

Bewertung der kognitiven Auswirkungen des Reisens Technik in komplexen realen und virtuellen Umgebungen

Evan A. Suma, Studentisches Mitglied, IEEE, Samantha L. Finkelstein, Myra Reid,
Sabarish V. Babu, Mitglied, IEEE, Amy C. Ulinski, Mitglied, IEEE, und Larry F. Hodges, Mitglied, IEEE

Abstrakt - Wir berichten über eine Reihe von Experimenten, die durchgeführt wurden, um die Auswirkungen der Reisetchnik auf das Sammeln und Erkennen von Informationen in komplexen virtuellen Umgebungen zu untersuchen. Im ersten Experiment absolvierten die Teilnehmer ein nicht verzweigtes mehrstufiges 3D-Labyrinth in ihrem eigenen Tempo, wobei sie entweder reales Gehen oder eine von zwei virtuellen Reisetechiken verwendeten. Im zweiten Experiment haben wir ein reales Labyrinth mit Verzweigungspfaden konstruiert und eine identische virtuelle Umgebung modelliert. Die Teilnehmer erkundeten entweder das reale oder das virtuelle Labyrinth für eine vorbestimmte Zeitspanne mithilfe von realem Gehen oder einer virtuellen Reisetchnik. Unsere experimentellen Ergebnisse legen nahe, dass für komplexe Umgebungen, die eine große Anzahl von Windungen erfordern, Virtuelles Reisen ist ein akzeptabler Ersatz für reales Gehen, wenn das Ziel der Anwendung das Lernen oder Denken auf der Grundlage von Informationen umfasst, die in der virtuellen Welt präsentiert werden. Für Anwendungen, die eine schnelle, effiziente Navigation oder Reisen erfordern, die dem realen Verhalten sehr ähnlich sind, bietet reales Gehen Vorteile gegenüber herkömmlichen Joystick-basierten virtuellen Reisetechiken.

Indexbegriffe - Virtuelle Realität, Reisetechiken, Navigation, echtes Gehen, Benutzerstudie.



1. EINLEITUNG

Nur bei der Interaktion mit einer 3D-Benutzeroberfläche wird die motorische Komponente der Navigation in der realen Welt in der Regel ohne bewusste Anstrengung von denjenigen, die mit computergenerierten 3D-Umgebungen nicht vertraut sind, häufig Schwierigkeiten, ihren Blickwinkel zu kontrollieren, wenn sie in eine virtuelle Welt eintauchen. Daher ist die Unterstützung der natürlichen und intuitiven Navigation ein wichtiges Ziel für die Gestaltung virtueller Umgebungen. Das Navigieren durch echtes Gehen ist ein effektiver Weg, um dieses Ziel zu erreichen, aber mit diesem Ansatz sind eine Reihe von Nachteilen verbunden. Daher ist es notwendig, diese Technik mit anderen Methoden zu vergleichen, um Anwendungen zu identifizieren, bei denen die Vorteile des echten Gehens die Kompromisse rechtfertigen.

Der Gesamtprozess der Navigation in einer virtuellen Umgebung wird üblicherweise in zwei Komponenten unterteilt [1]. Die motorische Komponente der Navigation, bekannt als Reise, bezieht sich auf die physische Steuerung des Standpunkts des Benutzers in einer 3D-Umgebung. Die kognitive Komponente, bekannt als Wegfindung, beinhaltet den Prozess der Definition eines Pfades durch die Umgebung. In diesem Artikel untersuchen wir die Reise

Bestandteil der Navigation und beschreiben eine Reihe von Erfahrungen

Auswirkungen der Reisetchnik auf untersucht werden

Die Fähigkeit der Benutzer, Informationen in komplexen virtuellen Umgebungen zu sammeln und sich daran zu erinnern.

Einige Reisetechiken versuchen, die Energie und Bewegungen der körperlichen Fortbewegung zu reproduzieren. Die direkteste dieser Techniken ist echtes Gehen, Dadurch kann der Benutzer auf natürliche Weise durch den Raum gehen. Während diese Reisetechik der realen Bewegung am ähnlichsten ist, unterliegt die Größe des verfügbaren Verfolgungsbereichs der Größe der virtuellen Umgebung strengen Einschränkungen. Um diese Einschränkung zu überwinden, zu Fuß an Ort und Stelle Techniken übersetzen den Blickwinkel, wenn der Benutzer an einem stationären Ort marschiert, obwohl diese Aktion die Bewegungen des realen Gehens nicht genau reproduziert (z. B. [2], [3]). Physische Bewegungen des Gehens können auch mit mechanischen Geräten wie Laufbändern (z. B. [4]) simuliert werden.

Im Zusammenhang mit diesem Papier verweisen wir auf virtuelles Reisen Techniken für Methoden, die die Kopfverfolgung zur Orientierung mit einem anderen Gerät kombinieren, z. B. einer Joystick-Taste, um die Position des Blickwinkels zu steuern. Blickgerichtete Lenktechniken sind die einfachste und gebräuchlichste Methode, mit der der Benutzer in die Blickrichtung nach vorne verschoben wird. Als Alternativen wurden auch Pointing- und Torso-gerichtete Techniken vorgeschlagen, die die Sicht des Benutzers von der Fahrtrichtung entkoppeln [1]. Diese Techniken haben alle den Vorteil, dass sie beliebig große virtuelle Umgebungen ermöglichen, wenn ein kleiner physischer Arbeitsbereich verwendet wird, erfordern jedoch im Allgemeinen, dass der Benutzer ein zusätzliches Schnittstellengerät manipuliert.

Jüngste Fortschritte in der Weitfeld-Tracking-Technologie ermöglichen es uns, die Position und Ausrichtung eines Benutzers in Räumen zu verfolgen, die viel größer sind als die Räume mit einem Durchmesser von 1,5 bis 3 Metern, die normalerweise von elektromagnetischen Tracking-Geräten auferlegt werden [5]. Während die Fortbewegung, die ausschließlich durch echtes Gehen erreicht wird, für bestimmte Anwendungen praktisch ist, sind Widearea-Tracking-Systeme wie das Intersense IS-900 oder das

EA Suma und SL Finkelstein arbeiten am Institut für Informatik der University of North Carolina in Charlotte, 404 Woodward Hall, 9201 University City Boulevard, Charlotte, NC 28223.

E-Mail: {easuma, sfinkel1}@unc.edu.

M. Reid arbeitet am Institut für Psychologie der Universität von North Carolina in Charlotte, 404 Woodward Hall, 9201 University City Boulevard, Charlotte, NC 28223. E-Mail: mreid19@unc.edu.

SV Babu, AC Ulinski und LF Hodges arbeiten an der School of Computing der Clemson University in McAdams Hall, Clemson, SC 29634. E-Mail: {sbabu, aulinski, lf}@clemson.edu.

Manuskript erhalten am 29. März 2009; überarbeitet am 11. Juli 2009; angenommen am 29. Juli 2009; online veröffentlicht am 7. August 2009.

Empfohlen zur Annahme durch A. Steed.

Informationen zum Erhalt von Nachdrucken dieses Artikels erhalten Sie per E-Mail an: tvcg@computer.org und unter der Referenznummer IEEECS Log Number TVCG-2009-03-0069. Digitale Objektkennung Nr. 10.1109 / TVCG.2009.93.

3rdTech Hiball sind teurer als Tracker mit begrenzter Fläche, und die Kosten für diese Systeme steigen, wenn der Arbeitsbereich des Trackers erweitert wird. Darüber hinaus benötigen diese Systeme eine große Menge an leerem Raum, um dem Benutzer einen Bereich zu bieten, in dem er frei herumlaufen kann, was für Einstellungen mit begrenztem Platz unzulässig sein kann. Diese Technologie ermöglicht es uns jedoch, die relative Wirksamkeit des realen Gehens in einer immersiven virtuellen Umgebung im Gegensatz zu virtuellen Reisetechiken zu messen.

Die Bewertung verschiedener Reisetechiken in virtuellen Umgebungen ist wichtig, um die Anwendungen zu verstehen, die die Kosten- und Platzkompromisse beim realen Gehen rechtfertigen. Angesichts der grundlegenden Bedeutung der Navigation in 3D-Umgebungen sind die Auswirkungen dieser Arbeit für eine Vielzahl von Bereichen von Bedeutung. Die Notwendigkeit von Navigationsmethoden zur Unterstützung spezialisierter militärischer Anwendungen wie Infanterietraining und Taktik hat zur Entwicklung mehrerer neuartiger Fortbewegungssteuerungsmethoden geführt (z. B. [4], [6]). Insbesondere befassen wir uns mit den kognitiven Auswirkungen des Reisens, wie dem Sammeln und Lernen von Informationen. Diese Kriterien sind besonders wichtig für Anwendungen wie Bildung, Architektur, Industriedesign und Visualisierung, bei denen das Verständnis der Informationen in der Umgebung ein wesentliches Ziel des Systems ist.

Frühere Arbeiten haben gezeigt, dass reales Gehen einfacher ist und ein größeres Gefühl der Präsenz unterstützt als virtuelle Reisetechiken, die sowohl auf dem Platz als auch auf Joysticks basieren [7]. Chance et al. fanden heraus, dass das reale Gehen es den Teilnehmern ermöglichte, die Richtung zu unsichtbaren Zielobjekten von einem Terminalstandort in einem Labyrinth aus besser anzugeben als virtuelle Reisetechiken [8]. Sie berichteten auch, dass Teilnehmer, die echtes Gehen verwendeten, weniger Reisekrankheit hatten und in mentalen Karten- und grundlegenden Navigationstests höhere Werte erzielten. In einer Studie, in der versucht wurde, das Verhalten und die Leistung von Aufgaben zu charakterisieren, haben Whitton et al. fanden heraus, dass die Bewegungen beim Gehen vor Ort oder beim virtuellen Reisen nicht gut mit realen Gehbewegungen korrelieren [9]. Darüber hinaus stellten Ruddie und Lessels fest, dass echtes Gehen eine nahezu perfekte Leistung bei einer Navigationssuchaufgabe ermöglichte.

Es wurden auch Unterschiede zwischen virtuellen Reisetechiken festgestellt. Bowman et al. haben gezeigt, dass Zeigetechniken gegenüber blickgerichteten Lenktechniken vorteilhaft sind, wenn versucht wird, eine relative Entfernung und Richtung von einem Referenzpunkt aus zurückzulegen [12]. Sie berichteten auch, dass Bewegungstechniken, die Benutzer sofort an neue Orte teleportieren, mit einer erhöhten Desorientierung der Benutzer korrelieren. In einem Experiment zum Sammeln von Informationen wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen blick-, zeige- und torso-gerichteten virtuellen Reisetechiken für die von den Teilnehmern zurückgerufene Informationsmenge festgestellt [13]. Zusätzlich haben Vidal et al. verglichen die Fähigkeit, sich ein komplexes 3D-Labyrinth zu merken, wenn verschiedene Referenzrahmen für die Navigation verwendet werden,

Teilnehmer, die eine reale Umgebung erkundeten, sammelten mehr Informationen als Teilnehmer, die eine virtuelle Welt erkundeten [15]. Sie führen diesen Unterschied auf die kognitive Belastung zurück, die mit der Erforschung der virtuellen Welt mithilfe einer virtuellen Reisetechik verbunden ist. In einer Studie, die insbesondere die Reisetechik untersuchte, untersuchten Zanbaka et al. fanden heraus, dass reales Gehen signifikant höhere Punktzahlen ermöglichte als eine blickgesteuerte Steuerung kognitiver Maßnahmen, die Verständnis und Anwendung sowie die höheren mentalen Prozesse beinhalten [16]. Es ist wichtig anzumerken, dass in diesem Experiment die Erkundungsreise in einem einzelnen kleinen Raum bewertet wurde, für dessen Navigation keine komplexen Manöver erforderlich waren. Frühere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Komplexität einer Umgebung einen tiefgreifenden Einfluss auf Navigationsaufgaben hat [13] [17].

Wir haben eine Reihe von Studien durchgeführt, um die kognitiven Vorteile des echten Gehens in komplexen Umgebungen zu untersuchen. In diesem Zusammenhang bezieht sich Komplexität auf die Anzahl der Umdrehungen, die zum Navigieren durch die Struktur der Umgebung erforderlich sind, und hängt nicht mit der Menge der visuellen Details zusammen. Wir haben zwei Untersuchungsumgebungen mit zwei verschiedenen Arten von Pfaden ausgewählt: Verzweigung (mit mehreren Navigationsentscheidungspunkten) und nicht verzweigt (ohne Entscheidungspunkte). Frühere Studien haben die Anzahl der Navigationsentscheidungspunkte bei der Definition der Komplexität einer Umgebung verwendet und gezeigt, dass diese Punkte ein Unterscheidungsfaktor für die Speicherehaltung von Orientierungspunkten sind [18] [19]. Im Allgemeinen hat sich gezeigt, dass die Entscheidungsfindung eine wichtige Komponente für das Lernen in einer virtuellen Umgebung ist [20].

In Abschnitt 2 beschreiben wir das Hardware- und Software-Framework, mit dem unsere Experimente durchgeführt wurden. Als nächstes beschreiben wir in Abschnitt 3 die Ergebnisse unseres ersten Experiments, bei dem eine Navigation durch eine komplexe virtuelle Umgebung mit einem nicht verzweigten Pfad erforderlich war. Obwohl wir die Hypothese aufstellten, dass reales Gehen bei Tests des Gedächtnisses über die Umgebung eine überlegene Leistung gegenüber zwei virtuellen Reisetechiken ermöglichen würde, wurden bei diesen Maßnahmen keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Vorläufige Ergebnisse dieser Studie wurden bereits 2007 auf dem IEEE-Symposium für 3DUser-Schnittstellen veröffentlicht [21]. In Abschnitt 4 berichten wir über ein neues Experiment, bei dem mit zwei verschiedenen Reisetechiken durch ein komplexes Labyrinth mit verzweigten Pfaden in der realen Welt oder in einer virtuellen Umgebung navigiert werden musste. Dieses Experiment wurde durchgeführt, um Erklärungen für das Fehlen signifikanter Unterschiede in der ersten Studie zu identifizieren und die kognitiven Auswirkungen der Reisetechik auf das Gedächtnis, das Verständnis und das Denken sowie die Ähnlichkeit der Bewegung mit dem realen Verhalten weiter zu untersuchen. In Abschnitt 5 diskutieren wir die Auswirkungen unserer Ergebnisse auf beide Experimente und schließen die Arbeit ab.

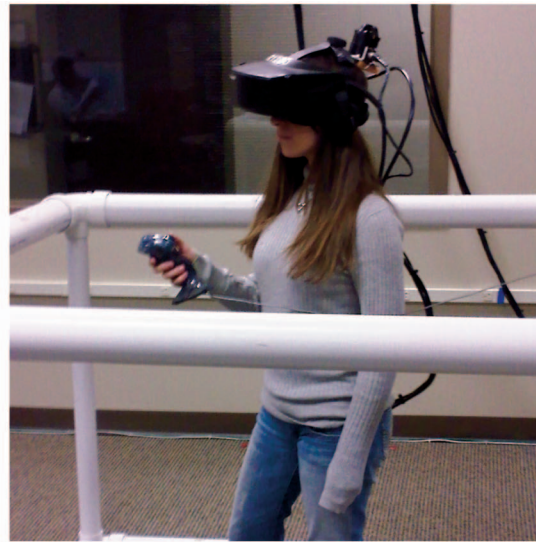
2 E. XPERIMENT F. RAMEWORK

Um die Unterschiede zwischen realem Gehen und gängigen virtuellen Reisetechiken zu vergleichen, haben wir ein Framework entwickelt, mit dem Experimente mit verschiedenen Reisetechiken durchgeführt werden können. Wir haben diesen Rahmen genutzt, um alle in diesem Artikel beschriebenen Studien durchzuführen.

Studien haben zuvor auch Reisen und Kognition in virtuellen Umgebungen untersucht. Jeong et al. festgestellt, dass



(a)



(b)

Abb. 1. (a) Bei Verwendung der realen Gehtechnik können die Teilnehmer auf natürliche Weise im Raum herumlaufen. (b) Bei Verwendung einer virtuellen Reisetchnik ist die physische Bewegung eingeschränkt und das Reisen wird mit einem Handgerät durchgeführt.

2.1 Ausrüstung

Für die Anzeige virtueller Umgebungen verwendeten wir das am Kopf montierte Virtual Research VR1280-Display, das stereoskopische Grafiken mit einem diagonalen Sichtfeld von 60 Grad und Stereoton bietet. Jedes Auge wurde mit einer Auflösung von gerendert 1280 1024 bei 60 Hz. Wir haben alle Experimente mit einem Dell Pentium 4 3,0-GHz-PC unter Windows XP mit 1 GB RAM durchgeführt. Für die ersten Experimente verwendeten wir eine NVIDIA Geforce 6800-Grafikkarte - diese wurde für das letzte Experiment auf eine Geforce 7950 GTX aktualisiert.

Kopfposition und -orientierung wurden mit dem Weitwinkel-Tracking-System 3rdTech Hiball 3100 erfasst. Dieses Gerät verwendet optische Verfolgung, um hochgenaue Messungen mit sechs Freiheitsgraden bereitzustellen. Die Gesamtfläche, die von unserem System erfasst wurde, betrug 14 m².

16 m. Die an angeschlossenen Kabel

Das am Kopf montierte Display wurde an der Decke montiert, und ein Assistent war anwesend, um die Kabel zu führen, um ein Verwickeln zu verhindern, während der Teilnehmer herum lief.

2.2 Software

Virtuelle Umgebungen wurden mit der 3D GameStudio A6-Engine erstellt, die Tools zur Umgebungsmodellierung, 3D-Rendering, Sound, Ereignisskripterstellung und Kollisionserkennung bereitstellte. Add-On-Module wurden in C++ geschrieben, um die Engine in das Virtual Reality Peripheral Network zu integrieren, was die Netzwerkkommunikation mit dem Tracking-System erleichterte [22]. Grafiken wurden in Software mit ungefähr 55-60 Bildern pro Sekunde gerendert; 32-Bit-räumlicher 3D-Sound wurde unter Verwendung einer Abtastrate von 44100 Hz bereitgestellt. Die Kollisionserkennung verhinderte, dass sich der virtuelle Ansichtspunkt durch Wände bewegte, und im Falle einer Kollision wurde ein Audiosummer abgespielt, um den Benutzer zu warnen.

2.3 Versuchsaufbau

Teilnehmer, die die echte Gehtechnik verwendeten, durften auf natürliche Weise durch den Verfolgungsraum gehen, wobei die Position und Ausrichtung ihres Blickwinkels direkt vom Verfolger aus kartiert wurde (Abb. 1a). Teilnehmer, die virtuelle Reisetchniken verwendeten, waren in ihrer

körperliche Bewegungen von 4 m² Gehäuse gebaut aus PVC-Rohr (Abb. 1b). Dieses Gehege zwang die Teilnehmer, die virtuelle Reisetchnik zur Fortbewegung zu verwenden und gleichzeitig eine begrenzte körperliche Bewegung zum Manövrieren zuzulassen. Um eine Bewegung auszulösen und die Geschwindigkeit anzupassen, wurden ein oder zwei Handgeräte verwendet (Einzelheiten finden Sie in den Abschnitten zu jedem einzelnen Experiment). Bei Verwendung der virtuellen Fahrt wurde auf der rechten Seite des HMD-Bildschirms ein vertikaler Balken angezeigt. Dies wurde durchgeführt, um eine visuelle Rückmeldung der aktuell ausgewählten Bewegungsgeschwindigkeit bereitzustellen, um Versuch und Irrtum beim Einstellen der Geschwindigkeit zu reduzieren.

3 EXPERIMENT 1: MULTILEVEL 3D MAZE

Für dieses Experiment haben wir eine virtuelle Umgebung modelliert, die in Bezug auf Navigation und Struktur größer und komplexer war als in früheren Studien zu Reisetchnik und Kognition (z. B. [16]). Wir haben diese Umgebung verwendet, um eine Benutzerstudie mit drei verschiedenen Fortbewegungsmethoden durchzuführen, um festzustellen, ob reales Gehen bei schwierigen Navigationsaufgaben Vorteile gegenüber virtuellen Reisetchniken bietet.

3.1 Virtuelle Umgebung

Die Versuchsumgebung wurde als 3D-Labyrinth mit zwei Ebenen entworfen, sodass wir die Fläche der Umgebung (448 Quadratfuß) verdoppeln können, während wir uns noch an unsere physischen Grenzen anpassen (Abb. 2). Die Dimensionen der Umgebung wurden genau auf unsere Bedürfnisse zugeschnitten 14 m².

16 m Verfolgung

Bereich, so dass 6-Zoll-Ränder um den Umfang des Bereichs verbleiben, um Kollisionen mit der physischen Umgebung zu vermeiden. Abb. 3 zeigt einen beispielhaften Screenshot der virtuellen Umgebung.

Der Weg durch das Labyrinth war linear; Es gab keine verzweigten Gänge. Am Ende des Weges im ersten Stock erreichte der Teilnehmer eine Sackgasse mit einem Aufzug, der in den zweiten Stock führte. Am Ende des Weges im zweiten Stock zeichnete die Simulation die Fertigstellungszeit des Labyrinths auf. Eine Sammlung von 18 Objekten wurde platziert

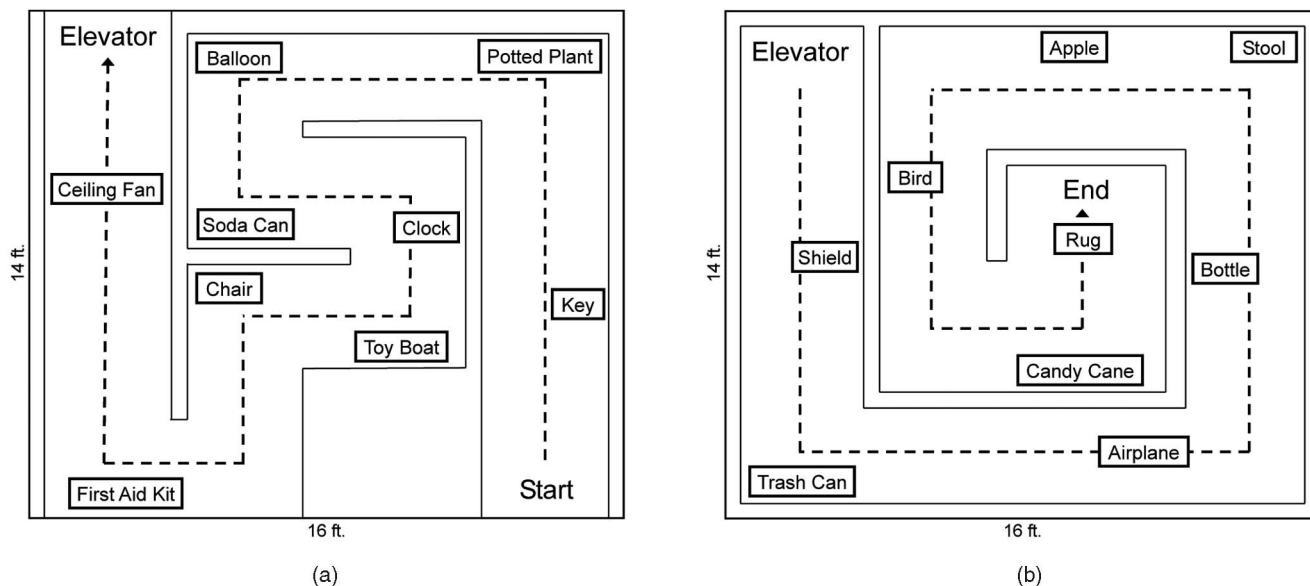


Abb. 2. (a) Die Teilnehmer navigierten durch den ersten Stock der Umgebung, bis sie einen Aufzug erreichten, der sie in den zweiten Stock führte. (b) Nachdem die Teilnehmer dem Pfad im zweiten Stock gefolgt waren, erreichten sie das Ende des Labyrinths.

in der gesamten Umgebung, einschließlich vieler Alltagsgegenstände wie einer Uhr, einer Topfpflanze und einem Spielzeugflugzeug. Die Objekte wurden gleichmäßig auf drei Höhenbereiche verteilt:

- Niedrig: Objekte wurden auf den Boden oder an die Basis der Wand gestellt.
- Mittel: Objekte wurden ungefähr auf halber Strecke zwischen Boden und Decke an der Wand platziert.
- Hoch: Objekte wurden an der Decke oder an der Wand neben der Decke platziert.

3.2 Versuchsaufbau

Die Studie verwendete ein Zwischensubjektdesign mit Teilnehmern, die zufällig einer der folgenden drei Bedingungen zugeordnet wurden:

1. Echtes Gehen (RW): Die Teilnehmer durften auf natürliche Weise durch das Gebiet laufen, wobei ihre physische Position und Ausrichtung direkt auf ihre Position und Ausrichtung in der virtuellen Umgebung abgebildet wurden.

2. Moving-Where-Looking (MWL): Teilnehmer verwendet

ein Handabzug, um sich in die Richtung vorwärts zu bewegen, die von ihrem Blick bestimmt wird.

3. Moving-Where-Pointing (MWP): Teilnehmer verwendet

der Auslöser, um sich in die Richtung vorwärts zu bewegen, die von einem am Handgerät montierten Tracker bestimmt wird.

Für die virtuellen Reisebedingungen (MWL und MWP) wurde die Fahrt mit einem tragbaren Hibal-Joystick durchgeführt in der dominanten Hand gehalten. Wenn der Teilnehmer die Auslösetaste drückte, wurde die Ansicht in der virtuellen Umgebung in die entsprechende Richtung vorwärts verschoben. Zusätzlich wurde nur im MWP-Zustand ein Pfeil auf dem Bildschirm an der Position und Ausrichtung der Hand des Benutzers gerendert. Da sich die Teilnehmer unter realen Gehbedingungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen konnten, war es unter den virtuellen Fahrbedingungen erforderlich, eine Geschwindigkeitssteuerung bereitzustellen. Das Handheld-Tracker-Gerät unterstützte keine zusätzlichen Steuerelemente zum Einstellen der Geschwindigkeit, daher haben wir der nicht dominanten Hand einen PC Ally Airstick hinzugefügt. Der Teilnehmer betätigte einen Daumen-Joystick an diesem Gerät, der als Gas fungierte und in einem Bereich von 0 bis 3 Metern pro Sekunde steuerbar war.

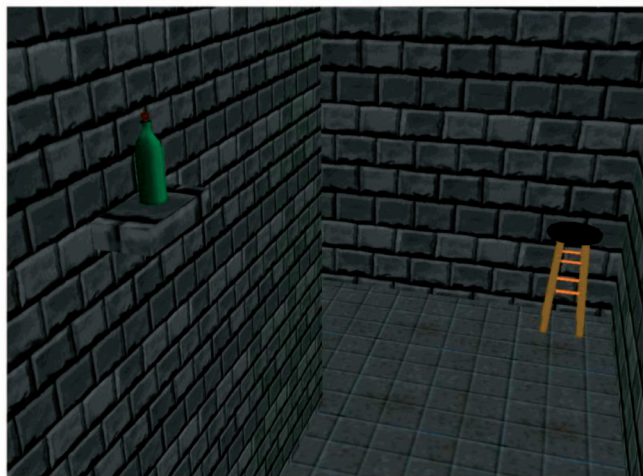


Abb. 3. Ein Screenshot der in Experiment 1 verwendeten virtuellen Umgebung.

Wir stellten die Hypothese auf, dass Teilnehmer, die die reale Gehtechnik verwenden, bei Tests über die Struktur und den Inhalt der Umgebung eine überlegene Leistung gegenüber virtuellen Reisetechiken aufweisen würden. Darüber hinaus erwarteten wir, dass echtes Gehen eine schnellere Fertigstellung des Labyrinths mit weniger Kollisionen mit den Wänden der Umgebung ermöglichen würde.

3.3 Maßnahmen

3.3.1 Simulatorkrankheit

Die Simulatorkrankheit wurde mit dem KennedyLane Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) gemessen [23]. Der Fragebogen wurde unmittelbar vor und nach der Virtual-Reality-Sitzung verwaltet.

3.3.2 Räumliche Fähigkeit

Die Teilnehmer wurden unter Verwendung der Guilford-Zimmerman-Eignungserhebung Teil 5: Räumliche Orientierung [24] auf räumliche Fähigkeiten vorab getestet. Der Test bestand aus 60 Fragen zur räumlichen Position und Orientierung mit einem maximalen Zeitlimit von 10 Minuten.

3.3.3 Objektrückruf

Die Teilnehmer wurden gebeten, so viele Objekte, wie sie sich aus der Umgebung erinnern konnten, auf einem Blatt Papier aufzulisten. Die Anzahl der aufgelisteten korrekten Objekte wurde summiert, um eine Punktzahl von 0 bis 18 zu erhalten, wobei höhere Zahlen einer besseren Leistung entsprechen. Die Teilnehmer hatten bis zu 5 Minuten Zeit, um diesen Test abzuschließen.

3.3.4 Objekterkennung

Die Teilnehmer erhielten eine Liste mit 36 Objekten, bestehend aus 18 Objekten in der Umgebung und 18 Objekten, die sich nicht in der Umgebung befinden. Die Reihenfolge der Objekte wurde randomisiert. Der Teilnehmer wurde angewiesen, das Objekt mit einem „Y“ zu markieren, wenn er glaubte, dass das Objekt in der Umgebung vorhanden war, oder mit einem „N“, wenn er glaubte, dass das Objekt nicht vorhanden war. Die Anzahl der falsch positiven Ergebnisse wurde von der Anzahl der richtigen wahr positiven Ergebnisse abgezogen, was eine Endpunktzahl zwischen 0 und 18 ergab, wobei höhere Zahlen einer besseren Leistung entsprachen. Die Teilnehmer hatten bis zu 8 Minuten Zeit, um diesen Test abzuschließen.

3.3.5 Skizzenkarten

Die Teilnehmer erhielten zwei leere Blätter und wurden angewiesen, zwei Top-Down-Karten der Umgebung zu skizzieren (eine für jede Etage). Sie hatten bis zu 5 Minuten Zeit, um diesen Test abzuschließen.

Die Karten wurden unabhängig voneinander von drei Gradern bewertet, die für den Zustand der Teilnehmer blind waren. Jeder Karte wurde eine Gütebewertung auf einer Skala von 1 (schlecht) bis 5 (ausgezeichnet) zugewiesen, ähnlich wie in [16] und [25]. Die Grader wurden angewiesen, die Karten anhand eines subjektiven Vergleichs der Labyrinthstruktur mit einer korrekten Karte der Umgebung zu bewerten. Die visuelle Qualität der Karte und die Zeichenfähigkeit des Motivs wurden ignoriert.

3.3.6 Objektplatzierung

Die Teilnehmer erhielten zwei vollständige Karten der Umgebung (eine für jede Etage) und eine Liste aller in der Umgebung vorhandenen Objekte. Die Liste der Objekte wurde fortlaufend nummeriert und zufällig sortiert. Die Teilnehmer wurden angewiesen, die Nummer des Objekts an der Stelle auf die Karte zu schreiben, an der sie glaubten, dass es in der Umgebung vorhanden ist. Sie mussten nicht jedes Objekt auf der Karte markieren. Ein konsistenter Grader bewertete die Karten, um die Anzahl der korrekt platzierten Objekte zu bestimmen. Da die Standorte jedoch möglicherweise ungenau sind, musste der Grader in bestimmten Fällen ein Urteil fällen. Die Anzahl der korrekt auf der Karte platzierten Objekte wurde summiert, um eine Punktzahl zwischen 0 und 18 zu erhalten, wobei höhere Zahlen einer besseren Leistung entsprechen. Die Teilnehmer hatten bis zu 10 Minuten Zeit, um diesen Test abzuschließen.

3.3.7 Versuchsdaten

Das System protokollierte automatisch die Zeit, die jeder Teilnehmer für die Fertigstellung des Labyrinths benötigte, sowie die Anzahl der Teilnehmer

Kollisionen mit den Wänden der Umwelt. Die Teilnehmer

Die Position und Ausrichtung der Hose an jedem Rahmen wurde ebenfalls vom System aufgezeichnet.

3.4 Versuchsablauf

Die Sitzungen vor, nach und nach dem Experiment dauerten für jeden Teilnehmer ungefähr eine Stunde.

3.4.1 Vorversuch

Der Teilnehmer erhielt ein Informationsblatt, in dem das im Experiment verwendete Verfahren und die Tests aufgeführt waren. Es wurden nur minimale Details angegeben, damit der Teilnehmer wusste, dass beim Testen sowohl Karten- als auch Objektinformationen aus einer virtuellen Umgebung gespeichert werden müssen. Die Versuchshypothesen wurden jedoch nicht offenbart. Nach der Unterzeichnung des Einverständniserklärungsformulars hatte der Teilnehmer die Möglichkeit, Fragen zu stellen. Der Teilnehmer absolvierte dann unmittelbar vor der Expertensitzung den räumlichen Fähigkeitstest, gefolgt von einem Simulatorkrankheitstest.

3.4.2 Experimentierstunde

Der Teilnehmer wurde in den Versuchsbereich des Labors geführt und in die Ausrüstung eingeführt. Der Experimentator gab Anweisungen, um das Labyrinth von Anfang bis Ende zu erkunden, und informierte den Teilnehmer, dass nach Abschluss des Labyrinths mehrere Nachprüfungen des Layouts des Labyrinths und der Objekte in der Umgebung durchgeführt würden. Nachdem der Teilnehmer die Möglichkeit hatte, Fragen zu stellen, stattete der Experimentator den Teilnehmer mit dem Headmounted-Display und den Handheld-Controllern aus (für die MWL- und MWP-Bedingungen).

Vor dem Betreten der Versuchsumgebung erhielt der Teilnehmer eine Schulungssitzung, in der die Kontrollen und die Ausrüstung erklärt wurden. Der Teilnehmer wurde dann ungefähr eine Minute lang in eine Trainingsumgebung eingetaucht und erhielt eine einfache Bewegungsaufgabe, die das Hin- und Herbewegen zwischen verschiedenen Objekten in einem Raum erforderte. Schließlich erhielt der Teilnehmer eine weitere Gelegenheit, Fragen zu stellen.

Als der Teilnehmer bereit war zu beginnen, wurde die Versuchsumgebung geladen und der Teilnehmer wurde angewiesen, das Labyrinth bis zum Ende zu erkunden, wobei er während der Erkundung auf die Umgebung achtete. Jeder Teilnehmer wurde angewiesen, das Labyrinth in seinem eigenen Tempo zu vervollständigen, und erhielt keine zeitliche Begrenzung. Die Versuchssitzung wurde beendet, als das Ende des Labyrinths erreicht war.

3.4.3 Nach dem Experiment

Unmittelbar nach Abschluss des Labyrinths füllte der Teilnehmer den Post-Test für Simulatorkrankheit aus. Anschließend wurden vier Nachuntersuchungen in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:

1. Objektrückruf,
2. Objekterkennung,
3. Karten skizzieren und
4. Objektplatzierung.

Nach Abschluss aller Tests wurde der Teilnehmer einer Nachbesprechung unterzogen und erhielt die letzte Gelegenheit, Fragen zu stellen oder Kommentare abzugeben.

3.4.4 Teilnehmerinformationen

Die Teilnehmer wurden aus Informatikkursen, Flugblättern und Mundpropaganda rekrutiert und mussten ein normales oder normales Sehvermögen haben und in der Lage sein, sich in schriftlichem Englisch zu verständigen.

Anfänglich beendeten insgesamt 49 Teilnehmer dieses Experiment mit 17 im RW-Zustand, 17 im MWL-Zustand und 15 im MWP-Zustand (2 Teilnehmer wurden aufgrund unvollständiger Daten und technischer Fehler bei der Datenerfassung eliminiert). Wir haben festgestellt, dass 20 Teilnehmer dieser ersten Studie beim räumlichen Fähigkeitstest sehr schlecht (weniger als 5) abschnitten. Darüber hinaus war die Verteilung dieser Scores unter den Bedingungen sehr ungleichmäßig, wobei 1 in der RW-Bedingung, 9 in der MWL-Bedingung und 10 in der MWP-Bedingung lag. Die Ergebnisse dieser ersten Studie sind in [21] aufgeführt.

Um die Probleme zu beheben, die wir bei den räumlichen Fähigkeiten beobachtet haben, haben wir ein Follow-up mit einer zweiten Runde von Teilnehmern durchgeführt. Da die räumliche Fähigkeitsverteilung anzeigt, dass eine Gruppe einen Vorteil gegenüber einer anderen in Bezug auf die räumliche Ausrichtung hatte, verwirrt dies die Interpretation unserer Ergebnisse, insbesondere da die Gruppe mit höherer räumlicher Fähigkeit (RW-Bedingung) bei mehreren Maßnahmen eine bessere Leistung erbrachte. Wir haben die Teilnehmer mit sehr niedrigen Punktzahlen beim räumlichen Fähigkeitstest aus unserem Datensatz ausgeschlossen und durch neue Teilnehmer ersetzt. Insgesamt 22 Teilnehmer wurden der Studie hinzugefügt und wie folgt verteilt: 1 im RW-Zustand; 9 im MWL-Zustand; und 12 im MWP-Zustand. Als Einschlusskriterium war eine Bewertung von mehr als 5 für den räumlichen Fähigkeitstest erforderlich. Während des Experiments Nur zwei Teilnehmer erfüllten dieses Einschlusskriterium nicht und wurden ersetzt. Somit umfassen die korrigierten Ergebnisse, die in diesem Papier berichtet werden, insgesamt 51 Teilnehmer mit 17 in jeder Bedingung.

3.5 Ergebnisse

Sofern nicht anders angegeben, wurden die Ergebnisse für jeden Test mit einer

Einweg-Varianzanalyse zwischen Probanden behandelt (A. ¼ NOVA) über alle Bedingungen mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse dieses Experiments.

3.5.1 Simulatorkrankheit

Während der vorläufigen Analyse identifizierten wir einen Ausreißer im MWP-Zustand, der sowohl vor als auch nach der Exposition gegenüber der virtuellen Umgebung sehr hohe SSQ-Werte meldete. Dies weist darauf hin, dass sich der Teilnehmer krank fühlte, und deshalb haben wir diese Ergebnisse aus dieser Analyse entfernt. EIN 2 3 Es wurde eine gemischte ANOVA durchgeführt, bei der der Effekt des SSQ-Scores innerhalb der Probanden vor und nach der Expertensitzung und der Effekt der Reisetchnik zwischen den Probanden getestet wurden. Die Analyse ergab eine nicht signifikante Wechselwirkung, $F(2, 47) = 0.14$;

$p = .871$. Der Haupteffekt für den SSQ-Score war nicht signifikant, $F(2, 47) = 1.27$; $p = .265$, noch war der Haupteffekt für die Reisetchnik, $F(2, 47) = 0.87$; $p = .427$. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die gemeldete Simulatorkrankheit gegenüber zuvor nicht signifikant geändert hat ($M = 11.74$; $SD = 12.51$) nach Exposition gegenüber der virtuellen Umgebung ($M = 14.21$; $SD = 14.08$). Darüber hinaus variierte das Ausmaß der Simulatorkrankheit nicht zwischen den verschiedenen Reisetchniken.

3.5.2 Räumliche Fähigkeit

Die ANOVA war nicht signifikant, $F(2, 48) = 1.10$; $p = .342$.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Ergebnisse der räumlichen Fähigkeit vor dem Test unter allen Bedingungen gleichmäßig waren. Somit können wir aus unseren Endergebnissen sicherere Schlussfolgerungen ziehen als aus unserer ersten Teilnehmerrunde.

TABELLE 1

Mittlere Ergebnisse aus Experiment 1

	RW	MWL	MWP
Object Recall	7.94 (44%)	8.12 (45%)	7.35 (41%)
Object Recognition	9.50 (53%)	9.88 (55%)	8.81 (49%)
Object Placement	3.94 (22%)	3.29 (18%)	2.71 (15%)
Sketch Maps (1-5)	2.95	2.79	2.37
Time (sec.)*	104.80	134.58	184.51
Collisions*	.24	.82	2.35

*test was significant at $\alpha = .05$ level

3.5.3 Nachprüfungen

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reisetechiken für den Objektrückruf gefunden. $F(2, 48) = 0.43$; $p = .651$, oder Objekterkennung, $F(2, 48) = 0.40$; $p = .674$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Reisetchnik die Fähigkeit zum Abrufen oder Erkennen von Informationen aus einer virtuellen Umgebung nicht zu beeinflussen scheint. In ähnlicher Weise wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reisetechiken für Skizzenkarten gefunden.

$F(2, 48) = 2.02$; $p = .144$, oder Objektplatzierung, $F(2, 48) = 1.21$; $p = .308$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Reisetchnik die Fähigkeit zum Skizzieren des Labyrinthlayouts oder zum Beschriften von Objektpositionen nicht positiv oder negativ beeinflusst hat.

3.5.4 Experimentelle Daten

Während der Experimentsitzung folgten zwei Teilnehmer (einer im RW-Zustand und einer im MWL-Zustand) keinem direkten Weg durch das Labyrinth. Stattdessen drehten sie sich um und gingen mehrmals durch das Labyrinth hin und her. Da ihre Ergebnisse nicht genau die Zeit widerspiegeln, die zum Fertigstellen des Labyrinths benötigt wird, haben wir diese Ergebnisse aus unserer Analyse der Fertigstellungszeiten entfernt. Die ANOVA war signifikant, $F(2, 46) = 12.97$;

$p = .001$. Post-hoc-Analyse mit dem Tukey-HSD-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen dem MWP-Zustand und dem RW ($p = .001$) und MWL-Bedingungen, $p = .008$.

Die RW- und MWL-Bedingungen waren nicht signifikant unterschiedlich, $p = .165$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die realen Geh- und Blicktechniken es einem Teilnehmer ermöglichen, eine Aufgabe, die das Reisen in der Umgebung umfasst, effizienter als die Zeigetechnik zu erledigen.

Die Ergebnisse für die Anzahl der Kollisionen waren signifikant, $F(2, 48) = 8.75$; $p = .001$. Die Post-Hoc-Analyse mit dem Tukey-HSD-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen dem MWP-Zustand und dem RW ($p = .001$) und MWL-Bedingungen, $p = .014$. Die RW- und MWL-Bedingungen waren nicht signifikant unterschiedlich, $p = .503$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die realen Geh- und Blicktechniken es einem Teilnehmer ermöglichen, die Umgebung mit weniger Kollisionen mit der virtuellen Geometrie als mit der Zeigetechnik zu erkunden.

3.6 Diskussion

Teilnehmer, die die Techniken des echten Gehens und des Bewegens verwendeten, waren bei keinem unserer Post-Tests schlechter als diejenigen, die die Technik des Bewegens des Zeigens verwendeten, aber die Umgebung in kürzerer Zeit und mit weniger Kollisionen mit der Umgebung absolvierten. Dies deutet darauf hin, dass in komplexen 3D-Umgebungen, in denen die Erkundung im eigenen Tempo erfolgt, die Moving-Where-Pointing-Technik eine weniger effiziente Reisemethode bietet. Zusätzlich reduzierten die echten Geh- und Bewegungstechniken die Anzahl

von Kollisionen mit virtuellen Wänden der Umgebung, was darauf hinweist, dass diese Technik für Anwendungen vorteilhaft sein könnte, bei denen es wichtig ist, ein hohes Maß an Eintauchen aufrechtzuerhalten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Technik des Bewegens und Zeigens komplizierter ist als die beiden anderen Techniken und möglicherweise mehr Training erfordert, um kompetent zu werden. Daher sind diese Ergebnisse möglicherweise nur auf Situationen anwendbar, in denen davon ausgegangen werden kann, dass Benutzer nur minimale Schulungen absolviert haben.

Wir haben keine statistisch signifikanten Unterschiede beim Abrufen oder Erkennen von Objekten, beim Skizzieren von Karten oder beim Platzieren von Objekten in der Umgebung festgestellt, die wir ursprünglich aufgrund früherer Studien kleinerer Umgebungen erwartet hatten, die einfacher zu navigieren waren. Es ist möglich, dass die erhöhte kognitive Belastung, die zum Navigieren in komplexen virtuellen Umgebungen erforderlich ist, das Lernen unabhängig von der Reisetchnik behindert. Eine weitere mögliche Erklärung liegt jedoch in der Beobachtung, dass Teilnehmer, die virtuelle Reisebedingungen nutzen, mehr Zeit für die Fertigstellung des Labyrinths benötigt haben. Obwohl die Navigation schwieriger zu sein schien, waren diese Teilnehmer den Inhalten der Umgebung stärker ausgesetzt. Wir haben versucht, diese und andere Fragen in Experiment 2 zu beantworten.

4 EXPERIMENT 2: REAL GEGEN VIRTUELL

In Anbetracht des Fehlens signifikanter Unterschiede im Experiment 1 führten wir ein neues Experiment durch, um die Beziehung zwischen Reisetchnik und Kognition weiter zu untersuchen. Wir haben ein komplexes Labyrinth mit verzweigten Pfaden in unserem Verfolgungsbereich erstellt, das es uns ermöglichte, die Navigation in der realen Welt mit einer identischen virtuellen Umgebung zu vergleichen, indem wir entweder reales Gehen oder virtuelles Reisen verwendeten. Die reale Bedingung bietet einen Basisvergleich, um zu beurteilen, ob nicht signifikante Ergebnisse auf allgemeine Aufgabenschwierigkeiten oder auf Bedingungen zurückzuführen sind, die für die virtuelle Umgebung spezifisch sind. Darüber hinaus bietet dieses Experiment die Möglichkeit, Bewegungsstatistiken und Benutzererfahrungsdaten mit der Erkundung in der realen Welt zu vergleichen. Reales Gehen wird normalerweise als realistischer angesehen als virtuelle Reisetchniken.

Im Gegensatz zu Experiment 1 haben wir die Umgebungen mit Verzweigungspfaden entworfen und sichergestellt, dass alle Teilnehmer die Umgebung für dieselbe Zeitspanne erkundeten, was zu einer gleichen Belichtung führte. Frühere Forscher haben auch herausgefunden, dass das Hinzufügen von multisensorischen Eingaben wie Audio zu einer virtuellen Umgebung das Gefühl der Präsenz und des Gedächtnisses der Umgebung erhöhen kann [26]. Daher haben wir diese Studie so konzipiert, dass sie sowohl visuelle als auch auditive Informationen enthält. Zusätzlich zu Gedächtnistests haben wir auch Erkenntnismaße in Bezug auf Wissen, Verständnis und Argumentation aufgenommen.

4.1 Versuchsumgebungen

4.1.1 Labyrinthdesign

Das Labyrinth wurde als geschlossene Umgebung ohne Ausgang konzipiert. Säulen wurden im gesamten Raum als Barrieren platziert, wodurch ein komplexer Raum geschaffen wurde, in dem der Benutzer während der Erkundung des Raums um Hindernisse herum navigieren musste 14

16 rechteckiger Verfolgungsbereich.

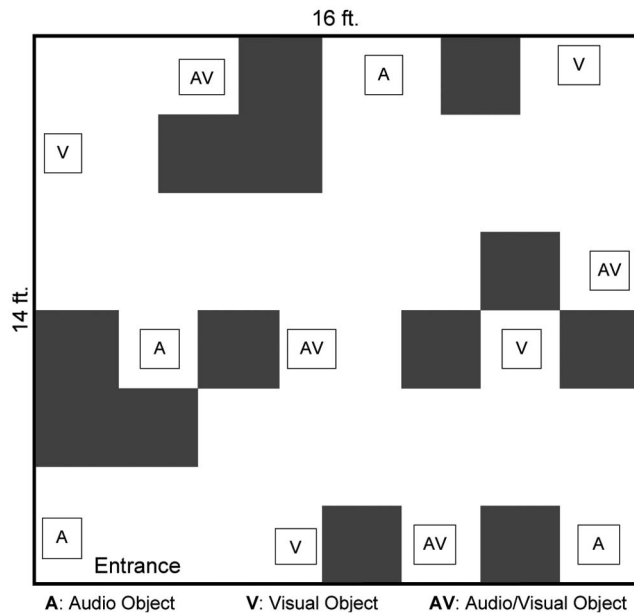


Abb. 4. Eine Karte des Labyrinth-Layouts, mit dem die in Experiment 2 verwendete reale Welt und virtuelle Umgebung erstellt wurden. Dunkle Bereiche stellen Barrieren dar, durch die der Benutzer navigieren musste. Jedes Feld gibt die Position eines Objekts an.

Insgesamt wurden 12 Objekte in der gesamten platziert Umgebung, gleichmäßig zwischen Standorten mit hoher und niedriger Höhe aufgeteilt. Hohe Objekte befanden sich im Stehen ungefähr auf Augenhöhe; niedrige Gegenstände wurden in Bodennähe platziert. Wir haben die Objekte gleichmäßig auf drei Typen aufgeteilt:

- Visuell (V): An einer Wand oder Säule befestigte Bilder (z. B. eine Palme),
- Audio (A): Geräusche an festen Positionen in der Umgebung (z. B. zwitschernde Vögel),
- Audio / Video (AV): Bilder mit einem konzeptionell abgestimmten Ton am selben Ort (z. B. eine Geburtstagstorte mit Stimmen, die „Überraschung“ schreien).

Fig. 4 zeigt den Aufbau des Labyrinths und die Positionen von Objekten.

4.1.2 Labyrinthbau

Für das reale Labyrinth wurde ein Rahmen um die Grenzen des Verfolgungsbereichs aus PVC-Rohren konstruiert. Um diesen Rahmen wurden blaue Planen gespannt, um Wände um den Bereich herum zu schaffen, die den geschlossenen Raum bilden. Barrieren wurden durch Stapeln geschaffen 20

20 Pappkartons zu bilden a 20

20 60 Turm, der unten beschwert wurde. Fig. 5 zeigt einen Teilnehmer, der das Labyrinth erkundet.

Der räumliche 3D-Sound wurde mit hochwertigen Stereokopfhörern bereitgestellt. Wir haben uns für die Verwendung von Kopfhörern in der realen Welt entschieden, um das Audioerlebnis in der virtuellen Umgebung genau anzupassen und Hintergrundgeräusche zu reduzieren. Der Tracker wurde oben am Kopfhörerband angebracht, um den Blickwinkel bereitzustellen und die Bewegungen des Teilnehmers zum Vergleich mit den Bedingungen der virtuellen Umgebung aufzuzeichnen. Die Kabel für Kopfhörer und Tracker wurden an der Decke in der Mitte der Umgebung befestigt, wodurch das Kabelsalat verringert wurde. Der Radius zum Auslösen eines Tons betrug ungefähr 2,5 Fuß, aber die Lautstärke wurde eingestellt



Abb. 5. Ein Bild eines Teilnehmers, der das in Experiment 2 verwendete reale Labyrinth erkundet.

schrittweise einblenden, um einen realistischen Effekt zu erzielen und zu verhindern, dass sich Geräusche gegenseitig stören.

Die Dimensionen des realen Labyrinths wurden genau gemessen, damit eine identische virtuelle Umgebung modelliert werden konnte. Die virtuelle Umgebung enthielt dieselben Objekte und wurde mit Fotos der realen Umgebung strukturiert. Es ist wichtig anzumerken, dass ein einfaches einheitliches Beleuchtungsmodell verwendet wurde, das möglicherweise nicht alle Feinheiten der Beleuchtung erfasst hat, die im realen Labyrinth vorhanden waren. Abb. 6 zeigt einen Screenshot der virtuellen Umgebung.

4.2 Versuchsaufbau

Das Experiment verwendete ein Zwischensubjekttdesign mit Teilnehmern, die zufällig einer von drei Bedingungen zugeordnet wurden:

- **Reale Welt (R):** Die Teilnehmer erkundeten das Labyrinth der realen Welt.
- **Virtuelle Umgebung - Real Walking (VRW):** Parti-
Die Teilnehmer erkundeten das virtuelle Labyrinth auf natürliche Weise, wobei ihre physische Position und Ausrichtung direkt auf ihre Position und Ausrichtung in der virtuellen Umgebung abgebildet wurden.
- **Virtuelle Umgebung - Virtuelles Reisen (VVT):** Parti-
Die Teilnehmer erkundeten das virtuelle Labyrinth mithilfe der virtuellen Reisetchnik. Bewegung und Geschwindigkeit wurden unter Verwendung eines PC Ally Airstick gesteuert, der in der dominanten Hand gehalten wurde, mit einer einstellbaren Geschwindigkeit im Bereich von 0 bis 3 Metern pro Sekunde.

Basierend auf früheren Untersuchungen [13], kombiniert mit den Ergebnissen von Experiment 1, erwarteten wir keine Unterschiede zwischen blickgesteuertem Reisen und anderen virtuellen Techniken für kognitive Maßnahmen. Infolgedessen haben wir uns entschieden, das echte Gehen gegen blickgesteuertes Reisen zu bewerten, und die Zeigetechnik nicht in diese Studie aufgenommen.

4.3 Maßnahmen

4.3.1 Vortests

Die Teilnehmer erhielten die gleichen Vortests für räumliche Fähigkeiten getrennt in drei Teilen. Die höheren mentalen Prozesse und die Simulatorkrankheit wie in Experiment 1. Sie wurden auch zuerst verabreicht, gefolgt von Verstehen

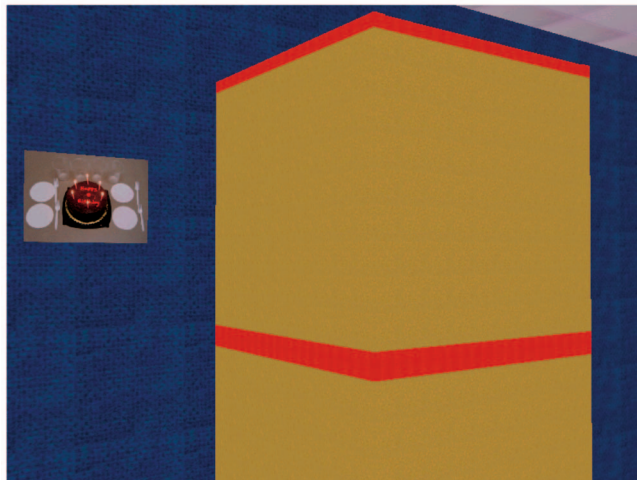


Abb. 6. Ein Screenshot der in Experiment 2 verwendeten virtuellen Umgebung.

einen demografischen Fragebogen erhalten, um Händigkeit, Computernutzung und Videospielerfahrung zu bewerten.

4.3.2 Objektrückruf

Die Teilnehmer wurden angewiesen, so viele Objekte wie möglich aus der Umgebung aufzulisten, einschließlich Bild und Ton. Die Anzahl der korrekt gespeicherten Objekte wurde summiert, um eine Punktzahl von 0 bis 12 zu erhalten. Für Objekte mit sowohl einer Audio- als auch einer visuellen Komponente erhielten die Teilnehmer die halbe Punktzahl, wenn sie sich nur an eine Komponente ohne die andere erinnerten.

4.3.3 Erkenntnisfragebogen

Die Teilnehmer erhielten einen dreiteiligen Fragebogen zur Beurteilung der Kognition, ähnlich wie in [16]. Die Fragen basierten auf Blooms Taxonomie der kognitiven Domäne, die die menschliche Kognition in sechs Kategorien unterteilt: Wissen, Verständnis, Anwendung, Analyse, Synthese und Bewertung [27]. Crooks verdichtet diese Komponenten weiter in drei Hauptkategorien [28]. Wir haben 24 Fragen zur Umwelt entwickelt, von denen jede einer dieser drei Kategorien entspricht:

- **Wissen:** Rückruf spezifischer Informationen und Details.
Beispielfrage: Wie viele Vogelbabys waren im Nest?
- **Verständnis und Anwendung:** Verstehen und Interpretation von Informationen, Problemlösung und Anwendung von Konzepten auf neue Situationen.
Beispielfrage: Wie alt ist die Person, die den Kuchen hat? Wie sind Sie zu Ihrer Antwort gekommen?
- **Höhere mentale Prozesse:** Analyse von Fakten und Schlussfolgerungen, Integration des Lernens aus verschiedenen Bereichen, kreatives Denken sowie Bewertung und Beurteilung von Informationen.

Beispielfrage: Nennen Sie angesichts dessen, was Sie im Labyrinth beobachtet haben, einen Ort, an dem jemand, der diese Umgebung geschaffen hat, Urlaub machen könnte.

Die Fragen zum Test waren hinsichtlich Objekttyp (A, V oder AV), Position im Labyrinth, Höhenstufe und Thema so ausgewogen wie möglich. Der Test wurde durchgeführt

und Anwendung und schließlich Wissen. Da Fragen in der Kategorie Wissen mehr mit Details zur Umgebung zu tun hatten, war diese Reihenfolge wichtig, um die Möglichkeit zu verringern, dass diese Fragen als zusätzliche Informationen zur Beantwortung von Fragen aus den beiden anderen Kategorien verwendet werden.

Die richtigen Antworten für jede Frage wurden mit einem Punkt bewertet. Bei einigen Fragen können die Antworten teilweise oder annähernd richtig sein. In diesem Fall wurde ein halber Punkt vergeben. Die Punkte wurden summiert, um für jede Kategorie eine Punktzahl zwischen 0 und 8 zu erhalten.

4.3.4 Kartenplatzierung

Die Teilnehmer erhielten eine Karte der Umgebung mit leeren Feldern, die den Objektpositionen entsprechen, und eine Liste aller Objekte in der Umgebung. Die Liste wurde auf einem Computer präsentiert. Anstatt die Objekte in Worten zu beschreiben, was zu Interpretationsproblemen führen könnte, wurde das Bild für jedes Objekt auf dem Bildschirm angezeigt und / oder der Ton konnte durch Klicken auf das Objekt abgespielt werden. Jedes Objekt wurde mit einer Nummer codiert, und der Teilnehmer wurde angewiesen, die Nummer auf die Karte in das Feld zu schreiben, in dem sich das Objekt befand. Zusätzlich wurde der Teilnehmer angewiesen, je nach Höhe des Objekts entweder ein H oder ein L neben jedes auf der Karte platzierte Objekt zu schreiben. Antworten auf diesen Test wurden nicht erzwungen; Die Teilnehmer konnten Objekte überspringen, die sie nicht sahen oder an die sie sich nicht erinnern konnten.

4.3.5 Versuchsdaten

Die Trackerdaten während der Expertensitzung wurden zur Offline-Analyse aufgezeichnet. Aus diesen Daten haben wir folgende Statistiken berechnet:

1. Gesamtanzahl der Links- und Rechtsdrehungen in Grad, horizontale
2. Gesamtentfernung in Metern, vertikale Gesamtentfernung in Metern
3. und Anzahl der Kollisionen mit der Geometrie der Umgebung.
- 4.

4.4 Versuchsdurchführung

Die Sitzungen vor, nach und nach dem Experiment dauerten ungefähr 45 bis 60 Minuten.

4.4.1 Vorversuch

Der Teilnehmer erhielt ein Informationsblatt, in dem das im Experiment verwendete Verfahren und die Tests aufgeführt waren. Es wurden minimale Details angegeben, damit der Teilnehmer wusste, dass beim Testen Objektdetails und -orte gespeichert werden müssen. Die Versuchshypothesen wurden jedoch nicht offenbart. Nach der Unterzeichnung des Einverständniserklärungsformulars hatte der Teilnehmer die Möglichkeit, Fragen zu stellen. Der Teilnehmer füllte dann unmittelbar vor der Expertensitzung den demografischen Fragebogen, den räumlichen Fähigkeitstest und den Simulatorkrankheitstest aus.

4.4.2 Experiment

Die Expertensitzung und die Anweisungen wurden zuerst dem Teilnehmer erklärt, der eine weitere Gelegenheit erhielt, Fragen zum Experiment zu stellen. Der Teilnehmer wurde angewiesen, fünf Minuten lang entweder das reale oder das virtuelle Labyrinth zu erkunden, und wurde angewiesen, dies zu versuchen

Erfahren Sie während der Erkundung mehr über das Layout und den Inhalt der Umgebung.

Im R-Zustand wurde der Teilnehmer mit Kopfhörern und Tracker ausgestattet und durfte dann das Labyrinth betreten. Der Eingang war geschlossen und der Teilnehmer blieb allein im Labyrinth. Die Bewegungen des Teilnehmers wurden überwacht, indem das virtuelle Labyrinth auf dem Bildschirm angezeigt wurde, das aus Sicht des Teilnehmers gerendert wurde. Nach fünf Minuten endete die Expertensitzung.

Für die Bedingungen der virtuellen Umgebung wurde der Teilnehmer mit dem am Kopf montierten Display ausgestattet. Nur im VVT-Zustand stieg der Teilnehmer in das PVC-Gehäuse, erhielt den Joystick und zeigte, wie Bewegung und Geschwindigkeit in der virtuellen Umgebung gesteuert werden können. Für beide Bedingungen erhielt der Teilnehmer dann die gleiche immersive Trainingsaufgabe wie Experiment 1. Diese Trainingsaufgabe dauerte ungefähr eine Minute. Danach wurde der Teilnehmer an einen festgelegten Startort gebracht und begann, das Labyrinth zu erkunden.

4.4.3 Nach dem Experiment

Unmittelbar nach der Expertensitzung füllte der Teilnehmer den Post-Test für Simulatorkrankheit aus. Der Teilnehmer füllte dann die Fragebögen in der folgenden Reihenfolge aus:

1) Objektrückruf, 2) Erkennung und 3) Kartenplatzierung. Nach dem Ausfüllen der Fragebögen wurde der Teilnehmer einer Nachbesprechung unterzogen und erhielt Gelegenheit, Fragen zu stellen und mündliches Feedback zu geben.

4.4.4 Teilnehmerinformationen

Die Teilnehmer wurden hauptsächlich aus Informatik- und Psychologiekursen, Flugblättern und Mundpropaganda rekrutiert. Sie mussten ein normales oder normales Sehvermögen haben und in der Lage sein, sich in schriftlichem Englisch zu verständigen. Insgesamt nahmen 90 Personen an der Studie teil (46 Männer, 44 Frauen) mit jeweils 30 Teilnehmern. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug 22,21 (SD ¼ 6:98).

4.5 Ergebnisse

Sofern nicht anders angegeben, wurden die Ergebnisse für jeden Test mit einer Einweg-ANOVA zwischen Probanden unter allen Bedingungen mit einem Signifikanzniveau von behandelt ¼: 05.

4.5.1 Simulatorkrankheit

EIN 2 3 Es wurde eine gemischte ANOVA durchgeführt, bei der der In-Subjekt-Effekt des SSQ-Scores vor und nach der Expertensitzung und der Effekt der Experimentbedingungen zwischen den Probanden getestet wurden. Die Analyse ergab eine signifikante Wechselwirkung, $F(2, 87) = 9.78$; $p < .001$. Der Haupteffekt für die Zeit war nicht signifikant $F(1, 87) = 0.59$; $p = .446$, noch war der Haupteffekt für die Versuchsbedingung, $F(2, 87) = 1.74$; $p = .183$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Krankheit des Simulators je nach Versuchsbedingung von vor bis nach dem Unterricht unterschiedlich war. Fig. 7 zeigt ein Profildigramm für diesen Test.

T-Tests mit gepaarten Proben wurden durchgeführt, um individuelle Unterschiede für jede Bedingung zu bestimmen:

- R Bedingung: $t(29) = 3.93$; $p < .001$,
- VRW Zustand: $t(29) = 2.69$; $p = .012$,
- VVT-Zustand: $t(29) = 0.46$; $p = .657$.

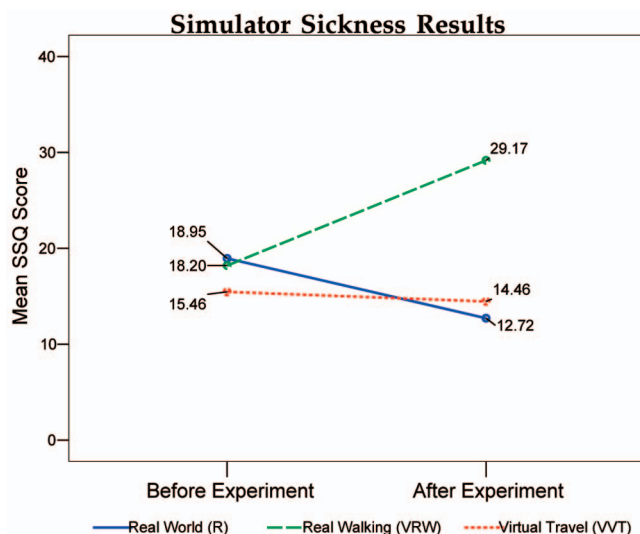


Abb. 7. Mittlere SSQ-Ergebnisse für Experiment 2. Die SSQ-Werte im realen Gehzustand waren nach dem Experiment höher, nahmen jedoch in der realen Welt und unter virtuellen Reisebedingungen ab.

Das auffälligste Ergebnis ist die Zunahme der Simulatorkrankheit im VRW-Zustand von vor bis nach der Exposition für die Umwelt, die von großer Bedeutung war. Der VVT-Zustand nahm leicht ab, aber dieser Unterschied war nicht signifikant. Die Simulatorkrankheit im R-Zustand nahm jedoch signifikant ab. Der Testeffekt ist eine mögliche Erklärung für die niedrigeren Punktzahlen, bei denen das erneute Testen desselben Fragebogens die Teilnehmer zu niedrigeren Punktzahlen neigt. Diese Erklärung scheint wahrscheinlich, da wir keinen anderen Grund zu der Annahme haben, dass Teilnehmer an der R-Bedingung von vor bis nach dem Experiment einen Unterschied in den Symptomen erfahren hätten. Darüber hinaus wurden in früheren Arbeiten Testeffekte für diesen Fragebogen festgestellt [29]. Angesichts des Trends zu niedrigeren Ergebnissen nach dem Test unter den anderen Bedingungen macht dies den Anstieg der Simulatorkrankheit unter den VRW-Bedingungen noch alarmierender.

4.5.2 Räumliche Fähigkeit

Bei der vorläufigen Analyse der räumlichen Fähigkeitswerte haben wir einen extremen Ausreißer aus dem Datensatz entfernt. Die ANOVA war nicht signifikant, $F(2, 86) = 1.07$; $p = .346$.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die räumlichen Fähigkeiten der Teilnehmer über die Bedingungen hinweg gleichmäßig ausgeglichen waren.

4.5.3 Objektrückruf

Die Ergebnisse waren signifikant, $F(2, 87) = 23.46$; $p < .001$. Posthoc-Analyse mit dem Tukey-HSD-Test ergab, dass Teilnehmer im R-Zustand ($M = 8.93$; $SD = 0.19$) Re-

ed höher sc $\frac{1}{4}$ Erze th
 δ ceiv $\frac{1}{4}$
 δ M. $\frac{1}{4}$ 8.40, SD $\frac{1}{4}$ 1.40, $p < .001$, und die VRW-Bedingung SD
 δ M. $\frac{1}{4}$ 3.40, SD $\frac{1}{4}$ 1.40, $p < .001$, und die VVT-Bedingung SD
 waren nicht signifikant unterschiedlich, $p = .14$. Wenn die R-Zustand
 Geben Sie an, dass sich Teilnehmer unter realen Bedingungen mehr Objekte
 als unter Bedingungen der virtuellen Umgebung merken konnten. Die
 Reisetchnik in einer virtuellen Umgebung scheint diesen Faktor jedoch nicht
 zu beeinflussen.

4.5.4 Erkenntnisfragebogen

Für jeden Teil des Quesitonnaire wurden univariate ANOVAs durchgeführt. Die Ergebnisse waren signifikant für Wissen, $F(2, 87) = 3.77$; $p = .027$, Verständnis und Anwendung, $F(2, 87) = 7.70$; $p = .001$, und höhere mentale Prozesse, $F(2, 87) = 11.60$; $p < .001$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die experimentellen Bedingungen die einzelnen Ergebnisse für alle drei Teile des Fragebogens systematisch beeinflussten.

TABELLE 2

Erkenntnisfragebogen Post-Hoc-Test

	K ¹	U&A ²	HMP ³
R - VRW	.161	.003*	.001*
R - VVT	.023*	.003*	.001*
VVT - VRW	.680	.996	.778

¹Knowledge, ²Understanding and Application, ³Higher Mental Processes

* test was significant at $\alpha = .05$ level

$F(2, 87) = 7.70$; $p = .001$, und höhere mentale Prozesse, $F(2, 87) = 11.60$; $p < .001$. Diese Ergebnisse zeigen, dass die experimentellen Bedingungen die einzelnen Ergebnisse für alle drei Teile des Fragebogens systematisch beeinflussten.

Um die individuellen Unterschiede zwischen den Bedingungen für jede der drei Maßnahmen zu untersuchen, führten wir post-hoc-Mehrfachvergleiche mit dem Tukey-HSD-Test durch. Tabelle 2 zeigt die Signifikanzwerte dieser Tests. Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnehmer im realen Zustand für alle drei Messungen im Vergleich zu den Bedingungen der virtuellen Umgebung überlegene Kognitionswerte hatten. Darüber hinaus schien die Reisetchnik unter den Bedingungen der virtuellen Umgebung die Leistung bei keiner der Erkennungsmaßnahmen zu beeinflussen. Fig. 8 zeigt die Mittelwerte über die Bedingungen für jede der drei Erkennungsmaße.

4.5.5 Kartenplatzierung

Die Ergebnisse waren signifikant, $F(2, 87) = 33.24$; $p < .001$. Posthoc-Analyse mit dem Tukey-HSD-Test ergab, dass Teilnehmer im R-Zustand ($M = 9.93$; $SD = 2.61$) erhielt höhere Punktzahlen als Teilnehmer in der VRW-Bedingung

δ M. $\frac{1}{4}$

δ M. $\frac{1}{4}$ 4.27, SD $\frac{1}{4}$ 3.29, $p < .001$, und die VVT-Bedingung SD
 waren nicht signifikant unterschiedlich, $p = .860$. Diese Ergebnisse zeigen, dass
 Teilnehmer unter realen Bedingungen mehr Objekte korrekt auf einer Karte
 platzieren konnten als unter Bedingungen der virtuellen Umgebung. Die
 Reisetchnik in einer virtuellen Umgebung scheint diesen Faktor nicht zu
 beeinflussen.

4.5.6 Kollisionen

Wir haben die Analyse für Kollisionen nur auf die VRW- und VVT-Bedingungen beschränkt, da es nicht sinnvoll war, Kollisionen mit virtueller Geometrie im R-Zustand zu berechnen. Ein unabhängiger Proben-T-Test wurde durchgeführt, der war

von Bedeutung, $t(87) = 2.37$; $p = .021$. Teilnehmer an der VRW-Bedingung hatten weniger Kollisionen ($M = 3.50$; $SD =$

) als Teilnehmer an der VVT-Bedingung ($M = 5.73$;

) Diese Ergebnisse zeigen, dass es schwieriger ist

Vermeiden Sie Kollisionen mit der virtuellen Geometrie, wenn Sie eine virtuelle Reisetchnik verwenden.

4.5.7 Zurückgelegte Strecke

ANOVAs wurden sowohl horizontal als auch vertikal durchgeführt Entfernung cov δ ered. $\frac{1}{4}$ Die Ergebnisse waren signifikant für horizontale di δ stanc $\frac{1}{4}$ e, $\frac{1}{4}$ $F(2, 87) = 34.14$; $p < .001$, und vertikaler Abstand, $F(2, 87) = 28.76$; $p < .001$.

Eine Post-hoc-Analyse mit dem Tukey-HSD-Test ergab dies Teilnehmer in der R-Bedingung ($M =$ $\frac{1}{4}$ 98.35; SD $\frac{1}{4}$ 20.82) mehr horizontale Distanz zurückgelegt als Teilnehmer an der

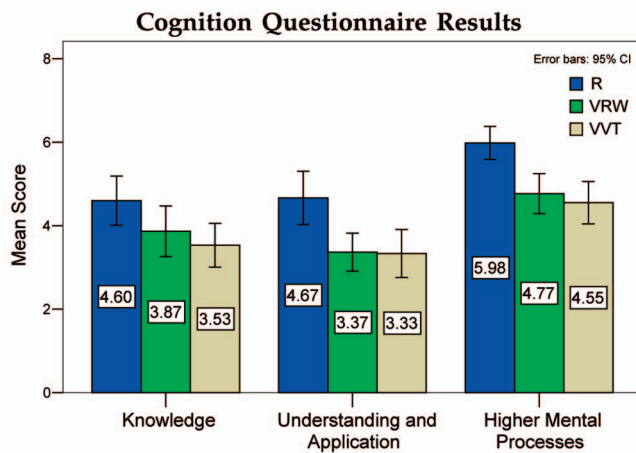


Abb. 8. Mittlere Ergebnisse für die drei Teile des Erkenntnisfragebogens in Experiment 2.

VRW-Zustand (M. $\frac{1}{4}$ 75:67; SD $\frac{1}{4}$ 16:52), $p < .001$, oder VVT-Zustand (M. $\frac{1}{4}$ 60:26; SD $\frac{1}{4}$ 16:16), $p < .001$. Der im VRW-Zustand zurückgelegte horizontale Abstand war ebenfalls signifikant größer als im VVT-Zustand. $p \frac{1}{4} .004$. Diese Ergebnisse zeigen, dass Teilnehmer, die die reale Umgebung erkundeten, die größte Strecke in einer festgelegten Zeitspanne zurücklegten. Darüber hinaus haben sich Teilnehmer an der virtuellen Reisebedingung am wenigsten von allen Bedingungen entfernt.

In ähnlicher Weise ergab die Post-hoc-Analyse, dass Teilnehmer im R-Zustand (M. $\frac{1}{4}$ 10:76; SD $\frac{1}{4}$ 3:90) legte mehr vertikale Distanz zurück als Teilnehmer im VRW-Zustand (M. $\frac{1}{4}$ 8:68; SD $\frac{1}{4}$ 3:55), $p \frac{1}{4} .037$, oder VVT-Zustand δ M. $\frac{1}{4}$ 4:57; SD $\frac{1}{4}$ 1:81 $\frac{1}{4}$; $p < .001$. Der im VRW-Zustand zurückgelegte vertikale Abstand war ebenfalls signifikant größer als im VVT-Zustand. $p < .001$. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich Teilnehmer, die die reale Umgebung erkundeten, am ehesten bückten, um ein bodennahes Objekt genauer zu betrachten. Darüber hinaus stützen diese Ergebnisse die Behauptung, dass die reale Gehtechnik dieses Verhalten mehr unterstützt als virtuelle Reisetchniken.

4.5.8 Kopf drehen

EINE 2 3 Eine gemischte ANOVA wurde durchgeführt, wobei der In-Subjekt-Effekt der Kopfdrehrichtung und der Zwischen-Subjekt-Effekt der Versuchsbedingung getestet wurden. Die Analyse ergab einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen den beiden unabhängigen Variablen. $F. \delta 2; 87 \frac{1}{4} 6:63$; $p \frac{1}{4} .002$. Der Haupteffekt für die Versuchsbedingungen war ebenfalls signifikant,

$F. \delta 2; 87 \frac{1}{4} 19:48$; $p < .001$. Es gab auch einen signifikanten Haupteffekt für die Richtung der Kopfdrehung, $F. \delta 1; 87 \frac{1}{4} 21:71$; $p < .001$.

Diese Ergebnisse zeigen, dass das Ausmaß der Kopfdrehung über die Bedingungen variierte und das Ausmaß der linken und rechten Kopfdrehung abhängig von den experimentellen Bedingungen unterschiedlich beeinflusst wurde.

Eine Post-hoc-Analyse, die den Effekt des experimentellen Zustands zwischen Probanden untersuchte, ergab, dass das Ausmaß der Kopfdrehung im R-Zustand größer war als im VRW-Zustand und im VVT-Zustand. Der VRW-Zustand und der VVT-Zustand unterschieden sich nicht signifikant. Dies weist darauf hin, dass Teilnehmer, die die reale Umgebung erkundet haben, ihren Kopf mehr gedreht haben (entweder indem sie von einer Seite zur anderen schauen oder indem sie den Körper drehen). Die Reisetchnik unter den Bedingungen der virtuellen Umgebung scheint jedoch keinen Einfluss auf die Gesamtdrehung des Kopfes zu haben.

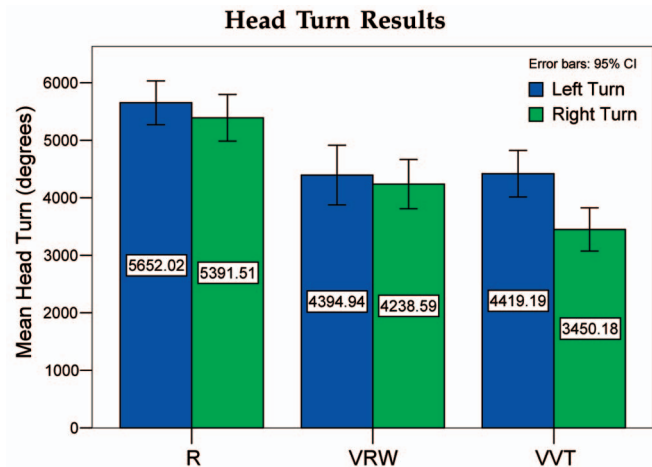


Abb. 9. Die mittlere Kopfdrehung ergibt sich nach Richtung (in gedrehten Gesamtgraden). Teilnehmer an der VVT-Bedingung tendierten dazu, Linkskurven gegenüber Rechtskurven zu bevorzugen, während Kurven in den anderen Bedingungen ungefähr gleichmäßig waren.

Fig. 9 zeigt eine graphische Darstellung der linken und rechten Kopfdrehung für die unterschiedlichen Bedingungen. Während die linken und rechten Kopfdrehungsbeträge für die R- und VRW-Bedingungen ungefähr gleichmäßig waren, tendierten Teilnehmer im VVT-Zustand nur dazu, eine Drehung nach links stark zu bevorzugen. Dieser Unterschied zwischen linker und rechter Kopfdrehung in diesem Zustand war hoch signifikant, $t \delta 29 \frac{1}{4} 6:42$; $p < .001$. Darüber hinaus war dieser Trend während der Experimentsitzung sehr deutlich; Viele Teilnehmer an der VVT-Erkrankung neigten dazu, sich nur in eine Richtung zu „drehen“, was ein Eingreifen erforderlich machte, um Kabelsalat zu vermeiden. Es sollte beachtet werden, dass nur 5 von 90 Teilnehmern Linkshänder waren, aber selbst diese Teilnehmer tendierten dazu, Linkskurven gegenüber Rechtskurven zu bevorzugen.

4.6 Diskussion

Insgesamt schnitten die Teilnehmer unter realen Bedingungen bei den meisten unserer Maßnahmen deutlich besser ab. Wir kommen zu dem Schluss, dass die Unterstützung beim Sammeln und Erkennen von Informationen in virtuellen Umgebungen erheblich verbessert werden kann. Es gab jedoch viele Unterschiede zwischen der realen Welt und der virtuellen Umgebung, die möglicherweise zu diesen Ergebnissen beigetragen haben. Beim Tragen des HMD ist das Sichtfeld erheblich geringer als in der realen Welt, und frühere Studien haben gezeigt, dass die Einschränkung des Sichtfelds in einer virtuellen Umgebung die Suchleistung verringert und den Zeitaufwand in einem Bereich erhöht [30]. Das HMD erhöht auch das Gewicht und die Trägheit des Kopfes, von denen bekannt ist, dass sie Müdigkeit und Reisekrankheit verursachen [31]. Darüber hinaus können visuelle Unterschiede zwischen Umgebungen eine Rolle gespielt haben.

Trotz der Unterschiede zwischen der realen Welt und der virtuellen Umgebung zeigen unsere Daten, dass es für diese Faktoren keine Unterschiede zwischen realem Gehen und zielgerichtetem Reisen gibt. Diese Ergebnisse sind wichtig für Anwendungen, bei denen die Unterstützung des Gedächtnisses oder der Kognition ein wichtiges Ziel ist. Insbesondere implizieren unsere Ergebnisse, dass für komplexe virtuelle Umgebungen, für deren Navigation viele Kurven erforderlich sind, eine virtuelle Reisetchnik als kostengünstigere Alternative zum realen Gehen eingesetzt werden kann. Angesichts zahlreicher früherer Studien, die Vorteile für das Realwalking unter verschiedenen Bedingungen gefunden haben (z. B. [8], [16], [10],

TISCH 3

Zusammenfassung der Schlussfolgerungen

Goal of VE Application	Preferred Travel Technique
Supporting Memory	RW or VT
Supporting Cognition	RW or VT
Similarity to Real World	RW
Faster Navigation	RW
Reducing Collisions	RW
Reducing Simulator Sickness	VT
A summary of our conclusions based on the results across experiments comparing real walking (RW) to virtual travel (VT) in complex virtual environments.	

[11]) sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die potenziellen Vorteile dieser Technik gegenüber virtuellen Reisen vollständig zu verstehen.

Die Ergebnisse für die Simulatorkrankheit waren unerwartet. Frühere Experimente, in denen die Auswirkungen der Reiseteknik auf die Simulatorkrankheit untersucht wurden, haben entweder keinen Unterschied [16] oder eine geringere Reisekrankheit bei der Verwendung von echtem Gehen [8] berichtet. Die frühere Studie fand in einer einfachen Umgebung statt, die nur wenig körperliches Manövrieren erfordert. Die letztere Studie erforderte die Navigation durch ein komplexes Labyrinth; Das verwendete Krankheitsmaß war jedoch ein einziger Selbstbericht über Reisekrankheit, eine ungenaue Messung, die wahrscheinlich Übelkeit entspricht. In unserem Experiment wurde ein umfassend recherchierter und validierter Fragebogen zur Krankheit des Simulators verwendet, der Messungen von Übelkeit, okulomotorischen Problemen und Desorientierung enthält. Wir schließen auf der Grundlage unserer Ergebnisse, dass die Navigationskomplexität der Umgebung, die viel physisches Manövrieren erfordert, in Kombination mit der in der Umgebung verbrachten Zeit (über 6 Minuten einschließlich Training) führte dies zu einer erhöhten Simulatorkrankheit für Teilnehmer unter realen Gehbedingungen. Teilnehmer an der virtuellen Reisebedingung drehten sich in der Regel an einem stationären Ort um, und dieses Verhalten schien keine Simulatorkrankheit auszulösen. Dies deutet darauf hin, dass virtuelles Reisen tatsächlich eine bessere Wahl für Umgebungen ist, die viel physisches Manövrieren erfordern, insbesondere wenn die in die Umgebung eingetauchte Zeit zunimmt.

Während das reale Gehen in der virtuellen Welt nicht so viel horizontale zurückgelegte Strecke, zurückgelegte vertikale Distanz oder totale Kopfdrehung unterstützte wie die reale Weltbedingung, war die virtuelle Reiseteknik für alle drei Maßnahmen noch niedriger. Die zunehmende Schwierigkeit, mit dem virtuellen Fahrsteuergerät feinkörnige Bewegungen auszuführen, hat möglicherweise zu diesem Unterschied beigetragen, sodass die Teilnehmer weniger wahrscheinlich scheinbar unbedeutende Bereiche erkunden, deren Navigation unpraktisch war (z. B. Sackgassen). Darüber hinaus scheint virtuelles Reisen eine Tendenz zu erzeugen, Kurven in eine Richtung gegenüber einer anderen zu bevorzugen, die wir weder unter realen Bedingungen noch unter realen Bedingungen beobachtet haben. Zusammenfassend stützen unsere Daten die Behauptung, dass reales Gehen zu einem Navigationsverhalten führt, das der realen Welt ähnlicher ist als virtuelles Reisen.

5 C. SCHLUSSFOLGERUNG

Letztendlich hängt die Wahl der Reiseteknik von den Zielen der Anwendung ab. In Tabelle 3 fassen wir die relativen Stärken dieser Techniken zusammen, die in unseren Experimenten beobachtet wurden, in denen reales Gehen mit virtuellem Reisen verglichen wurde. Wir schließen daraus für komplexe Umgebungen

Virtuelles Reisen erfordert eine große Anzahl von Kurven und ist ein akzeptabler Ersatz für reales Gehen, wenn das Ziel der Anwendung das Lernen oder Denken auf der Grundlage von Informationen in der Umgebung umfasst. Für Anwendungen, die eine schnelle, effiziente Navigation oder Reisen erfordern, die dem realen Verhalten sehr ähnlich sind, hat reales Gehen Vorteile gegenüber virtuellem Reisen, was die Kosten- und Platzkompromisse rechtfertigen kann, die für diese Technik erforderlich sind.

R. EFERENZEN

- [1] DA Bowman, E. Kruijff, JJ La Viola und I. Poupyrev, 3D-Benutzeroberflächen: Theorie und Praxis. Addison Wesley Longman, 2004.
- [2] JJ Feasel, M. Whitton und J. Wendt, „LLCM-WIP: Kontinuierliche Bewegung mit geringer Latenz und kontinuierlicher Bewegung an Ort und Stelle“. Proc. IEEE Symp. 3D-Benutzeroberflächen, S. 97-104, 2008.
- [3] JN Templeman, PS Denbrook und LE Sibert, „Virtuelle Fortbewegung: Durch virtuelle Umgebungen an Ort und Stelle gehen“. Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, vol. 8, nein. 6, S. 598-617, 1999.
- [4] RP Darken, WR Cockayne und D. Carnein, „Das omnidirektionale Laufband: Ein Fortbewegungsgerät für virtuelle Welten“. Proc. ACM Symp. Software und Technologie für Benutzeroberflächen (UIST), S. 213-221, 1997.
- [5] G. Welch und E. Foxlin, "Motion Tracking: Keine Silberkugel, sondern ein respektables Arsenal", IEEE-Computergrafik und -Anwendungen, vol. 22, nein. 6, S. 24-38, Nov./Dec. 2002.
- [6] J. Templeman, L. Sibert, R. Page und P. Denbrook, "Pointman - Eine gerätebasierte Steuerung für realistische taktische Bewegungen". Proc. IEEE Symp. 3D-Benutzeroberflächen, 2007.
- [7] M. Usho, K. Arthur, MC Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater und FP Brooks, „Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen“. Proc. ACM SIGGRAPH, S. 359-364, 1999.
- [8] SS Chance, F. Gaunet, AC Beall und JM Loomis, „Der Fortbewegungsmodus beeinflusst die Aktualisierung von Objekten, die während der Reise angetroffen werden: Der Beitrag von vestibulären und propriozeptiven Eingaben zur Pfadintegration“. Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, vol. 7, nein. 2, S. 168-178, 1998.
- [9] MC Whitton, JV Cohn, J. Feasel, P. Zimmons, S. Razzaque, SJ Poulton, B. Mc Leod und FP Brooks Jr., "Comparing VE Locomotion Interfaces". Proc. IEEE Virtual Reality Conf., S. 123-130, 2005.
- [10] RA Ruddle und S. Lessels, "Für eine effiziente Navigationssuche benötigen Menschen volle physische Bewegung, aber keine reichhaltige visuelle Szene." Psychologische Wissenschaft, vol. 17, nein. 6, S. 460-465, 2006.
- [11] RA Ruddle und S. Lessels, „Die Vorteile der Verwendung einer Laufschnittstelle zum Navigieren in virtuellen Umgebungen“, ACM Trans. Computer-Mensch-Interaktion, vol. 16, nein. 1, S. 1-18, 2009.
- [12] DA Bowman, D. Koller und LF Hodges, „Reisen in immersiven virtuellen Umgebungen: Eine Bewertung der Techniken zur Bewegungssteuerung von Blickwinkeln“. Proc. IEEE Virtual Reality International Symp., S. 45-52, 1997.
- [13] DA Bowman, D. Koller und LF Hodges, "Eine Methodik zur Bewertung von Reisetechiken für immersive virtuelle Umgebungen", Virtuelle Realität, vol. 3, nein. 2, S. 120-131, 1998.
- [14] M. Vidal, M.-A. Amorim und A. Berthoz, „Navigieren in einem virtuellen 3D-Labyrinth: Wie interagieren egozentrische und allozentrische Referenzrahmen?“ Kognitive Gehirnforschung, vol. 19, nein. 3, S. 244-258, 2004.
- [15] D. Jeong, C. Lee, G. Jeon, C. Song, S. Babu und L. Hodges, „Differenzierung der Fähigkeit zum Sammeln von Informationen in der realen und virtuellen Welt“. Proc. Int'l Conf. Pacific Graphics, S. 157-159, 2005.
- [16] CA Zanbaka, BC Lok, SV Babu, AC Ulinski und LF Hodges, „Vergleich von Pfadvisualisierungen und kognitiven Maßnahmen in Bezug auf die Reiseteknik in einer virtuellen Umgebung“. IEEE Trans. Visualisierung und Computergrafik, vol. 11, nein. 6, S. 694-705, Nov./Dec. 2005.
- [17] DA Bowman, ET Davis, LF Hodges und AN Badre, „Aufrechterhaltung der räumlichen Orientierung während der Reise in einer immersiven virtuellen Umgebung“ Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, vol. 8, nein. 6, S. 618-631, 1999.
- [18] HJ Spires und EA Maguire, "Eine 'Landmark'-Studie über die neuronale Basis der Navigation", Naturneurowissenschaften, vol. 7, nein. 6, S. 572-574, 2004.

- [19] G. Wallet, H. Sauzéon, J. Rodrigues und B. N'Kaoua, „Transfer von räumlichem Wissen aus einer virtuellen Umgebung in die Realität: Einfluss der Routenkomplexität und der Strategie des Subjekts auf den Explorationsmodus“. J. Virtuelle Realität und Rundfunk, vol. 6, nein. 4, S. 572-574, 2009.
- [20] JZ Bakdash, SA Linkenauger und D. Proffitt, „Vergleich von Entscheidungsfindung und Kontrolle für das Erlernen einer virtuellen Umgebung: Rücksitzfahrer lernen, wohin sie gehen“. Proc. Human Factors and Ergonomics Soc. Ann. Treffen, vol. 52, S. 2117-2121, 2008.
- [21] EA Suma, S. Babu und LF Hodges, „Vergleich von Reisetechiken in einer komplexen, mehrstufigen 3D-Umgebung“ Proc. IEEE Symp. 3D-Benutzeroberflächen, S. 147-153, 2007.
- [22] RM Taylor, TC Hudson, A. Seeger, H. Weber, J. Juliano und AT Helser, „VRPN: Ein geräteunabhängiges, netzwerktransparentes VR-Peripheriesystem“. Proc. ACM Virtual Reality Software und Technologie, S. 55-61, 2001.
- [23] R. Kennedy, N. Lane, K. Berbaum und M. Lilienthal, „Fragebogen zur Simulatorkrankheit: Eine verbesserte Methode zur Quantifizierung der Simulatorkrankheit“. Int'l J. Aviation Psychology, vol. 3, nein. 3, S. 203-220, 1993.
- [24] J. Guilford und W. Zimmerman, "The Guilford-Zimmerman Aptitude Survey", J. Angewandte Psychologie, vol. 32, S. 24-34, 1948.
- [25] M. Billinghurst und S. Weghorst, „Die Verwendung von Sketch Maps zur Messung kognitiver Maps virtueller Umgebungen“, Proc. IEEE Virtual Reality Ann. Int'l Symp., S. 40-47, 1995.
- [26] HQ Dinh, N. Walker, C. Song, A. Kobayashi und LF Hodges, „Bewertung der Bedeutung multisensorischer Eingaben für das Gedächtnis und des Präsenzgefühls in virtuellen Umgebungen“. Proc. IEEE Virtual Reality Conf., p. 222, 1999.
- [27] B. Bloom, M. Englehart, E. Fürst, W. Hill und D. Krathwohl, Taxonomie von Bildungszielen: Kognitiver Bereich. Addison Wesley, 1956.
- [28] T. Crooks, Bewertung der Schülerleistung (Green Guide Nr. 8). Hochschulforschung und -entwicklung Soc. Australasien (HERDSA), 1988.
- [29] SD Young, BD Adelstein und SR Ellis, „Nachfragemerkmale bei der Beurteilung der Reisekrankheit in einer virtuellen Umgebung: Oder macht Sie das Ausfüllen eines Fragebogens zur Reisekrankheit krank?“ IEEE Trans. Visualisierung und Computergrafik, vol. 13, nein. 3, S. 422-428, Mai / Juni 2007.
- [30] S. Lessels und RA Ruddle, „Änderungen im Navigationsverhalten, die durch ein weites Sichtfeld und eine visuelle Szene mit hoher Wiedergabetreue hervorgerufen werden“, Proc. Eurographics Symp. Virtuelle Umgebungen, S. 71-78, 2004.
- [31] P. DiZio und J. Lackner, "Eine veränderte Belastung des Kopfes verschlimmert die Bewegungs- und die räumliche Desorientierung". Proc. Aerospace Medical Assoc. Treffen, 1992.



Evan A. Suma Er promovierte 2010 an der University of North Carolina in Charlotte in Informatik. Seine Forschungsinteressen umfassen virtuelle Umgebungen, Mensch-Computer-Interaktion, 3D-Benutzeroberflächen und Informationsvisualisierung. Er ist studentisches Mitglied des IEEE. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.evansuma.com>.



Samantha L. Finkelstein ist ein Student an der Universität von North Carolina in Charlotte in Informatik und Psychologie. Ihre Forschungsinteressen umfassen virtuelle Umgebungen, virtuelle Menschen, Kognition, Wahrnehmung und Humancomputer-Interaktion. Weitere Informationen finden Sie unter <http://fcl.uncc.edu/slfink/>.



Myra Reid 2009 erhielt sie den BS-Abschluss in Psychologie von der University of North Carolina in Charlotte. Derzeit arbeitet sie an der Mississippi State University an der Promotion in Kognitionswissenschaft. Ihre aktuellen Forschungsinteressen umfassen Erinnerung und Metamemory.



Sabarish V. Babu promovierte am Institut für Informatik der University of North Carolina in Charlotte in

2007. Er ist Assistenzprofessor an der School of Computing der Clemson University. Seine Forschungsinteressen umfassen virtuelle Menschen, verkörperte Konversationsagenten, angewandte Wahrnehmung und Kognition in virtuellen Umgebungen, 3D-Interaktion und Visualisierung. Er ist Mitglied des IEEE. Für mehr Informationen,

siehe <http://people.clemson.edu/~sbabu/>.



Amy C. Ulinski 2008 promovierte sie an der University of North Carolina in Charlotte in Informatik. Derzeit ist sie Postdoktorandin an der School of Computing der Clemson University. Ihre Forschungsinteressen umfassen Mensch-Computer-Interaktion, 3D-Benutzeroberflächen, Visualisierung, virtuelle Umgebungen und virtuelle Menschen. Sie ist Mitglied des IEEE und der IEEE Computer Society. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.amyulinski.com>.



Larry F. Hodges ist der hf Flagship Endowed Chair Director der School of Computing an der Clemson University. Seine Forschungsinteressen umfassen virtuelle Umgebungen, 3D-Benutzeroberflächen und die Interaktion zwischen Mensch und virtuellem Menschen. 2006 erhielt er den IEEE Virtual Reality Career Award für seine Beiträge zu klinischen Anwendungen der virtuellen Realität. Er ist Mitglied des IEEE. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.clemson.edu/~lfh/>.

· Weitere Informationen zu diesem oder einem anderen Computerthema finden Sie in unserer digitalen Bibliothek unter www.computer.org/publications/dlib.