



Sonderteil: IEEE Virtual Reality (VR) 2009

## Allmähliche Übergänge und ihre Auswirkungen auf die Anwesenheits- und Entfernungsschätzung

Frank Steinicke<sup>a</sup>, Gerd Bruder<sup>a</sup>, Klaus Hinrichs<sup>a</sup>, Anthony Steed<sup>b</sup><sup>a</sup> Visualisierung und Computergrafik, WWU Münster<sup>b</sup> Institut für Informatik, UCL, London, UK

## Artikel Information

## Artikel Geschichte:

Eingegangen am 15. Juni 2009

Eingegangen in überarbeiteter Form am

10. Dezember 2009

Akzeptiert am 11. Dezember 2009

## Schlüsselwörter:

Virtuelle Realität

Übergangsumgebung

Gegenwart

Fernwahrnehmung

## abstrakt

Mehrere Experimente haben gezeigt, dass egozentrische Entfernungen in immersiven virtuellen Umgebungen relativ zur realen Welt als komprimiert wahrgenommen werden. Die Hauptfaktoren, die für dieses Phänomen verantwortlich sind, sind weitgehend unbekannt geblieben. Jüngste Experimente legen jedoch nahe, dass sich die Distanzwahrnehmung der Person verbessert, wenn die virtuelle Umgebung (VE) eine exakte Nachbildung der realen physischen Umgebung eines Benutzers ist. Basierend auf dieser Beobachtung klingt es vernünftig, dass wenn Probanden in einem bekannten VE ein hohes Maß an Situationsbewusstsein verspüren, ihre Fähigkeit zur Schätzung von Entfernungen im Vergleich zu einer unbekannten virtuellen Welt viel besser sein kann. Dies wirft die Frage auf: Ob das Starten der Virtual Reality (VR) -Erfahrung in einer solchen virtuellen Replik und der schrittweise Übergang zu einem anderen VE das Potenzial hat, das Präsenzgefühl einer Person sowie die Fähigkeiten zur Fernwahrnehmung in einer unbekannten virtuellen Welt zu verbessern. In diesem Fall dient das virtuelle Replikat als Übergangsumgebung zwischen der Realität und einer virtuellen Welt. Obwohl in einigen VR-Demonstrationen bereits Übergangsumgebungen angewendet werden, wurde bisher nicht überprüft, ob ein solcher schrittweiser Übergang die VR-Erfahrung eines Benutzers verbessert.

Wir haben zwei Experimente durchgeführt, um zu quantifizieren, inwieweit ein schrittweiser Übergang zu einer virtuellen Welt über eine Übergangsumgebung die Präsenz und die Fähigkeit einer Person, Entfernungen in der VE abzuschätzen, verbessert. Wir haben festgestellt, dass das von den Probanden selbst gemeldete Präsenzgefühl signifikant höhere Werte aufweist und dass sich die Entfernungsschätzungsfähigkeiten der Probanden in der VE signifikant verbesserten, wenn sie über eine Übergangsumgebung in die VE eintraten.

&amp; 2009 Elsevier Ltd. Alle Rechte vorbehalten.

## 1. Einführung und frühere Arbeiten

VR-Umgebungen (Virtual Reality) bieten eine der fortschrittlichsten Technologien für Mensch-Computer-Schnittstellen, die bisher entwickelt wurden. Da immersive VR-Systeme Informationen aus der Sicht eines Benutzers darstellen können, bieten diese grafischen Benutzeroberflächen ein einzigartiges Erlebnis und bieten ein großes Potenzial als Technologie für die immersive Erkundung in vielen Bereichen. Zum Beispiel ermöglichen sie Architekten und Ingenieuren, virtuelle Modelle in echtem Maßstab zu erleben. Obwohl die VR-Forschung eine lange Geschichte der Verfeinerung hinter sich hat, gibt es immer noch nur wenige Anwendungen, die die VR-Technologie effektiv einsetzen, um Probleme zu lösen.

## 1.1. Präsenz in virtuellen Umgebungen

Für eine breite Klasse von Problemen ist das Niveau von ein gemeinsames Maß für die Qualität der Wirksamkeit Gegenwart in Benutzern hervorgerufen. Grundsätzlich wurde Präsenz als das Gefühl einer Person angesehen, dort zu sein, das das Phänomen beschreibt, das sie fühlt und sich verhält, als wäre sie in der virtuellen Welt, die durch Computerbildschirme geschaffen wurde [12,13]. Wenn

Es ist wichtig, dass die Teilnehmer Verhaltensweisen zeigen, die denen ähneln, die durch vergleichbare Umstände in der alltäglichen Realität hervorgerufen worden wären. Dann ist Präsenz unerlässlich. Ein ideales Beispiel aus der breiten Klasse von Problemen ist die Verwendung immersiver VEs für die virtuelle Therapie, beispielsweise zur Behandlung verschiedener Phobien (z. B.

[7]).

Es ist eine bekannte Tatsache, dass Menschen nicht nur das Gefühl haben, an den Ort transportiert zu werden, der von einem VE angezeigt wird, sondern auch dazu neigen, sich so zu verhalten, als wären sie wirklich dort. Um das Gefühl der Präsenz zu erhöhen, ist es daher wichtig, den Benutzern das Gefühl zu geben, in der VE zu sein. Die Erfahrung sollte wie ein besuchter Ort sein und nicht nur eine Reihe von Bildern [5,14]. In den meisten vollständig immersiven VR-Systemen sind reale Informationen blockiert, dh es besteht eine Trennung zwischen dem Benutzer und seiner aktuellen Situation. Gemäß [14] Benutzer fühlen möglicherweise ein höheres Gefühl der Präsenz in der VE, wenn sie als beständiger Raum dargestellt werden, der betreten und verlassen werden kann, und wenn der Übergang in die VE eine Vorstellung von Reisen oder Loslösung von der realen Welt beinhaltet.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Ansätze vorgestellt und untersucht, inwieweit sie zu jedem dieser Faktoren beitragen. Die Präsenz kann durch den Ausschluss realer Hinweise unterstützt werden, da diese die präsentierte VE stören oder mit ihr nicht übereinstimmen können

[14]. Darüber hinaus kann die Präsenz verbessert werden, indem eine virtuelle Darstellung des Benutzers in die Umgebung integriert wird (eine virtuelle Darstellung)

Korrespondierender Autor. Tel.: +492518338442; Fax: +492518333755.

E-Mail-Adresse: [fsteini@math.uni-muenster.de](mailto:fsteini@math.uni-muenster.de) (F. Steinicke).

Körper“) [15,16], insbesondere für die tatsächliche Bewegung der Gliedmaßen [22]. Darüber hinaus erhöht multimodales Feedback in einem VE das Gefühl der Präsenz, insbesondere wenn nicht nur haptisches und taktils Feedback, sondern auch Audio- und Geruchsreize Ereignissen im VE entsprechen

[3]. Darüber hinaus wirken sich die Eigenschaften der visuellen Anzeige auf das Präsenzgefühl des Benutzers aus [25]. Zum Beispiel ein breiteres Sichtfeld, realistische physikalische Simulationen [21], stereoskopische Anzeige [8], geringe Wartezeit [11]. Außerdem tragen dynamische Schatten von Objekten in einer virtuellen Umgebung zum Präsenzgefühl eines Benutzers bei [6]. Wenn es darum geht, sich in der VE zu bewegen, hat sich gezeigt, dass echtes Gehen eine stärker die Präsenz verbessernde Fortbewegungstechnik ist als andere Navigationsmetaphern. Das heißt, Wanderer haben ein höheres Präsenzgefühl als „Flieger“ oder Benutzer, die wie beim Gehen navigieren Gesten

[16,23].

## 1.2. Entfernungswahrnehmung in virtuellen Umgebungen

Mehrere Experimente haben gezeigt, dass Benutzer häufig ernsthafte Probleme haben, Entfernungen in virtuellen Welten abzuschätzen und sich zu orientieren. Zum Beispiel haben Forscher eine Komprimierung der egozentrischen Distanzwahrnehmung in immersiven virtuellen Umgebungen gefunden – in einigen Fällen bis zu 50% oder mehr, bezogen auf die Fernwahrnehmung in der realen Welt [9,10]. Darüber hinaus wird die visuelle Geschwindigkeit beim Gehen in VEs unterschätzt, und die zurückgelegte Strecke wird ebenfalls unterschätzt [1]. Wahrnehmungsverzerrungen dieser Größenordnung können für verschiedene Anwendungen schwerwiegende Probleme darstellen und die Wirksamkeit einer grafischen Benutzeroberfläche verringern.

Entfernungskomprimierungseffekte wurden für eine breite Palette von Anzeigen und Technologien gezeigt, und es wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um Gründe für diese Effekte zu identifizieren. Mehrere Experimente haben gezeigt, dass Hardwareprobleme einen kleinen Teil der beobachteten Komprimierung verursachen können. Eine Erklärung für den größeren Teil des Effekts ist jedoch unbekannt. In fast allen früheren Studien unterschied sich die angezeigte virtuelle Umgebung von der physischen Umgebung, in der sich der Benutzer während des Experiments befand. Interrante et al. [9] legen nahe, dass das Problem der Entfernungskomprimierung in immersiven virtuellen Umgebungen zu einem wesentlichen Teil auf übergeordnete kognitive Probleme bei der Interpretation des VE zurückzuführen sein kann. In ihren Experimenten führten die Probanden Blind-Walking-Tests in einer virtuellen Nachbildung der realen Umgebung der Probanden durch. Daher konnten die Probanden sicher sein, dass die virtuelle Welt die Umgebung darstellt, in der sie physisch präsent waren. In einem solchen Aufbau trat die Abstandskompression nicht in einer Größenordnung auf, wie sie in früheren Studien beobachtet wurde. Basierend auf dieser Beobachtung klingt es vernünftig, dass bei einem hohen Grad an Situationsbewusstsein die Fähigkeit der Probanden, Entfernungen in einem so bekannten VE zu schätzen, im Vergleich zu einer künstlichen virtuellen Welt viel besser sein kann.

## 1.3. Allmähliche Übergänge in die virtuelle Welt

Die Verwendung von a Übergangsumgebung zwischen realer und virtueller Welt, um das Präsenzgefühl des Benutzers zu erhöhen oder das virtuelle Erlebnis im Allgemeinen zu verbessern, ist kein neuartiges Konzept. Einige Projekte haben bereits unterschiedliche Konzepte verwendet, um einen schrittweisen Übergang von der realen zur virtuellen Welt und in die entgegengesetzte Richtung zu ermöglichen [22]. Zum Beispiel haben Slater et al. [14] haben ein Experiment namens "VirtualAnte" durchgeführt, in dem die Probanden eine virtuelle Nachbildung des Labors betraten, in dem das Experiment stattfand. Die Probanden bewegten sich durch eine Tür zu einem neuen virtuellen Ort und führten die experimentelle Hauptaufgabe aus. Bei ihrer Rückkehr wurden dem virtuellen Labor kastenförmige Objekte hinzugefügt, und in der Zwischenzeit war ein Objekt, dh ein Telefon, innerhalb des realen Labors bewegt worden. Nachdem die Probanden zurückgekehrt waren

Als sie das eigentliche Labor abnahmen, mussten sie ihre Überraschung zeigen, dass die zusätzlichen Boxen nicht vorhanden waren und das Telefon bewegt worden war. Die Neuorientierung in die reale Welt ist zwar schnell, aber es gibt auch eine Pause vom virtuellen Modell zurück in die reale Welt. Beispielsweise sind die Teilnehmer häufig desorientiert und überrascht über die Richtung, in die sie beim Abheben eines HMD blicken.

Slater et al. [15] schlagen vor, ein virtuelles HMD in der virtuellen Welt so zu verwenden, dass durch das Anlegen ein Benutzer in eine andere virtuelle Welt versetzt wird. Nach dem Abheben des letzten HMD wird der Benutzer zum VE zurückgebracht, von dem er zuvor übertragen wurde. Dieses Verfahren bietet eine rekursiv HMD-basierte virtuelle Welt. Übergangstechniken können auch in CAVE-Umgebungen verwendet werden. Zum Beispiel haben Steed et al. [17] erweiterte eine vierseitige (dreiwandige) HÖHLE mit einem weißen Vorhang. Dieser Vorhang wurde für die Projektion verwendet, und die Teilnehmer konnten eine virtuelle HÖHLE mit Avataren im Inneren sehen. Als eine Teilnehmerin durch den Vorhang ging, erschien ein Avatar für sie auf dem Vorhang.

Unter diesem Gesichtspunkt erscheint es angebracht, Benutzern eine virtuelle Nachbildung ihrer realen Umgebung (normalerweise des Labors) zur Verfügung zu stellen, damit sie sich an die Eigenschaften eines immersiven VR-Systems gewöhnen können, z. B. Latenz, reduziertes Sichtfeld oder Tracking Error eine bekannte Umgebung. Darüber hinaus legen neuere Arbeiten nahe, dass ein Benutzer ein höheres Situationsbewusstsein hat, wenn die virtuelle Umgebung der Umgebung entspricht, in der sich der Benutzer physisch befindet, wenn er in das VR-System eingetaucht ist (vgl. Abb. 1). Nach einer bestimmten Zeit kann der Benutzer die "tatsächliche" virtuelle Umgebung betreten, beispielsweise über eine virtuelle Tür. Dies wirft die Frage auf, ob die Vorteile einer virtuellen Replik wie ein hohes Situationsbewusstsein sowie eine verbesserte Fähigkeit zur Entfernungsschätzung auf die tatsächliche VE übertragen werden können. Bisher wurde nicht überprüft, ob die Verwendung einer Übergangsumgebung das Ausmaß erhöht, in dem ein Benutzer glaubt, sich in der virtuellen Umgebung und nicht in der realen Welt zu befinden, oder ob die Fähigkeiten zur Entfernungsschätzung von einer Übergangsumgebung auf die übertragen werden können tatsächliche VE.

## 1.4. Virtuelle Portale

Um Subjekte aus der Übergangsumgebung in eine entfernte virtuelle Welt zu übertragen, so dass sie glauben, sich in einer neuen (aber irgendwie "verbundenen") Umgebung zu befinden, haben wir uns für die Verwendung entschieden virtuelle Portale. Portale sind ein gängiges Konzept in Wissenschaft und Fantasie. Der Begriff einer Portalinfektion ist eine magische oder technologische Tür, die zwei entfernte Orte verbindet, unabhängig davon, ob sie durch Zeit oder am häufigsten durch Raum getrennt sind. Sie können zwei Formen annehmen: Entweder muss eine Person durch den Rahmen eines Objekts (eines Spiegels, eines Schanks, eines Gateways usw.) treten, das als Portal dient, oder das Portal erscheint normalerweise in einer magischen Form, zum Beispiel ein Energiewirbel. In der Tat gibt es mehrere Orte, an die ein Portal einen Benutzer übertragen kann. Ein Portal wird üblicherweise als grafisches Objekt dargestellt, das aus einem Innenraum und einem Rahmen besteht. Der Innenraum definiert den Bereich, durch den der Benutzer gehen muss.

Wenn sich in unserem Setup ein Betreff in der Übergangsumgebung befindet, öffnet ein Tastendruck auf einem Eingabegerät – wir verwenden eine Wii-Fernbedienung – ein virtuelles Portal in der tatsächlichen Umgebung. Um sicherzustellen, dass Portale in beliebigen Umgebungen und an beliebigen Positionen im Raum platziert werden können, verwenden wir eine Multi-Pass-Rendering-Technik, bei der in fast allen modernen Grafikkarten verfügbare Tiefen- und Schablonenpuffer ausgenutzt wird [2]. Mit diesem Multi-Pass-Rendering-Ansatz können Benutzer in der Übergangsumgebung herumlaufen und die Welt hinter dem Portal durch das Innere des Portals betrachten (siehe Abb. 2).

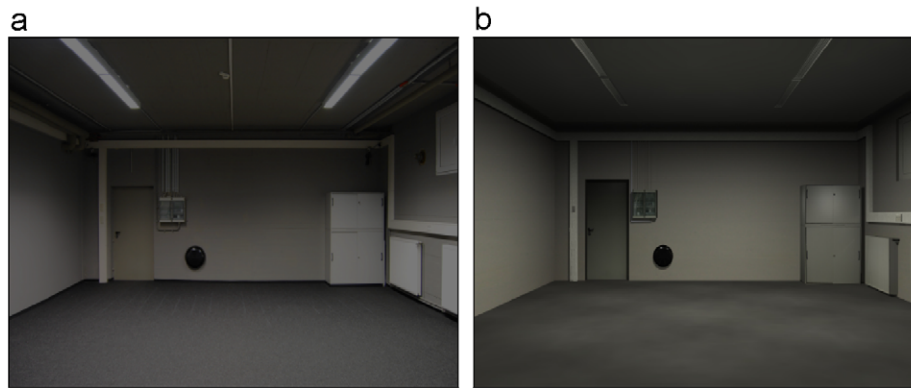


Abb. 1. (a) Foto der Laborumgebung und (b) computergeneriertes Bild der Übergangsumgebung.

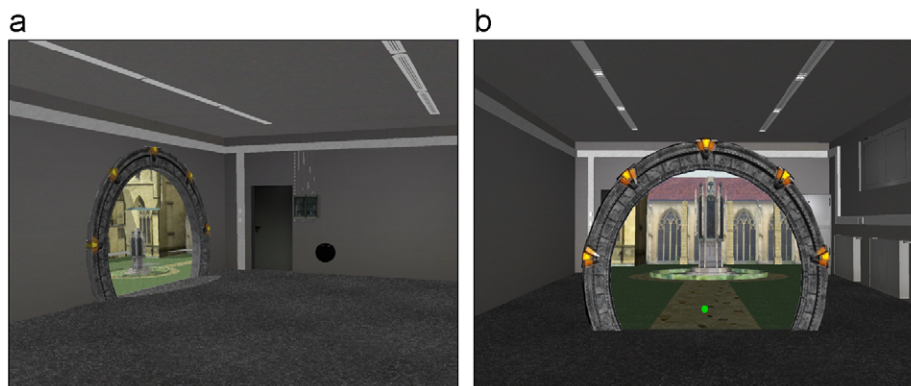


Abb. 2. Screenshots verschiedener Portalkonzepte: Das virtuelle Portal befindet sich (a) an einer der Wände der Übergangsumgebung und (b) schwebt in der Mitte des virtuellen Replikationsraums.

Wir haben zwei verschiedene Konzepte für die Platzierung virtueller Portale implementiert: (1) an Wänden befestigt oder (2) als schwebende Objekte. Wenn das Portal in der Übergangsumgebung schwebt, kann ein Benutzer durch das Portal gehen, um zur tatsächlichen VE zu gelangen. Wenn das Portal jedoch an eine Wand des virtuellen Replikats angeschlossen ist, tritt ein Problem auf. Die physischen Wände des Labors und die virtuellen Wände der Übergangsumgebung sind entsprechend ausgerichtet. Daher konnte ein Portal an einer Wand nicht passiert werden. Nachdem der Benutzer die Portalschaltfläche in der Übergangsumgebung gedrückt hat, haben wir daher auf der Grundlage der Ergebnisse von Bewegungskomprimierungsansätzen angewendet

Umgebung, die durch eine virtuelle Nachbildung unseres Labors vor dem eigentlichen VE dargestellt wird.

Der Rest des Artikels ist wie folgt aufgebaut. Abschnitt 2 beschreibt das Experiment, das wir durchgeführt haben, um die Auswirkungen einer Übergangsumgebung auf die Präsenz zu messen. In Abschnitt 3 wird das Experiment erläutert, das wir durchgeführt haben, um festzustellen, ob die Entfernungsschätzung durch die Verwendung einer Übergangsumgebung verbessert werden kann. In Abschnitt 4 werden die Ergebnisse beider Experimente erörtert. Der Artikel schließt in Abschnitt 5.

[20]. Wir haben die Bewegungen mit dem Faktor 1,4 skaliert. Somit wird 1 m im physischen Raum auf 1,4 m in der Übergangsumgebung abgebildet. Nach Steinicke et al. [20] kann eine solche Manipulation von einem gehenden Benutzer nicht zuverlässig beobachtet werden. Wenn sich Probanden zum virtuellen Portal bewegen, gehen sie nur 60% der erforderlichen virtuellen Distanz in der realen Welt und befinden sich immer noch fast in der Mitte des physischen Laborraums. Jetzt kann der Benutzer das Portal passieren, ohne mit der physischen Wand zu kollidieren. Darüber hinaus ermöglicht der gleiche Ansatz den Probanden, durch ein Portal zu gehen, das in einem VE an einer Wand angezeigt wird, um wieder in die Übergangsumgebung einzutreten.

In diesem Artikel kombinieren wir unsere bisherigen Arbeiten [19,18] und die Frage zu beantworten, ob eine Übergangsumgebung die VR-Erfahrung eines Benutzers verbessert. Daher haben wir zwei Aspekte berücksichtigt: das Präsenzgefühl einer Person und ihre Fähigkeiten zur Entfernungsschätzung. Wir haben die Präsenz in einem virtuellen Flugphobieexperiment und die Entfernungsschätzung basierend auf Blind-Walking-Tests gemessen. Beide Experimente wurden in einer vollständig immersiven, am Kopf montierten Anzeigeumgebung unter zwei Bedingungen durchgeführt: Die Probanden wurden sofort in eine VE eingetaucht oder die Probanden besuchten einen Übergang

## 2. Experiment 1: Auswirkung von Übergangsumgebungen auf die Präsenz

### 2.1. Materialien und Methoden

Um zu überprüfen, ob eine Übergangsumgebung das Präsenzgefühl eines Probanden erhöht, haben wir ein virtuelles Flugexperiment unter zwei Bedingungen durchgeführt. Unter der ersten Bedingung (V - V) wurden die Probanden sofort in eine virtuelle Flugzeugumgebung getaucht, als sie das HMD einschalteten. Unter der zweiten Bedingung (T - V) wurden die Probanden über eine Übergangsumgebung in das virtuelle Flugzeug übertragen. Wir wollten analysieren, ob ein allmählicher Übergang in die virtuelle Welt, wie er unter der Bedingung T - V verwendet wird, das Präsenzgefühl eines Subjekts im Vergleich zum Präsenzgefühl eines Subjekts unter der Bedingung V - V erhöht.

#### 2.1.1. Hardware-Setup und Visualisierungsumgebung

Beide Experimente wurden in einem 10m 7m dunklen Bereich unseres Labors durchgeführt. Die Probanden trugen eine HMD (eMagine 3DVisor)

Z800, 800 600 bei 60 Hz, 40 diagonales Sichtfeld) für die Stimuluspräsentation. Auf dem HMD wurde eine Infrarot-LED angebracht. Wir haben die Position dieser LED im Raum mit einem aktiven optischen Verfolgungssystem (Precision Position Tracker von WorldViz) verfolgt, das eine Genauigkeit von weniger als einem Millimeter und eine Genauigkeit von weniger als einem Zentimeter bietet. Die Aktualisierungsrate betrug 60 Hz und lieferte Echtzeit-Positionsdaten der aktiven Marker. Für die Verfolgung der Freiheitsorientierung mit drei Freiheitsgraden verwendeten wir einen InertiaCube 2 (InterSense) mit einer Aktualisierungsrate von 180 Hz. Der InertiaCube wurde ebenfalls oben auf dem HMD befestigt. In den Experimenten verwendeten wir einen Computer mit Intel Dual-Core-Prozessoren, 4 GB Hauptspeicher und einer nVidia GeForce 8800 GTX zur Systemsteuerung, zum Rendern und zur Protokollierung.

Die virtuelle Szene (siehe [Feigen 1 \(b\) und 3](#)) wurde mit gerendert

OpenGL und unsere eigene Software, mit der das System eine Bildrate von 60 Bildern pro Sekunde beibehält. Wie oben erwähnt, haben wir zwei verschiedene virtuelle Szenarien verwendet, nämlich ein virtuelles Flugzeugmodell (siehe [Feigen 3 \(a\) und \(b\)](#)) und das Übergangsumfeld - - Das war eine virtuelle Nachbildung unseres Labors (siehe [Abb. 1](#)). Wir haben die visuelle Szene mit verschiedenen Soundeffekten kombiniert, z. B. Motorgeräuschen, die über vollständig geschlossene Kopfhörer an die Probanden übertragen wurden. Während des Experiments wurde der Raum vollständig abgedunkelt, um die Wahrnehmung der realen Welt durch die Probanden zu verringern. Zusätzlich wickelten wir ein undurchsichtiges Tuch um den Kopf des Probanden.

#### 2.1.2. Teilnehmer

7 männliche und 3 weibliche Probanden (Alter 23–53,  $\pm$ : 32,6) nahmen an dem Experiment teil. Die Fächer kamen aus verschiedenen Bereichen, von Studenten bis zu Fachleuten mit Fachkenntnissen in Informatik, Mathematik, Psychologie, Geoinformatik und Physik. 3 Probanden hatten keine 3D-Spielerfahrung, 4 Probanden hatten einige und 3 Probanden hatten viel Spielerfahrung. Zwei der Autoren dienten als Themen; Alle anderen Probanden waren gegenüber den Versuchsbedingungen naiv. Vier der Probanden hatten Erfahrung mit dem Gehen in VR-Umgebungen unter Verwendung eines HMD-Setups. Die Probanden durften jederzeit Pausen einlegen. Einige Probanden erhielten für ihre Teilnahme eine Klassengutschrift. Die Gesamtzeit pro Fach einschließlich Fragebogen, Anleitung, Schulung, Experiment, Pausen und Nachbesprechung betrug 2 Stunden. Das gesamte Experiment wurde innerhalb von 2 Tagen durchgeführt. Wir haben eine subjektinterne Gestaltung des Experiments verwendet. Fünf Probanden haben das Experiment zuerst mit und dann ohne Übergangsumgebung durchgeführt, während die anderen fünf das Experiment in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt haben.

#### 2.1.3. Messmethode

Das Hauptziel dieses Experiments ist es zu zeigen, ob das Gefühl der Präsenz eines Subjekts, das über eine Übergangsumgebung in die virtuelle Welt eingetreten ist (Bedingung T - V), größer ist als das Gefühl der Präsenz eines Subjekts, wenn es in die virtuelle Welt eintritt

Umwelt unmittelbar aus der realen Welt (Bedingung V - V). Um die Präsenz zu messen, haben wir die selbst berichteten Antworten des Probanden unter beiden Bedingungen anhand des Fragebogens zur Präsenz von Slater-Usoh-Steed (SUS) analysiert [24]. Die Fragen basieren auf Variationen von drei Themen, dh dem Gefühl, in der VE zu sein, dem Ausmaß, in dem die VE zur dominierenden Realität wird, und dem Ausmaß, in dem die VE als Ort in Erinnerung bleibt. Die Probanden mussten jede der sechs Fragen auf einer 1-zu-7-Likert-Skala bewerten (wobei 1 keine Präsenz und 7 hohe Präsenz bedeutet).

In der Tat variieren subjektive Maßnahmen von Person zu Person. In unserem Experiment waren wir jedoch interessiert, ob und wie stark die Maßnahmen variieren, wenn die Probanden zuvor eine Übergangsumgebung besucht haben. Jeder Proband hat das Experiment unter beiden Bedingungen durchgeführt, und wir haben die relativen Unterschiede analysiert.

#### 2.1.4. Verfahren

Die virtuelle Flugumgebung war unter beiden Bedingungen dieselbe, unabhängig davon, ob die Probanden direkt in das virtuelle Flugzeug eintraten oder nachdem sie sich zuerst durch die Übergangsumgebung bewegt hatten. Um die Probanden dazu zu zwingen, die gleiche Zeitspanne beizubehalten (E. 10 Minuten) In der VE mussten die Probanden unter dieser Bedingung 5 Minuten im Flugzeug laufen, bevor der virtuelle Flug begann. Unter der Bedingung, dass TV-Probanden 5 Minuten in der Übergangsumgebung laufen mussten. In den folgenden Unterabschnitten werden wir beide experimentellen Bedingungen genauer erläutern.

##### 2.1.4.1. Bedingung V - V: virtueller Flug ohne Übergangswelt.

Bevor der virtuelle Flug begann, mussten die Probanden in einem virtuellen Flugzeugmodell zu ihrem zugewiesenen Sitzplatz gehen (siehe [Abb. 3 \(b\)](#)). Da wir zwei physische Sitze im Laborraum verwendeten, die entsprechend ihrer virtuellen Sitzreihe platziert wurden, nahmen die Probanden beim Sitzen passives haptisches Feedback wahr. Die Genauigkeit zwischen realen und virtuellen Sitzen lag im Zentimeterbereich. Die Ansicht eines Probanden und das Sitzmodell werden in angezeigt

[Feigen 3 \(b\) und \(c\)](#). Nach dem Hinsetzen begann der virtuelle Flug. Der Flug dauerte 3 Minuten. Vor, während und nach den Flugtriebwerksgeräuschen wurde der Zustand des virtuellen Fluges akustisch angezeigt. Nachdem das Flugzeug gelandet war, mussten die Probanden das Flugzeug über eine virtuelle Planke verlassen, die von einer physischen Planke präsentiert wurde, die passives haptisches Feedback lieferte. Während des gesamten Experiments unterstützten über Kopfhörer übertragene Geräusche die Vorstellung eines Fluges. Wir verwendeten Geräusche für Hintergrundgeräusche, Anweisungen, Start und Landung. Während des gesamten Experiments wurde keine Kommunikation zwischen Proband und Experimentator durchgeführt. Vor dem Experiment wurden die Probanden angewiesen, das HMD abzunehmen, nachdem sie die Planke überquert hatten.

##### 2.1.4.2. Bedingung T - V: virtueller Flug mit Übergangsumgebung.

Die Materialien und Methoden für die Bedingung T - V waren ähnlich denen für die Bedingung V - V. Der virtuelle Flug war identisch mit dem virtuellen

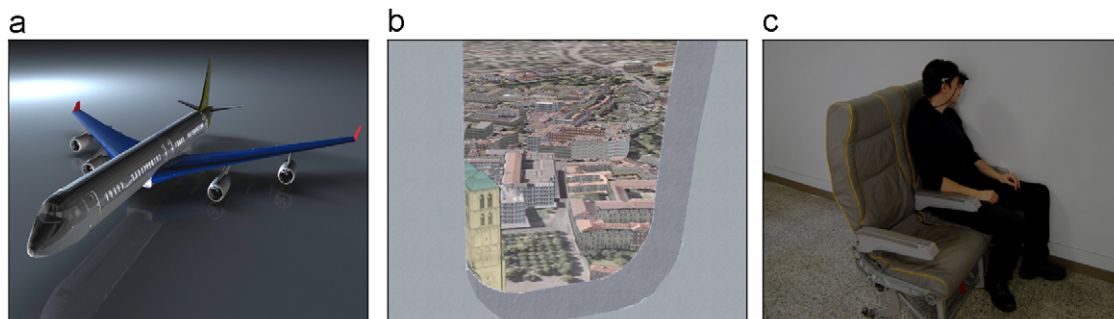


Abb. 3. Bilder aus dem virtuellen Flugpräsenz-Experiment zeigen (a) den verwendeten Flugzeugmodus, (b) den Blick durch ein Fenster aus der Perspektive eines Subjekts, der und (c) auf einem physischen Modell sitzt.

Flug unter der Bedingung V - V, mit der Ausnahme, dass die Probanden sofort zu ihrem Sitz gehen mussten, ohne durch das Flugzeug zu gehen. Da wir sicherstellen wollten, dass die Probanden für beide Bedingungen für den gleichen Zeitraum eingetaucht waren, mussten sie sofort ihren Platz einnehmen, da sie bereits im Übergang waren

tionales Umfeld.

Im Gegensatz zum Start des virtuellen Flugversuchs direkt in Im Flugzeug haben wir für diesen Zustand die virtuelle Nachbildung der realen Umgebung verwendet. Nachdem die Probanden mit dem HMD ausgestattet worden waren, sahen sie ein fotorealistisches Modell des Laborraums, der als Übergangsumgebung verwendet wurde. Im Gegensatz zur Situation im virtuellen Flugzeug konnten die Probanden mit dem Experimentator sprechen, während sie durch die Übergangsumgebung gingen. Wir haben dieser Mitteilung erlaubt, darauf hinzuweisen, dass sie sich noch nicht in der virtuellen Welt befinden. Da das virtuelle Modell eine Eins-zu-Eins-Kopie des realen Labors ist, können Probanden herumlaufen und Objekte wie Wände, Türen oder Schränke berühren. Nach ungefähr 4 Minuten sagten wir den Probanden, dass sie einen bestimmten Knopf drücken müssten, der an einer der Wände des Labors angebracht war, um ein Portal zur virtuellen Welt, dh zum Flugzeug, zu öffnen. Abb. 2 (a) die anfänglich mit der entsprechenden physischen Wand zusammenfiel und somit einen Durchgang verhindern würde. Aus diesem Grund haben wir die Bewegungskompromittierung angewendet, wie in Abschnitt 1.4 erläutert, mit der Probanden durch das virtuelle Portal gehen können, ohne mit einem Hindernis zu kollidieren, das den Weg in der realen Welt verdeckt.

Nach dem Durchlaufen des Portals wurden die Motive in das virtuelle Flugzeugmodell übertragen. Diese Übertragungsphase wurde über eine 3-sekündige Animationssequenz mit überzeugenden Sounds angezeigt. Danach wurde der Teil des virtuellen Fluges unter dieser experimentellen Bedingung identisch mit der Bedingung V - V durchgeführt, dh als die Probanden direkt im Flugzeug starteten. Aber anstatt das HMD nach dem Überqueren der Planke abzunehmen, wurden die Probanden angewiesen, der Gangway zu folgen, bis ein weiteres Portal entstand. Ihnen wurde gesagt, dass sie über dieses Portal zum virtuellen Labor zurückkehren könnten, indem sie einfach durch das Portal gehen. Eine andere Animationssequenz zeigte einen Rückflug ins Labor. Nachdem ein Proband zurück in die Übergangsumgebung gebracht wurde, dh die virtuelle Nachbildung unseres Labors, Geräusche im Zusammenhang mit dem virtuellen Flug wurden ausgeschaltet und die Probanden konnten mit dem Experimentator sprechen. Die Probanden mussten den Knopf erneut drücken, um das Portal auszuschalten und das Experiment zu beenden.

## 2.2. Ergebnisse

Die subjektive Bewertung des virtuellen Flugzustands ohne Übergangsumgebung zeigt, dass die Probanden nur ein geringes selbstberichtetes Präsenzgefühl hatten. Dies wird durch die durchschnittliche Punktzahl von 3,63 angezeigt (  $S = 0,70$ ) der SUS-Fragebögen; keine hohen Raten,

dh 6 oder 7 wurden von den Probanden ausgewählt. Das Fehlen von vestibulären Reizen während des Fluges, die in einem Flugsimulator auftreten können, kann ein Grund für die geringe Präsenz sein. Wie in Abschnitt 2.1.3 erwähnt, konzentrierten wir uns jedoch nicht auf das absolute Präsenzgefühl, sondern auf das Präsenzgefühl im Vergleich zu dem Zustand, in dem sich die Probanden zuerst in der Übergangsumgebung befanden. Daher wollten wir untersuchen, ob sich die Ergebnisse für die SUS-Fragebögen für die Bedingung V - V signifikant von der Bedingung T - V unterscheiden.

Im Vergleich zur ersten Bedingung zeigt die subjektive Bewertung des virtuellen Fluges mit der Übergangsumgebungsbedingung, dass die Probanden immer noch ein leichtes, aber erhöhtes Präsenzgefühl hatten. Dies wird durch die durchschnittliche Punktzahl von 4,31 (  $S = 0,57$ ) der SUS-Fragebögen; 3 Probanden beantworteten drei Fragen

## SUS Questionnaire Results

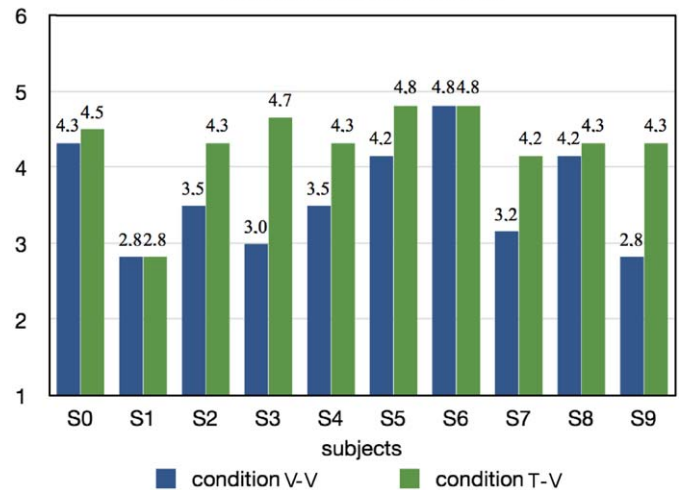


Abb. 4. Ergebnisse der SUS-Fragebögen für einzelne Probanden S0, ..., S9 unter den Bedingungen V - V und T - V. Die Probanden S0, S2, S4, S7 und S8 nahmen zuerst an dem Experiment unter Verwendung einer Übergangsumgebung (Bedingung T - V) teil, die anderen Probanden begannen zuerst direkt in der virtuellen Flugzeugumgebung (Bedingung V - V).

mit 6. Die virtuellen Flugteile waren für beide Bedingungen identisch, aber unter der Bedingung TV mussten die Probanden vor und nach dem Flug durch eine Übergangsumgebung gehen. Die Ergebnisse der SUS-Fragebögen in Abb. 4 zeigen an, dass das selbst gemeldete Gefühl der Präsenz konstant geblieben ist oder zugenommen hat alle Themen. Wenn die Ergebnisse zusammengefasst werden, steigt das Präsenzgefühl der Probanden unter der Bedingung T - V um 19%. Im Durchschnitt erhöht jedes Subjekt seine SUS-Werte um 0,68 (  $S = 0,59$ ). Die SUS-Werte für Probanden, die zuerst unter der Bedingung T - V an dem Experiment teilgenommen haben, zeigen ein höheres Gefühl der Präsenz sowohl für die Bedingung V - V (3,74 vs. 3,52) als auch für die Bedingung T - V (4,32 vs. 4,28).

Wir haben eine durchgeführte t-Test der Mittelwerte für die selbst berichteten Anwesenheitssinne der Probanden unter den Bedingungen T - V und V - V und ergab einen signifikanten Unterschied, der zeigt, dass der Anstieg der SUS-Werte von 3,63 auf 4,31 statistisch signifikant ist (  $p < 0,01$ ).

## 3. Experiment 2: Auswirkung von Übergangsumgebungen auf die Fernwahrnehmung

Das Ziel des zweiten Experiments ist es zu analysieren, ob ein schrittweiser Übergang über eine virtuelle Replik die Raumkognition einer Person verbessert, insbesondere die Fähigkeit der Person, Entfernungen in der virtuellen Welt abzuschätzen.

### 3.1. Materialien und Methoden

Die in diesem Experiment verwendete Apparatur war identisch mit der im ersten Experiment verwendeten. Der einzige Unterschied war die angezeigte virtuelle Umgebung. Im Gegensatz zum ersten Experiment, bei dem wir ein virtuelles Flugzeugmodell hinter dem Portal angezeigt haben, haben wir in diesem Experiment ein virtuelles 3D-Stadtmodell angezeigt. Nach dem Anziehen wurden die HMD-Probanden angewiesen, die Anzeigen des HMD so einzustellen, dass sie die Szene bequem betrachten konnten. 11 männliche und 1 weibliche (Alter 25–34,  $\pm$  27,8) Probanden nahmen an der Studie teil.

Wir haben ein Zwischensubjekt-Design verwendet, an dem jedes Subjekt unter nur einer Bedingung teilnimmt: Unter der Bedingung V-T-Probanden führten Entfernungsschätzungstests zuerst in einem virtuellen 3D-Stadtmodell und anschließend in der Übergangsumgebung durch.

dh virtueller Replikationsraum. Unter der Bedingung, dass TV-Probanden durchgeführt wurden



die Entfernungsschätzung in der Übergangsumgebung zuerst und danach im virtuellen Stadtmodell. Um vom virtuellen Replikationsraum zum virtuellen Stadtmodell und umgekehrt zu gelangen, gingen die Probanden durch ein virtuelles Portal, das wir in diesem Experiment als schwebendes Portal angezeigt haben. Darüber hinaus führten wir einen Expositionstest durch, bei dem die Probanden Entfernungsschätzungstests in der realen Stadtumgebung durchführten, dh auf einem Parkplatz auf unserem Campus. Die Entfernungsschätzung wurde durch blindes Gehen über drei verschiedene feste Pfade der Längen 3, 5 und 7 m bewertet. Während der Testphase des Experiments wurde zu keinem Zeitpunkt eine Rückmeldung gegeben.

### 3.1.1. Verfahren

Wir haben drei verschiedene Entfernungen (3, 5 und 7 m) sowohl im virtuellen Replikationsraum als auch im virtuellen Stadtmodell getestet. Jede Entfernung wurde 6 Mal für jedes Subjekt getestet, was zu 18 Versuchen pro Umgebung führte. Die Reihenfolge der Abstände wurde randomisiert.

Das Experiment war in drei Hauptphasen unterteilt: eine Übungs-, Test- und Basisphase. Die Testphase wurde in zwei Untertestphasen mit einer dazwischen liegenden Übergangsphase unterteilt. Alle Probanden führten die Übungs-, Trainings- und Grundlinienphasen nacheinander durch.

Obwohl frühere Studien nach vorheriger Übung weder mit noch ohne Rückmeldung einen signifikanten Einfluss auf die Leistung festgestellt hatten [4] Wir beschlossen, eine Übungsphase einzuschließen, damit wir sicher sein konnten, dass die Probanden mit der Ausführung der Aufgabe zufrieden waren. Darüber hinaus wollten wir eine Verzerrung reduzieren, die durch kurzes Gehen aus Vorsicht verursacht wird. In der Übungsphase absolvierten die Probanden 5 Übungswanderungen mit visuellem Feedback zum HMD. Unter der Bedingung, dass TV-Probanden die virtuelle Replik sahen; unter der Bedingung V - T sahen sie das virtuelle Stadtmodell. In dieser Übungsphase verwendeten wir zufällige Abstände zwischen 3 und 7 m, die sich von den Abständen während der Testphase unterschieden.

Vor jedem Versuch in der Testphase wurden die Probanden angewiesen, sich an der Ausgangsposition zu positionieren. Daher haben wir die Probanden durch zwei Referenzmarkierungen auf einem ansonsten weißen Bildschirm zur Startposition geführt. Ein Marker zeigte die tatsächliche Position und Ausrichtung des Subjekts relativ zum zweiten festen Marker, der die Zielposition und -orientierung darstellte. Wenn sich die Probanden in der Startposition befanden, mussten sie eine Taste auf der Wii-Fernbedienung drücken. Dann wurde abhängig von der Bedingung entweder der virtuelle Replikationsraum (Bedingung T - V) oder das virtuelle Stadtmodell (Bedingung V - T) auf dem HMD angezeigt. In der Testphase zeigten wir den Probanden einen virtuellen Marker in der entsprechenden Entfernung (3, 5, 7 m) in zufälliger Reihenfolge. Die Probanden wurden angewiesen, die Entfernung zum Ziel zu visualisieren, zu schätzen und auswendig zu lernen. Sie konnten das Ziel so lange wie gewünscht anzeigen. Bevor die Probanden die Strecke zurücklegten, mussten sie einen Knopf auf der Wii-Fernbedienung drücken. Dann wurde der HMD-Bildschirm ausgeblendet, die Probanden wurden angewiesen, die Augen zu schließen und zu dem Ort zu gehen, an dem sie glaubten, der Zielort zu sein. Ein experimenteller Beobachter verfolgte die Ansicht des Probanden auf einem externen Display, um zu kontrollieren, dass die Probanden den Bildschirm vor dem Gehen ausgeblendet hatten.

Wenn ein Proband glaubte, das Ziel erreicht zu haben, musste er anhalten und erneut eine Taste auf der Wii-Fernbedienung drücken. Wir haben den euklidischen Abstand zwischen den Positionen des Probanden beim ersten und zweiten Tastendruck gemessen, der den Beginn und das Ende des Spaziergangs anzeigt. Daher hatte eine Abweichung von der kürzesten Route zwischen Start- und Zielmarkierung keinen Einfluss auf die geschätzte Entfernung. Anschließend führten wir das Subjekt mit Hilfe der oben beschriebenen Referenzmarkierungen wieder in die Ausgangsposition zurück. Die gezeigten Marker zwangen die Probanden, auf Umwegen zu gehen, was wir verwendeten, um das Feedback über ihre Leistung während der Testphase zu reduzieren.

Nach 18 Versuchen (6 3, 6 5, 6 7m 2), ein virtuelles Portal erschien 2,5 m vor der Startposition des Probanden in der Mitte des Raumes (siehe Abb. 2 (ein)). Wir haben das Portal in der Mitte des virtuellen Replikats angezeigt, sodass die Probanden durch das Portal gehen können

Portal ohne künstliche Bewegungskompression. Wie oben erwähnt, haben wir das Portal als Übergang zwischen dem virtuellen Replikationsraum und dem virtuellen Stadtmodell verwendet, und umgekehrt. Unter der Bedingung, dass TV-Probanden das virtuelle Stadtmodell sahen (vgl. Abb. 2 (b)), während V-T-Probanden unter der Bedingung den virtuellen Replikationsraum durch das virtuelle Portal sahen. In der Übergangsphase des Experiments führten die Probanden 6 Übergangswanderungen durch das Portal durch. Deshalb haben wir ihnen Zielmarkierungen auf dem Boden des VE in einer Entfernung zwischen 5 und 7 m gezeigt und sie angewiesen, mit geöffneten Augen zu den Markierungen zu gehen. Als die Probanden die Zielmarkierung erreichten, mussten sie einen Knopf auf der Wii-Fernbedienung drücken und wurden dann wie zuvor erläutert in die Ausgangsposition zurückgeführt. Wir haben diese Übergangswege verwendet, um die Beziehung zwischen der Übergangsumgebung und dem virtuellen Stadtmodell in Bezug auf Raum und Metrik hervorzuheben. Nach dem letzten Übergangspfad verschwand das virtuelle Portal und die Probanden befanden sich in der anderen Umgebung. Jetzt mussten die Probanden erneut 6 Testwanderungen für jede Strecke durchführen (3, 5,

In der Baseline-Phase haben wir Entfernungsschätzungstests in der realen Welt durchgeführt, um eine Baseline für die Probanden zu erhalten. Das Verfahren ähnelte den virtuellen Entfernungsschätzungstests. Die Probanden sahen Markierungen in unterschiedlichen Entfernungen auf dem Boden (3 3, 3 5, 3 7m) und musste wie in der Testphase mit verbundenen Augen gehen. Die Gesamtzeit pro Proband einschließlich Vorfragebogen, Anweisungen, Schulung, Experiment, Pausen und Nachbesprechung betrug 2 Stunden. Die Probanden durften jederzeit Pausen einlegen.

### 3.2. Ergebnisse

Abb. 5 zeigt die gemittelten Gehentfernungen für die verschiedenen Zielentfernungen, zusammengefasst über alle Themen für (a) die virtuelle Stadtumgebung und (b) die virtuelle Replik. Die grünen Kreise zeigen die Ergebnisse für die Bedingung T - V, unter der die Probanden zuerst in der Übergangsumgebung und dann im virtuellen Stadtmodell waren. Die blauen Quadrate zeigen die Ergebnisse für die Bedingung V - T, unter der die Probanden zuerst im virtuellen Stadtmodell und dann in der Übergangsumgebung waren. Die Fehlerbalken zeigen Standardfehler für jede getestete Zielentfernung. Die Ergebnisse der realen Welt zeigen, dass die Probanden beim blinden Gehen zu Zielen, die zuvor in der realen Welt gesehen wurden, ziemlich genau waren. Sie gingen durchschnittlich 2,97,

5,08 und 6,92 m für die Zielentfernungen von 3, 5 und 7 m. Dies entspricht einer Unterschätzung der Entfernung von weniger als 2%.

Abb. 5 (a) zeigt, dass das virtuelle Stadtmodell unter beiden Bedingungen eine ziemlich große Entfernungskomprimierung aufweist, die mit der Zielentfernung zunimmt. Die Ergebnisse zeigen eine etwas größere Komprimierung in der virtuellen Welt im Vergleich zu früheren Arbeiten [9]. Dies kann sowohl auf das kleine Sichtfeld des HMD als auch auf die monoskopische Betrachtungssituation zurückzuführen sein. Das Ausmaß der Komprimierung ist jedoch unter der Bedingung V - T größer, wenn sich die Probanden zuerst im virtuellen Stadtmodell befanden. Die Probanden gingen 2,13, 3,29 und

4,09 m für die 3, 5, 7 m Zielentfernungen unter dieser Bedingung. Dies entspricht Entfernungsunterschätzungen von ca. 29%, 34% und 41%. Wenn Probanden über ein Portal aus dem virtuellen Replikat in das virtuelle Stadtmodell eintreten (Bedingung T - V), ist der Entfernungskomprimierungseffekt erheblich geringer. Die Probanden gingen 2,62,

3,86 und 5,11 m für die Zielentfernungen von 3, 5, 7 m. Dies entspricht Entfernungsunterschätzungen von ca. 12%, 22% und 26%.

Abb. 5 (b) unterstützt frühere Erkenntnisse, dass Entfernungskomprimierungseffekte in einer virtuellen Umgebung reduziert werden, die eine exakte Nachbildung der realen physischen Umgebung eines Benutzers ist. In dieser virtuellen Replik haben die Probanden Entfernungen besser geschätzt als im virtuellen Stadtmodell. Wiederum scheint das Ausmaß der Unterschätzung unter der Bedingung V - T größer zu sein, wenn sich die Probanden zuerst im Modell der virtuellen Stadt befanden und dann über ein Portal in die virtuelle Replik eintraten. Die Probanden gingen

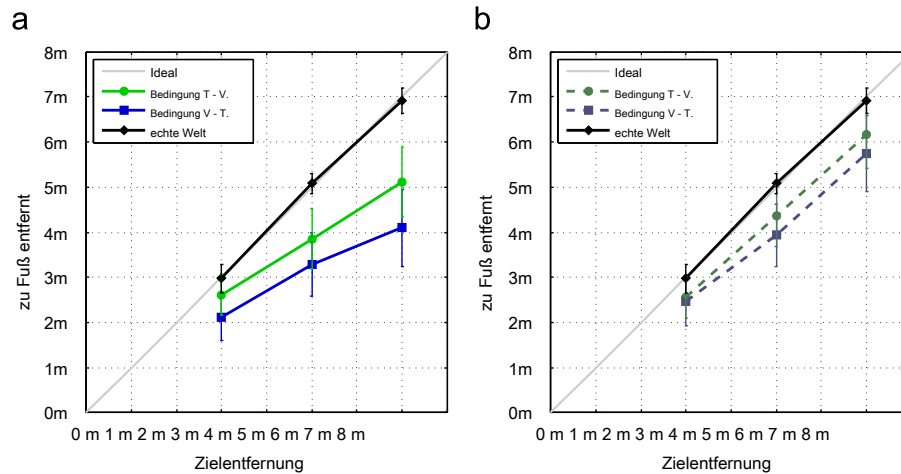


Abb. 5. Zielentfernung versus zurückgelegte Strecke unter den beiden Bedingungen (T - V und V - T) unter Verwendung gepoolter Ergebnisse aller Teilnehmer für (a) blindes Gehen im virtuellen Stadtmodell und (b) blindes Gehen in der virtuellen Replik. (a) Entfernungsschätzung in der virtuellen Stadt und (b) Entfernungsschätzung in der virtuellen Nachbildung.

2,46, 3,93 und 5,74 m für die Zielentfernungen von 3, 5, 7 m. Dies entspricht Entfernungsschätzungen von ca. 18%, 21% und 18%. Wenn die Probanden sofort in der virtuellen Replik gestartet wurden (Bedingung T - V), ist der Distanzkomprimierungseffekt geringer. Die Probanden gingen unter diesen Bedingungen 2,55, 4,36 und 6,17 m für die Zielentfernungen von 3, 5, 7 m. Dies entspricht Entfernungsschätzungen von ca. 14%, 12% und 11%.

Das Ausmaß der Entfernungskomprimierung, das in beiden virtuellen Umgebungen, dh im virtuellen Stadtmodell und im virtuellen Replikat, beobachtet wird, ist für die Bedingung T - V, unter der sich die Probanden zuerst in der Übergangsumgebung befanden, bemerkenswert geringer. Wenn Probanden zuerst eine Entfernungsschätzung im virtuellen Stadtmodell und dann in der virtuellen Replik durchführen, zeigen sie einen größeren Komprimierungseffekt im Vergleich zu den Probanden, die die Entfernungsschätzung direkt in der virtuellen Replik durchgeführt haben. Obwohl der Unterschied nicht groß ist, stellt sich die Frage, ob die Unterschätzung der virtuellen Welt auch auf eine virtuelle Replik übertragen werden kann. Dies muss jedoch in weiteren Studien untersucht werden.

Um die Auswirkungen des Lernens zu verringern, haben wir auch die Abstandsschätzung von der Phase vor dem Übergang mit der Phase nach dem Übergang verglichen. Daher haben wir die Ergebnisse von Entfernungsschätzungen aus der Gruppe T - V in der virtuellen Replik und die Schätzungen aus der Gruppe V - T im virtuellen Stadtmodell zusammengefasst und sie mit Entfernungsschätzungen aus der Gruppe T - V im virtuellen Stadtmodell verglichen. und Schätzungen aus der Gruppe V - T in der virtuellen Replik. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fähigkeiten zur Entfernungsschätzung geringfügig (4%), aber nicht signifikant zunahm.

Wir haben eine durchgeführte t-Prüfung der Mittelwerte für die Gehstrecken der Probanden unter den Bedingungen T - V und V - V. Wir fanden eine bedeutende ( $p < 0,01$ ) Erhöhung der Gehstrecken der Probanden unter der Bedingung T - V im Vergleich zu den Entfernungen, die die Probanden unter der Bedingung V - T zurücklegten. Wir konnten keine statistische Signifikanz für die Zunahme der Gehentfernungen der Probanden in der virtuellen Replik finden, als sie direkt in der virtuellen Replik begannen, im Vergleich zu den Gehentfernungen, als sie sich zuvor in der virtuellen Stadt befanden ( $0,05 > p > 0,1$ ).

#### 4. Diskussion

Die Experimente zeigen, dass die Verwendung einer Übergangsumgebung das Potenzial hat, das Präsenzgefühl eines Benutzers sowie die Fähigkeit des Benutzers, Entfernungen zu schätzen, zu erhöhen.

Selbstberichtete Kommentare von Probanden im ersten Experiment zeigen, dass ein Proband unter der Bedingung T - V, dh wenn er über eine Übergangsumgebung in das Flugzeug eingestiegen ist, stärker in das virtuelle Flugexperiment eintaucht. Wir waren überrascht über das positive Feedback zur Anwendung virtueller Portale. Der Post-Fragebogen hat gezeigt, dass die Probanden die Verwendung von Portalen wirklich bevorzugten, wodurch sie in die virtuelle Welt übertragen wurden. Wie oben erwähnt, könnte sich der stärkste Einfluss der Nutzung einer Übergangsumgebung auf die Anwesenheit der Benutzer in den subjektiven Messungen manifestieren. Selbstberichtete Kommentare von Probanden weisen darauf hin, dass sie die Verwendung einer Übergangsumgebung bevorzugten. Zum Beispiel bemerkte ein Thema:

"Nachdem ich durch das Wurmloch gelaufen und geflogen war, hatte ich wirklich das Gefühl, in eine andere Welt versetzt zu werden."

Dies war ein typischer Kommentar von Themen. Die Metapher eines Wurmlochs unterstützt ihre Vorstellung, in eine andere Welt versetzt zu werden. Einige Probanden stellten fest, dass die Akustik sehr wichtig war, als sie die Übergangsumgebung verließen und in die virtuelle Welt eintraten.

Im zweiten Experiment stellten wir fest, dass Benutzer beim Übergang von einer Übergangsumgebung in ein virtuelles Stadtmodell eine geringere Komprimierung der wahrgenommenen Entfernung zeigten als beim direkten Betreten der virtuellen Stadt. Dies legt nahe, dass Benutzer ihre Fähigkeiten zur Entfernungsschätzung aus der Übergangsumgebung, in der sie sicher sein können, dass die angezeigte VE dieselbe Umgebung darstellt, die sie physisch besetzen, auf ein virtuelles 3D-Stadtmodell übertragen können. Diese Ergebnisse wurden auch durch Kommentare der Probanden bestätigt. Vier Probanden bemerkten, dass es für sie definitiv einfacher sei, Entfernungen abzuschätzen, und dass sie es leichter fanden, sich in der VE zu orientieren. Im Allgemeinen haben die Probanden bemerkt, dass sich die Einschätzung und Leistung von Bewegungen verbessert haben, nachdem sie die Übergangsumgebung besucht hatten. Ein Thema beobachtete:

"Es war definitiv einfacher für mich, meine Bewegungen zu beurteilen, [...] als ich vorher im virtuellen Labor war."

Daher fanden wir Hinweise darauf, dass Probanden ihre Fähigkeiten zur Entfernungsschätzung von der Übergangsumgebung auf eine virtuelle Welt übertragen können. Die Kombination dieser Ergebnisse mit der Feststellung, dass Benutzer bei Verwendung einer Übergangsumgebung ein höheres Präsenzgefühl haben, lässt darauf schließen, dass das Problem der Entfernungskomprimierung in VEs möglicherweise nicht nur der Technologie inhärent ist, sondern möglicherweise auch auftritt.

auch von übergeordneten kognitiven Problemen bei der Interpretation der virtuellen Welt, in die Benutzer eingetaucht sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von Übergangsumgebungen als Ausgangspunkt für eine VR-Erfahrung ein großes Potenzial hat, da zwei Hauptprobleme von VR-Systemen angesprochen werden, nämlich die Steigerung des Präsenzgefühls eines Benutzers sowie eine verbesserte Entfernungsschätzung in virtuellen Welten.

## 5. Fazit und zukünftige Arbeit

In diesem Artikel haben wir die Auswirkungen eines allmählichen Übergangs von der realen Welt in eine virtuelle Welt auf das Gefühl der Präsenz und Entfernungsschätzung eines Benutzers in einer immersiven VR-Umgebung analysiert. Wir haben zwei Experimente durchgeführt. Im ersten Experiment fanden wir Hinweise darauf, dass die Verwendung von Übergangsumgebungen das Präsenzgefühl der Benutzer in der VE erhöht. Im zweiten Experiment haben wir Blind-Walking-Experimente durchgeführt. Die Ergebnisse legen nahe, dass Benutzer, wenn sie ihre VR-Erfahrung in einer Übergangsumgebung beginnen, ihre Fähigkeit verbessern können, Entfernungen in einem immersiven VE zu schätzen. Aus diesen Gründen glauben wir, dass eine Übergangsumgebung ein großes Potenzial hat, um das gesamte VR-Erlebnis zu verbessern. Unsere Ergebnisse stimmen mit der Annahme von Interrante et al. [9] Diese Fernwahrnehmung in einer virtuellen Umgebung könnte durch das Ausmaß beeinflusst werden, in dem eine Person bereit ist, die VE als funktional äquivalent zur realen Welt zu akzeptieren. Dies wirft die Frage auf, ob die verbesserte Entfernungsschätzung auf eine Zunahme des Präsenzgefühls des Benutzers oder, wie oben erwähnt, auf andere übergeordnete kognitive Probleme bei der Interpretation der präsentierten virtuellen Welt zurückzuführen ist.

In Zukunft werden wir uns eingehender mit diesen Fragen befassen und mehr Strategien untersuchen, um das Präsenzgefühl eines Subjekts zu stärken und die räumliche Wahrnehmung in VEs zu verbessern. Wir sind besonders an der Herausforderung interessiert, herauszufinden, ob andere Fähigkeiten, die in einer virtuellen Replik besser sind als in einer beliebigen VE, auf die virtuelle Welt übertragen werden können. Aufgrund vieler Kommentare der Probanden zu den Vorteilen virtueller Portale und ihrer überzeugenden Sensation werden wir diese Konzepte untersuchen. Im Gegensatz zur Verwendung virtueller Übergangsumgebungen könnte man auch ein physisches Modell als reale Übergangsumgebung betrachten. Zum Beispiel könnte das Labor als Wartezimmer am Gate eingerichtet werden, bevor der Benutzer den virtuellen Flug startet. Es muss untersucht werden, inwieweit dieser Ansatz, der bereits in Themenparks angewendet wird, trägt ferner zum Präsenzgefühl eines Benutzers bei. Die Ergebnisse der in diesem Artikel vorgestellten Experimente haben gezeigt, dass allmähliche Übergänge ein großes Potenzial zur Verbesserung des gesamten VR-Erlebnisses haben.

## Verweise

- [1] Banton T., Stefanucci J., Durgin F., Fass A., Profit D. Die Wahrnehmung des Gehens Geschwindigkeit in einer virtuellen Umgebung. *Presence* 2005; 14 (4): 394–406.

- [2] Bruder G, Steinicke F, Hinrichs KH. Arch-Explore: eine natürliche Benutzeroberfläche für immersive architektonische Komplettlösungen. In: *Vorträge des IEEE-Symposiums zu 3D-Benutzeroberflächen (3DUI)*. IEEE Press; 2009. p. 75–82.
- [3] Dinh-Hauptquartier, Walker N, Song C, Kobayashi A, Hodges LF. Bewertung der Bedeutung multisensorischer Eingaben in das Gedächtnis und das Gefühl der Präsenz in virtuellen Umgebungen. *Verfahren der IEEE Virtual Reality* 1999: 222.
- [4] Elliot D. Der Einfluss der Gehgeschwindigkeit und der vorherigen Übung am Bewegungsapparat Entfernungsschätzung. *Journal of Motor Behaviour* 1987; 19 (4): 476–85.
- [5] Friedman D., Brogni A., Antley A., Guger C., Antley A., Steed A. et al. Teilen und Analyse von Daten aus Anwesenheitsexperimenten. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen* 2006; 15 (5): 599–610.
- [6] Hendrix C, Barfield W. Präsenz in virtuellen Umgebungen als Funktion von visueller Anzeigeparameter. In: *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, vol. 5. MIT Press; 1996. p. 274–89.
- [7] Hodges LF, Rothbaum RO, Watson B., Kessler GD, Opdyke D. Ein virtuelles Flugzeug aus Angst vor einer fliegenden Therapie. In: *Jährliches internationales Symposium für virtuelle Realität*, 1996. p. 86–94.
- [8] IJsselstein J, de Ridder H, Freeman J, Avons SE, Bouwhuis D. Wirkungen von stereoskopischer Darstellung, Bildbewegung und Bildschirmgröße anhand subjektiver und objektiver bestätigender Präsenzmaße. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen* 2001; 3 (10): 298–311.
- [9] Interrante V, Anderson L, Ries B. Distanzwahrnehmung in immersiven virtuellen Umgebungen, überarbeitet. In: *Proceedings of Virtual Reality, IEEE*, 2006. p. 3–10.
- [10] Loomis JM, Knapp JM. Visuelle Wahrnehmung egozentrischer Distanz in real und virtuelle Umgebungen. *Virtuelle und adaptive Umgebungen*, Mahwah, 2003. [11] Meehan M, Razzaque S. Einfluss der Latenz auf die Präsenz in stressigen virtuellen Umgebungen. In: *Tagungsband der IEEE International Virtual Reality Conference*. IEEE Press; 2003. p. 141–8.
- [12] Sanchez-Vives MV, Slater M. Von der Präsenz zum Bewusstsein durch virtuelle Wirklichkeit. *Nature Reviews Neuroscience* 2005; 6: 332–9.
- [13] Slater M, Steed A. Ein virtueller Präsenzzähler. *Präsenz: Teleoperatoren und Virtual Environments* 2000; 9 (5): 413–34.
- [14] Slater M., Steed A., McCarthy J., Marinelli F. Der virtuelle Vorraum: Bewertung Präsenz durch Erwartung und Überraschung. In: *Eurographics Workshop on Virtual Environments*, 1998.
- [15] Slater M, Usoh M, Steed A. Präsenztiefe in immersiven virtuellen Umgebungen. In: *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, vol. 3; 1994. p. 130–44.
- [16] Slater M, Usoh M, Steed A. Schritte unternehmen: Der Einfluss einer wandelnden Metapher auf Präsenz in der virtuellen Realität. In: *ACM-Transaktionen zur Computer-Mensch-Interaktion (TOCHI)*, vol. 2; 1995. p. 201–19.
- [17] Ross A, Benford S., Dalton N., Greenhalgh C., MacColl I., Randell C., Schnädelbach H. Mixed-Reality-Schnittstellen zu immersiven Projektionssystemen. In: *Immersive Projektionstechnik-Workshop*, 2002.
- [18] Steinicke F., Bruder G., Hinrichs K., Lappe M., Ries B., Interrante V. Transitional Umgebungen verbessern die Fernwahrnehmung in immersiven Virtual-Reality-Systemen. In: *Tagungsband des Symposiums zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung (APGV)*; 2009. p. 19–26.
- [19] Steinicke F., Bruder G., Hinrichs K., Steed A., Gerlach AL. Macht eine schrittweise Übergang in die virtuelle Welt Präsenz erhöhen?. In: *IEEE Virtual Reality Conference (VR)*; 2009. p. 203–10.
- [20] Steinicke F., Bruder G., Jerald J., Frenz H., Lappe M. Schätzung des Nachweises Schwellenwerte für umgeleitete Gehechniken. *IEEE-Transaktion zu Visualisierung und Computergrafik (TVCG)* 2010; 16 (1): 17–27.
- [21] Uno S, Slater M. Die Empfindlichkeit der Anwesenheit gegenüber Kollisionsreaktionen. In: *Virtuell Reality Annual International Symposium (VRAIS)*, 1997. p. 95.
- [22] Usoh M., Arthur K., Whitton M., Bastos R., Steed A., Brooks F., Slater M. Das Visuelle Cliff revisited: eine virtuelle Präsenzstudie zur Fortbewegung. In: *Internationaler Workshop über Präsenz*, 2006.
- [23] Usoh M., Arthur K., Whitton M., Bastos R., Steed A., Slater M., Brooks F. Gehen 4 Walking-in-Place 4 Fliegen in virtuellen Umgebungen. In: *Internationale Konferenz über Computergrafik und interaktive Techniken (SIGGRAPH)*, ACM, 1999. p. 359–364.
- [24] Usoh M., Catena E., Arman S., Slater M. Verwenden von Präsenzfragebögen in der Realität. *Präsenz: Teleoperator in virtuellen Umgebungen* 1999; 9 (5): 497–503.
- [25] Vinayagamoorthy V., Brogni A., Gillies M., Slater M., Steed A. Eine Untersuchung von Präsenzreaktion über Variationen des visuellen Realismus hinweg. In: *7. Internationale Konferenz über Präsenz*, 2004. p. 148–155.