCL Fragebogens b) Pulsdaten der Biosensoren in %

7 Resümee und Ausblick

Entgegen der Erwartung konnte kein linearer Anstieg der Präsenz durch zusätzliche Modalitäten gezeigt werden: „mehr“ heißt nicht automatisch „besser“. Es ist auffällig, dass Kondition 2 (Grafik und Sound) und Kondition 3 (Grafik und Haptik) am schlechtesten bewertet wurden. Dagegen zeigt die volle Kombination an Modalitäten in Kondition 4 (Grafik, Sound, Haptik) eine Verbesserung der wahrgenommenen Präsenz. Es scheint somit sinnvoll, möglichst viele Ausgabekanäle zu nutzen. Dies könnte daran liegen, dass Benutzer heutzutage durch die Erfahrung z.B. mit realitätsnahen Computerspielen eine hohe Erwartungshaltung mitbringen und diese erst erfüllt wird, wenn eine große Bandbreite präsentiert wird. Dieser Effekt ist aus der Robotik bereits als ein *uncanny valley* bekannt [MMK12]. In zukünftigen Arbeiten werden wir versuchen, diesen Effekt in virtuellen Welten genauer zu ergründen.

Das eingesetzte Windsystem ist noch nicht zur vollen Funktionsbandbreite ausgeschöpft. So werden weitere Effekte (insbesondere statischer und eventbasierter Wind) noch getestet. Eine zusätzliche Anbindung an die Physiksimulation wird erwogen. Damit würde es etwa möglich, dass leichte Objekte bei starkem Wind umher fliegen. Die ersten Testläufe haben gezeigt, dass es sinnvoll ist, auch Verdeckungseffekte mit einzu beziehen. So sollte es möglich sein, hinter einem Baum Schutz vor dem Umgebungswind zu finden. Eine zusätzliche Integration von beispielsweise Wärmelampen und Geruchsdisplays wäre wünschenswert, um die vollere Bandbreite der Sinne des Benutzers anzusprechen und noch mehr frischen Wind in der CAVE zu schaffen.

Literatur

- [Bat92] BATES, J.: Virtual reality, art and entertainment. *Presence*, 1(1):133-138, 1992
- [Coh77] COHEN, D.C.: Comparison of self-reported and overt-behavioral procedures for assessing acrophobia. *Behavior Therapy*, 8(1):17-23, 1977
- [CTV07] CARDIN S.; THALMANN, D.; VEXO, F.: Head Mounted Wind. *Computer Animation and Social Agents (CASA2007)*, 2007
- [DWS+99] DINH, H.Q.; WALKER, N.; SONG, C.; KOBAYASHI, A.; HODGES, L.F.: Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments. *IEEE Virtual Reality*, 1999
- [DJ06] DELIGIANNIDIS, L.; JACOB R.J.K.: The VR Scooter: Wind and Tactile Feedback Improve User Performance. *3DUI*, 2006
- [Dio97] DIONISIO, J.: Virtual hell, a trip through the flames. *Computer Graphics and Applications*, IEEE, 17(3):11-14, 1997
- [FBB09] FELLNER, D.W.; BEHR, J.; BOCKHOLT, U.: *instantreality – A Framework for Industrial Augmented and Virtual Reality Applications*. *Virtual Reality & Augmented Reality in Industry*, Shanghai, 2009
- [FW11] FRÖHLICH, J.; WACHSMUTH, I.: Ein wissensbasiertes Konzept zur 3D-Klanggenerierung in virtuellen Welten. 10. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung 2011, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn

- [FW12] FRÖHLICH, J.; WACHSMUTH, I.: Acoustically enriched virtual worlds with minimum effort. *Virtual Reality* 2012
- [FW13] FRÖHLICH, J.; WACHSMUTH, I.: Evaluating the Impact of Multi-Sensory Stimuli on Presence in Virtual Worlds, *HCI 2013 (to appear)*
- [Hei92] HEILIG, M.L.: Sensorama simulator, U.S. Patent #3050870, August 1962
- [KLB+93] KENNEDY, R.S.; LANE, N.E.; BERBAUM, K.S.; LILIENTHAL M.G.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method für quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3):203-220, 1993
- [MIW+02] MEEHAN, M.; INSKO, B.; WHITTON, M; BROOKS, F.P.: Physiological measures of presence in stressful virtual environments. *SIGGRAPH*, 2002
- [MK04] MOON, T.; KIM, G.J.: Design and Evaluation of a Wind Display for Virtual Reality. *ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, 2004
- [MMK12] MORI, M.; MACDORMAN, K.; KAGEKI, N.: The uncanny valley [from the field]. *Robotics Automation Magazine, IEEE*, 19(2):98-100, 2012
- [She94] SHERIDAN, T.: Further musings on the psychophysics of presence. *Systems, Man, and Cybernetics*, 1994
- [SUS95] SLATER, M.; USOH, M.; STEED, A.: Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact*, 2(3):201-219, 1995
- [WS98] WITMER, B.G.; SINGER, M.J.: Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence*, 7(3):225-240, 1998

Danksagung

Die Autoren danken Nico Lüdike und Felix Hülsmann für ihre Arbeiten an dem Windsystem und der Unterstützung bei der Benutzerstudie.

Autoren

Julia Fröhlich, B.Sc. studierte Kognitive Informatik sowie Bioinformatik an der Universität Bielefeld. Sie ist Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe Wissensbasierte Systeme von Prof. Dr. Ipke Wachsmuth an der Universität Bielefeld und arbeitet an ihrer Dissertation im Bereich der wissensbasierten Generierung multimodaler virtueller Realität.

Prof. Dr. Ipke Wachsmuth studierte Mathematik und Informatik an der TU Hannover, wo er 1980 promovierte. Nach Tätigkeiten an der Universität Osnabrück, der Northern Illinois University und bei IBM Deutschland habilitierte er sich 1989 an der Universität Osnabrück; im gleichen Jahr wurde er auf eine Professur für Wissensbasierte Systeme an der Universität Bielefeld berufen. Er war dort Gründungsmitglied der Technischen Fakultät (1990), Mitinitiator zweier Sonderforschungsbereiche und von 2002 bis 2009 geschäftsführender Direktor des Zentrums für interdisziplinäre Forschung (ZiF).