

# Bewertung von Neuorientierungstechniken und Ablenker für das Gehen in großen virtuellen Umgebungen

Tabitha C. Peck, Studentisches Mitglied, IEEE, Henry Fuchs, Mitglied, IEEE, und  
Mary C. Whitton, Mitglied, IEEE

**Abstrakt** - Virtuelle Umgebungen (Virtual Environments, VEs), die eine reale Bewegungsschnittstelle verwenden, wurden in der Regel auf den Bereich des verfolgten Laborraums beschränkt. Die vorgeschlagenen Techniken, um diese Größenbeschränkung aufzuheben und ein echtes Gehen in VEs zu ermöglichen, die größer als der verfolgte Laborraum sind, erfordern im schlimmsten Fall alle Neuorientierungstechniken (ROTs) - wenn ein Benutzer kurz davor ist, den verfolgten Raum zu verlassen. Wir schlagen eine neue ROT mit visuellen und akustischen Ablenkern vor - Objekte in der VE, auf die sich der Benutzer konzentriert, während sich die VE dreht - und vergleichen unsere Methode anhand von drei Benutzerstudien mit aktuellen ROTs. ROTs, die Distraktoren verwenden, wurden bevorzugt und von den Benutzern als natürlicher eingestuft. Benutzer waren sich auch des rotierenden VE weniger bewusst, wenn ROTs mit Distraktoren verwendet wurden.

**Indexbegriffe** - Virtuelle Umgebungen, Gehen, Fortbewegung, Benutzerstudien, Neuorientierungstechniken.



## 1 I. EINLEITUNG

**R.**atürlich und erzeugt ein höheres Gefühl der Präsenz als drei Benutzerstudien. Wir bewerten jede ROT basierend auf Gegenwart, andere Fortbewegungstechniken wie Geh- und Joystick-Schnittstellen [1], [2]. Omnidirektionale Laufbänder ermöglichen kein echtes Gehen, da Benutzer sich nach ausgiebigem Training wieder an echte Bewegungen anpassen müssen [3]. VEs, die eine reale Laufbewegungsschnittstelle verwenden, wurden jedoch typischerweise in ihrer Größe auf den Bereich des verfolgten Laborraums beschränkt. Es wurden Techniken vorgeschlagen, um diese Größenbeschränkung aufzuheben und ein echtes Gehen in VEs zu ermöglichen, die größer als der verfolgte Raum sind [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Jede dieser großflächigen VE-Laufmethoden basiert auf einer Neuorientierungstechnik (ROT), um den Fall zu behandeln, in dem die Technik fehlschlägt und der Benutzer kurz davor ist, den verfolgten Raum zu verlassen. Wenn ein solches Ereignis eintritt, müssen ROTs den Benutzer anhalten und die VE um ihren aktuellen virtuellen Standort drehen. Platzieren des sofort erwarteten Benutzerpfads zurück im verfolgten Bereich. Der Benutzer muss sich auch neu orientieren, indem er sich in der realen Umgebung umdreht, damit er seinem gewünschten Pfad in der neu gedrehten VE folgen kann.

ROTs sind erforderlich, um die kostenlose Erkundung großer VEs zu ermöglichen ohne die Verwendung von Joysticks, Schnittstellen, Laufbändern oder Fahrrädern [11], [12], [3], [13], [14]. Wir möchten den Benutzern ein möglichst physikalisch genaues VE-Erlebnis bieten. Wir gehen davon aus, dass aktuelle ROT-Implementierungen zu Unterbrechungen der Präsenz führen, die das immersive VE-Erlebnis beeinträchtigen. In diesem Artikel stellen wir a

newROT und vergleichen Sie unsere Methode mit vorhandenen ROTs durch

Wir bewerten jede ROT basierend auf Gegenwart,

vom Benutzer eingestuft Präferenz, und vom Benutzer eingestuft Natürlichkeit.

Unsere Methode führt das Konzept eines Distraktors ein - ein Objekt, ein Geräusch oder eine Kombination aus Objekt und Geräusch in der VE, auf die sich der Benutzer konzentriert, während sich die VE dreht, wodurch die Wahrnehmung der Drehung und damit die Wahrscheinlichkeit einer Unterbrechung der Anwesenheit verringert wird. In den drei Studien vergleichen wir unsere neue Distraktor-Technik mit zuvor beschriebenen Techniken. Die ersten beiden Studien wurden in [15] vorgestellt. Die von Razzaque et al. [5], [6], [7] und Williams et al. [9], [10] veranlassen den Benutzer über Audioanweisungen zu einer Neuorientierung, wobei der VE gedreht wird, während der Benutzer den Anweisungen folgt. Nitzsche et al. und Su drehen Sie den VE ohne Vorwarnung oder zusätzliche Anweisungen [4], [8].

## 2 B. ACKGROUND

Es gibt drei Real-Walking-Techniken zur Erkundung großer immersiver VEs, und jede Methode schlägt eine eigene ROT vor, um eine kostenlose Erkundung zu ermöglichen. Das umgeleitete Gehen [5], [6], [7] ist eine Technik, die die Ungenauigkeit der menschlichen Wahrnehmung von Selbstbewegung ausnutzt - die Bewegung des Menschen basierend auf sensorischen Hinweisen - und die Richtung des Blicks des Benutzers durch unmerkliches Drehen des VE ändert um den Benutzer. Das primäre Entwurfsziel dieser Technik ist, dass sie für den Benutzer nicht wahrnehmbar ist. Razzaque schlägt einen ROT mit einem Lautsprecher im VE vor, der den Benutzer auffordert, anzuhalten, den Kopf hin und her zu drehen und weiter in die gleiche Richtung zu gehen. Razzaque stellte fest, dass ein Benutzer aufgrund der Ungenauigkeit der menschlichen Selbstbewegungswahrnehmung am wenigsten wahrscheinlich eine zusätzliche Rotation bemerkt, während er den Kopf dreht. Das umgeleitete Gehen dreht den VE in solchen Momenten.

Die Autoren sind am Institut für Informatik der Universität von North Carolina, Chapel Hill, Campus Box 3175, Sitterson Hall, Chapel Hill, NC 27599-3175. E-Mail: {tpeck, fuchs, whitton}@cs.unc.edu.

Manuskript eingegangen am 28. Juni 2008; überarbeitet am 15. September 2008; akzeptiert 6. Oktober 2008; online veröffentlicht am 21. Oktober 2008.

Empfohlen für die Annahme durch MC Lin.

Informationen zum Abrufen von Nachdrucken dieses Artikels erhalten Sie per E-Mail an: tvcg@computer.org und unter Angabe der IEEECS-Protokollnummer

TVCISI-2008-06-0086.

Digitale Objektkennung Nr. 10.1109 / TVCG.2008.191.

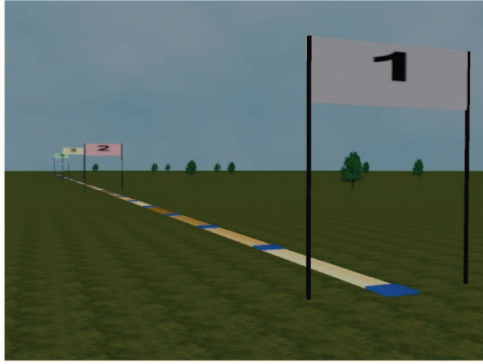


Fig. 1. VE, verwendet in den Experimenten 2 und 3.

Die Bewegungskomprimierung [4], [8] dreht den VE so, dass der vorhergesagte Benutzerpfad der größtmögliche Bogen ist, der in den verfolgten Laborraum passt, und aktualisiert wie das umgeleitete Gehen kontinuierlich den Ort und die Drehung des VE relativ zum Laborraum. Im Gegensatz zum umgeleiteten Gehen macht die Bewegungskomprimierung die Unmerklichkeit der Rotation nicht zu einem Hauptziel. Das bei der Bewegungskomprimierung verwendete ROT ist in den Bewegungskomprimierungsalgorithmus integriert: Wenn sich der Benutzer dem Rand des verfolgten Raums nähert, dreht der VE den vorhergesagten Benutzerpfad in den verfolgten Bereich ohne Warnung (nach dem berechneten Bogen minimaler Krümmung), was den Benutzer verursacht zu spüren, dass sich der VE dreht.

Die skalierte Translationsverstärkung [9] [10] erhöht die Translationsschrittgröße des Benutzers in der VE, ohne die Drehung durch Skalieren der Ausgabe des Trackers zu ändern. Interrante et al. [16] Skalieren Sie die Schrittgröße des Benutzers. Williams et al. untersuchten drei "Zurücksetzen" -Methoden zum Manipulieren des VE, wenn sich der Benutzer dem Rand des verfolgten Raums nähert [17]. Die "Zurücksetzen" -Techniken versuchen, die virtuelle Erfahrung so minimal wie möglich zu stören. Eine Technik besteht darin, das HMD auszuschalten, den Benutzer anzuweisen, rückwärts zur Mitte des Labors zu gehen, und das HMD dann wieder einzuschalten. Der Benutzer befindet sich dann an derselben Stelle in der VE, befindet sich jedoch nicht mehr in der Nähe des Randes des verfolgten Bereichs. Die zweite Technik schaltet das HMD aus, fordert den Benutzer auf, sich einzuschalten, und schaltet das HMD dann wieder ein. Der Benutzer sieht sich dann in der VE in die gleiche Richtung, im verfolgten Raum jedoch in eine andere Richtung. Vorläufige Untersuchungen [17] legen nahe, dass die vielversprechendste der drei Techniken eine akustische Warnung verwendet, um den Benutzer aufzufordern, anzuhalten und sich um 360 Grad zu drehen. Das VE dreht sich mit der doppelten Geschwindigkeit des Benutzers und hört nach 180 Grad auf, sich zu drehen. Der Benutzer soll sich neu orientieren, indem er sich nur um 180 Grad dreht, sollte aber denken, dass er 360 Grad gedreht hat. ThisROT versucht, den Benutzer dazu zu bringen, die zusätzliche Drehung nicht zu bemerken. Der Benutzer soll sich neu orientieren, indem er sich nur um 180 Grad dreht, sollte aber denken, dass er 360 Grad gedreht hat. ThisROT versucht, den Benutzer dazu zu bringen, die zusätzliche Drehung nicht zu bemerken. Der Benutzer soll sich neu orientieren, indem er sich nur um 180 Grad dreht, sollte aber denken, dass er 360 Grad gedreht hat. ThisROT versucht, den Benutzer dazu zu bringen, die zusätzliche Drehung nicht zu bemerken.

Gegenwärtige Techniken weisen Eigenschaften auf, von denen wir glauben, dass sie in der Gegenwart zu Unterbrechungen führen können: Audioanweisungen (unabhängig vom Inhalt des VE) und unerwartet große Rotationen des VE. Unsere Methode unterscheidet sich von den aktuellen Methoden dadurch, dass sie das VE nicht unerwartet dreht oder unnatürliche Audio-Cues verwendet. Wir lenken den Benutzer mit einem sich bewegenden audialen, visuellen oder audialen und visuellen Objekt in der VE ab. Während die Benutzerin ihren Kopf dreht, um dem Distraktor zu folgen, wird der VE um sie herum gedreht. Dies ähnelt einer Methode



Abb. 2. In den Experimenten 2 und 3 verwendetes Laborlayout.

implementiert von Kohli et al. [18] und nutzt die von Razzaque [7] vorgeschlagene Ungenauigkeit der vestibulären Wahrnehmung aus. Wir nehmen an, dass die visuelle Ablenkung die Rotation des VE für den Benutzer weniger wahrnehmbar macht und die immersive virtuelle Erfahrung nicht beeinträchtigt. Wir haben eine Anwenderstudie durchgeführt, um unsere Methode zu bewerten und mit den von Razzaque, Williams und Nitzsche vorgeschlagenen ROTs zu vergleichen. Basierend auf den Ergebnissen haben wir unseren Distraktor verbessert und zwei Folgestudien durchgeführt, um unsere verbesserten Distraktoren anhand der vielversprechendsten ROTs zu bewerten, die durch vorherige Bewertung ermittelt wurden.

### 3 M. ETHODEN

Wir haben drei vom IRB der Universität von North Carolina genehmigte Benutzerstudien innerhalb der Probanden durchgeführt, um ROTs zu bewerten und Distraktoren mit aktuellen ROTs zu vergleichen. Die Probanden waren zwischen allen Experimenten unterschiedlich. Experiment 1 zeigte, dass die Benutzer von den aktuellen ROTs unsere Methode sowie die von Razzaque vorgeschlagene Methode bevorzugten [7]. Wir haben unsere Distraktor-Technik basierend auf dem Feedback der Benutzer aus der ersten Studie modifiziert und anschließend eine Folgestudie durchgeführt, in der die verbesserte Distraktor-ROT mit unserer ursprünglichen Methode und der von Razzaque vorgeschlagenen Methode verglichen wurde [7]. In der dritten Studie wurde die Verbesserung der visuellen Qualität des Distraktors sowie das Hinzufügen von natürlichem Audio zu einem visuellen Distraktor und die Verwendung von Audio allein als Distraktor untersucht.

#### 3.1 Ausrüstung

Jeder Teilnehmer trug ein am Kopf montiertes Virtual Research Systems V8-Display (640 480 Auflösung) verfolgt mit einem 3rdTech HiBall 3000. Die Teilnehmer durften in einer 8 laufen 6 m verfolgter Raum. Die Umgebung

Die in den Experimenten 2 und 3 verwendeten Umgebungen sind in Abb. 1 dargestellt. Eine ähnliche Umgebung wurde in Experiment 1 verwendet. Alle Umgebungen wurden in Stereo mit 60 fps auf einem Pentium D Dualcore-2,8-GHz-Prozessor mit einer NVIDIA GeForce 6800-GPU mit 2 GByte gerendert von RAM. Der auf die Holzoberfläche geklebte Karton war leicht gepolstert und gab Benutzern, die keinen Selbst-Avatar hatten, eine haptische Bestätigung, dass sie die Markierungen auf den Pfaden erreicht hatten (Abb. 2).

#### 3.2 Versuch 1

Unsere erste Studie bewertete die in [4], [5], [6], [7], [8] und [17] vorgeschlagenen oder implementierten ROTs sowie unseren Distraktor

Technik. Die Maßnahmen waren Gegenwart, vom Benutzer eingestuft Vor-Referenz, und vom Benutzer eingestuft Natürlichkeit.

### 3.2.1 Teilnehmer

Vierundzwanzig einführende Psychologiestudenten (13 Männer und 11 Frauen) nahmen an dem Experiment teil. Jeder Proband besuchte das Labor einmal für eine Sitzung von ungefähr 1 Stunde und erhielt für die Teilnahme eine Klassengutschrift. Alle Probanden hatten ein normales oder normales Sehvermögen und waren für den Zweck der Studie naiv. Die Teilnehmer wurden nicht über ROTs informiert und wussten zunächst nicht, dass sich die VE drehen würde.

### 3.2.2 Versuchsaufbau

Experiment 1 bestand aus zwei Teilen, die beide in derselben VE stattfanden. Der VE war ein Außenbereich mit einem 200 m langen geraden Holzweg mit kreisförmigen Markierungen, die 5 m voneinander entfernt waren. Die VE ähnelte der in Experiment 2 verwendeten Umgebung, wie in Abb. 1 gezeigt. Um den virtuellen Pfad zu gehen, gingen die Probanden tatsächlich 5 m über das Labor zu einem Marker, drehten sich um 180 Grad und gingen über das Labor zurück zum nächsten Marker. Die Drehung des VE erfolgte nur während der Neuorientierung. Die Probanden erhielten vor Beginn des Experiments Audioanweisungen über Kopfhörer und vor jedem Versuch Audio-Testanweisungen über Kopfhörer. Versuchsspezifisch

Zu den Anweisungen gehörte das Informieren der Probanden, sich physisch zu drehen, den Kopf hin und her zu drehen oder den Distraktor zu beobachten. Die Probanden hatten keine Trainingseinheit und kein Proband hatte Probleme, das Experiment durchzuführen. Die Probanden wurden angewiesen, entlang des Pfades in der Umgebung zu gehen und an jeder Markierung anzuhalten. Sobald ein Proband eine Markierung erreichte, erlebte das Proband eine von vier ROTs.

Ohne Anweisung drehen (T). Wenn der Benutzer erreicht Mit dem Marker dreht sich der VE sofort um 180 Grad um den Benutzer mit 120 Grad / Sekunde. Durch die Drehung wird der virtuelle Pfad verschoben, sodass er sich in der verfolgten Umgebung befindet. Der Benutzer muss sich in der VE durch Drehen um 180 Grad neu orientieren. Dies ähnelt der in [4] und [8] beschriebenen Technik.

Drehen Sie mit Audioanweisung (TI). Audioanweisungen in Das VE, das über Kopfhörer angezeigt wird, fordert den Benutzer auf, sich um 360 Grad zu drehen und den Pfad fortzusetzen. Der VE dreht sich jedoch um 180 Grad. Die Drehung des VE wird vom Kopf des Benutzers gesteuert und dreht sich mit der doppelten Geschwindigkeit des Kopfes des Benutzers. Die Benutzerin wird getäuscht zu glauben, dass sie sich sowohl in der virtuellen als auch in der realen Welt um 360 Grad gedreht hat, während sie sich in der realen Welt nur um 180 Grad gedreht hat. Der Benutzer muss sich im VE neu ausrichten, indem er nur um 180 Grad dreht. Dies ähnelt einer in [17] beschriebenen Methode.

Kopf drehen mit Audioanweisung (HT). Audio-Anleitung In der VE, die über Kopfhörer angezeigt wird, wird die Benutzerin gebeten, den Kopf hin und her zu drehen und dann den Weg weiter zu gehen. Während die Benutzerin ihren Kopf dreht, beträgt die auf das VE angewendete Drehung das 1,3-fache der Rotationsgeschwindigkeit des Kopfes des Benutzers, bis sich die VE um 180 Grad gedreht hat. Die Teilnehmerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht. Dies ähnelt einer in [7] beschriebenen Methode.

Kopf drehen mit visueller Anweisung, Distraktor (D). Eine Bewegung Kugel erscheint vor dem Benutzer. Der Benutzer beobachtet die

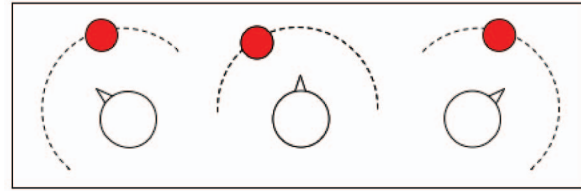


Abb. 3. Der Pfad aller Distraktoren ist als Bogen (gestrichelte Linie) direkt vor dem Benutzer mit sinusförmiger Verschiebung entlang des Bogens definiert. Der Distraktor bewegt sich entlang des Bogens, wodurch das Subjekt seinen Kopf hin und her dreht, um den Distraktor im Blick zu behalten. Der Distraktor wird angezeigt 1,75 m vom Benutzer entfernt, und die Höhe aller Distraktoren beträgt ca. 0,5 m. In jedem der drei Experimente wird für alle Distraktoren dieselbe Pfadbahn verwendet.

Kugel, wenn sie sich in einem horizontalen Bogen bewegt und weiter auf dem Weg geht, sobald die Kugel verschwindet. Die auf das VE angewendete Drehung beträgt das 1,5-fache der Drehzahl des Kopfes des Benutzers, bis sich das VE um 180 Grad gedreht hat. Der Distraktor bewegt sich mit sinusförmiger Verschiebung entlang des Bogens.

ment, Amplitude  $\frac{1}{4}$  0: 5 m, und Frequenz  $\frac{1}{4}$  8 Grad = Sekunde.

Die Benutzerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht. Der Weg und die Geschwindigkeit des Distraktors sind in Abb. 3 beschrieben.

Alle Rotationsraten wurden aus Pilotversuchen bestimmt. Bei allen ROTs wird die Drehung des VE nur erhöht, wenn die Drehrichtung des Kopfes in der gleichen Drehrichtung des VE liegt.

Teil I des Experiments bewertete das subjektive Gefühl der Anwesenheit des Benutzers in der Umgebung und bestand aus vier Versuchen, wobei jeweils einer der vier ROTs verwendet wurde. Die Reihenfolge der Versuche wurde unter den Probanden ausgeglichen. Jeder Versuch bestand aus vier Teilversuchen, bei denen der Proband den virtuellen Pfad entlang ging und an Markierungen entlang des Pfades anhielt. Wenn das Subjekt eine Markierung erreicht, stoppt ein ROT das Subjekt und dreht das VE. Jeder Versuch bestand darin, zu vier Markern zu gehen und viermal dieselbe ROT zu erleben. Die Probanden entfernten dann das HMD und füllten einen modifizierten Fragebogen zur Anwesenheit von Slater-Usch-Steed (SUS) aus [19] [20].

Teil II bestand aus 12 Versuchen mit jeweils zwei ROTs. Die Versuche wurden ausgeglichen und jeder ROT wurde zweimal mit jedem anderen ROT verglichen, wobei die Reihenfolge umgekehrt wurde, um die Möglichkeit von Auftragseffekten auszuschließen. Bei jedem Versuch musste der Proband zu einem Marker gehen, eine ROT erfahren, dann zum nächsten Marker gehen und eine andere ROT erleben. Das Subjekt traf dann eine erzwungene Wahl, welche ROT sie bevorzugten und welche ROT am natürlichsten war. Am Ende jedes Versuchs wurden die Probanden vom Experimentator gebeten, zu erklären, warum sie eine ROT einer anderen vorzogen.

Am Ende des Experiments füllten die Probanden eine Exit-Umfrage aus und wurden gebeten, die Unterschiede zwischen den vier ROTs zu beschreiben, zu erklären, was sie an jedem der ROTs mochten oder nicht mochten, und die vier ROTs nach Natürlichkeit und Präferenz zu ordnen.

Wir verwendeten einen modifizierten SUS-Präsenzfragebogen [19] [20], um das subjektive Präsenzgefühl des Benutzers zu bewerten. Natürlichkeit und Präferenz wurden jeweils auf zwei Arten gemessen: Am Ende des Experiments stuften die Probanden die ROTs ein, und während des Experiments erstellten die Probanden eine Zwangsauswahl zwischen ROT-Paaren.

TABELLE 1  
Experiment 1 - Mittlere HIGH-Werte an  
SUS-Anwesenheitsfragebogen

ROT	$\bar{x}$
D	0.47917
HT	0.50000
TI	0.28472
T	0.44444

TABELLE 2  
Experiment 1 - Ergebnisse der logistischen Regression von  
SUS-Anwesenheitsfragebogen

Contrast	$\chi^2(1)$	$p(\alpha = 0.05)$
D vs. HT	0.15	0.6980
D vs. TI	3.35	0.0672
D vs. T	0.02	0.8912
HT vs. TI	11.97	0.0005
HT vs. T	0.46	0.4986
T vs. TI	6.39	0.0115

Statistisch signifikante Ergebnisse sind mit einem Kästchen gekennzeichnet.

D - Distractor  
HT - Head turn with audio instruction  
TI - Turn with audio instruction  
T - Turn without instruction

Abb. 4. Experiment 1 - Legende.

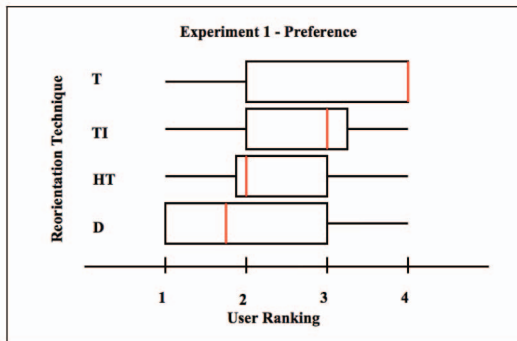


Abb. 5. Experiment 1 - Vom Benutzer bewertete Präferenzwerte von 1 (am meisten bevorzugt) bis 4 (am wenigsten bevorzugt). Standard-Box-and-Whisker-Diagramme mit dem Median in Rot.

### 3.2.3 Ergebnisse

Tabellen 1 und 2 und Fign. 4, 5, 6, 7 und 8 zeigen unsere Ergebnisse aus Experiment 1. Die SUS-Präsenzwerte wurden unter Verwendung der gleichen binomialen logistischen Regressionstechniken analysiert, die in früheren Verwendungen des Fragebogens angewendet wurden [1]. Die Antwort auf jede Frage wurde von der Skala 1 bis 7 in einen Binärwert konvertiert: Antworten von 5, 6 oder 7 wurden in HIGH (1) und Werte unter 5 in LOW (0) konvertiert. Durch diese Konvertierung wird vermieden, dass die subjektiven Bewertungen als Intervalldaten behandelt werden. Nach dieser Konvertierung haben wir die Daten weiter transformiert, um für jeden Teilnehmer eine neue Antwortvariable zu erstellen: die Anzahl ihrer HIGH-Antworten. Die Tabellen 1 und 2 zeigen den durchschnittlichen Anteil der HIGH-Antworten für jede der vier Bedingungen sowie die paarweisen Kontraste der Bedingungen unter Verwendung der logistischen Regression, die für mehrere Beobachtungen für jeden Teilnehmer angepasst wurde.

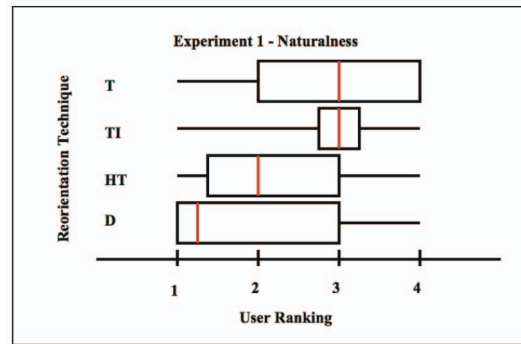


Abb. 6. Experiment 1 - Vom Benutzer bewertete Natürlichkeitswerte von 1 (am natürlichsten) bis 4 (am wenigsten natürlich). Standard-Box-and-Whisker-Diagramme mit dem Median in Rot.

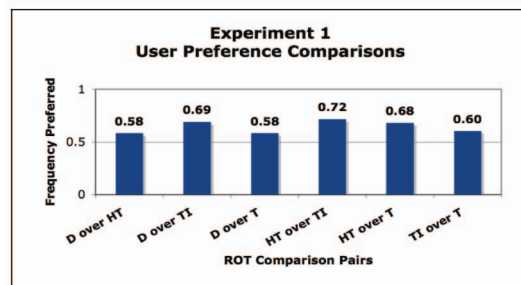


Abb. 7. Experiment 1 - Benutzer erzwungene Auswahlvergleiche der Präferenz zwischen ROTs.

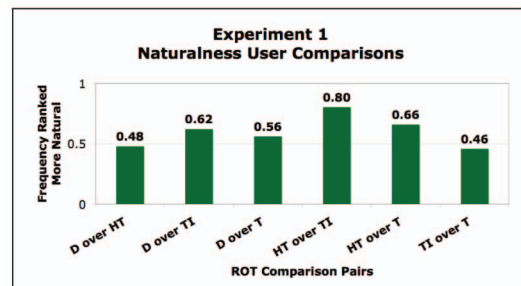


Abb. 8. Experiment 1 - Benutzer erzwungene Auswahlvergleiche der Natürlichkeit über ROTs hinweg.

zwischen HT gegen TI  $\delta z \delta 1 p \frac{1}{4} 11.97$ ;  $p < 0.05$   $p$  und T.

gegen TI  $\delta z \delta 1 p \frac{1}{4} 6.39$ ;  $p < 0.05$   $p$ . Wir haben auch einen Trend gefunden

zwischen D. gegen TI  $\delta z \delta 1 p \frac{1}{4} 3.35$ ;  $p \frac{1}{4} 0.0672$   $p$ .

Feigen 5 und 6 zeigen die durchschnittlichen Benutzerrankings, wobei 1 ist das höchste und 4 ist das niedrigste, von Präferenz bzw. Natürlichkeit durch ROT. Die Daten wurden mit Friedmans ANOVA analysiert. Die vom Benutzer eingestufte Natürlichkeit unterschied sich signifikant zwischen den ROTs:  $z \delta 3 p \frac{1}{4} 9: 524$ ,  $p < 0.05$ ,

ebenso wie die vom Benutzer eingestufte Präferenz  $z \delta 3 p \frac{1}{4} 10: 958$ ;  $p < 0.01$   $p$ .

Wilcoxon-Tests wurden verwendet, um diesen Befund zu erweitern, und eine Bonferroni-Korrektur wurde angewendet. Alle Effekte werden mit einem Signifikanzniveau von 0,0125 angegeben. Die Wilcoxon-Teststatistik lautet T. o

und sollte nicht mit unserem Zustand verwechselt werden T. T.

Probanden signifikant gefunden HT natürlicher sein als TI  $\delta T. o \frac{1}{4} 220: 00$ ;  $r \frac{1}{4} 0.38$   $p$  und deutlich bevorzugt D. und

HT zu T, T. o  $\frac{1}{4} 237: 50$ ,  $r \frac{1}{4} 0.37$  und T. o  $\frac{1}{4} 235: 50$ ,  $r \frac{1}{4} 0.36$ , beziehungsweise.

Feigen 7 und 8 zeigen die Benutzerpräferenz und die vom Benutzer eingestufte Natürlichkeit von gepaarten ROTs. Die Häufigkeit, mit der ein Thema



Bevorzugt wurde eine ROT gegenüber einer anderen mit einer zufälligen Auswahl, einer Häufigkeit von 0,50, unter Verwendung von Wilcoxon-Tests verglichen. Wir fanden die Probanden signifikant bevorzugt D. Über TI  $\delta$  T.  $\circ$   $\frac{1}{4}$  184: 00;

$p < 0:05$ ;  $r$   $\frac{1}{4}$  0:31  $\beta$ , HT Über TI  $\delta$  T.  $\circ$   $\frac{1}{4}$  176: 00;  $p < 0:05$ ;

$r$   $\frac{1}{4}$  0:35  $\beta$ , und HT Über T.  $\delta$  T.  $\circ$   $\frac{1}{4}$  165;  $p < 0: 5$ ;  $r$   $\frac{1}{4}$  0:28  $\beta$  und

Probanden signifikant berücksichtigt HT natürlicher sein

als TI  $\delta$  T.  $\circ$   $\frac{1}{4}$  170: 00;  $p < 0:01$ ;  $r$   $\frac{1}{4}$  0:50  $\beta$ .

### 3.2.4 Diskussion

Die Exit-Umfragen und Antworten der Probanden während des Experiments lieferten nützliche Informationen zu jedem ROT. Zu den Gründen für die positive Bewertung von ROTs gehörten: Die Methode lieferte Anweisungen (entweder Audio oder Video), sie bemerkten keine Rotation und die Methode war realistisch oder natürlich. wir glauben das D. und HT wurden von Probanden höher bewertet als T.

und TI weil beide das VE drehen, während das Subjekt das Vestibularsystem durch Drehen des Kopfes stimuliert, und die Drehung des VE weniger wahrscheinlich bemerkt.

Wir fanden heraus, dass die Probanden während der ersten Teilversuche von verwirrt waren T. und brauchte oft zusätzliche Anweisungen vom Experimentator, um zu bestimmen, in welche Richtung er im Labor gehen soll. Nach dem ersten Unterversuch von T, Ein Thema rief aus: "Wo bin ich?" und musste angehalten werden, bevor man den Laborraum verließ. Dies trat bei mehreren Probanden auf; Nach drei Teilversuchen benötigten die Probanden jedoch häufig keine zusätzlichen Anweisungen mehr, um die richtige Richtung für das Gehen im Labor zu bestimmen. Themen beschrieben T. als schwindelerregend und beschwerte sich darüber, keine Orientierung in der VE zu haben, nachdem sich die Welt "gedreht" hatte. Einige Themen gefunden T. „lustig“ und einfach zu sein, weil das Thema nur auf „den Flip“ gewartet hat und sich dann die virtuelle Welt wie erwartet bewegt hat.

Die Probanden wurden gelegentlich durch die Audioanweisungen in verwirrt TI Bitten Sie das Motiv, sich um 360 Grad zu drehen, aber sehen Sie, dass sich der VE nicht mehr dreht, nachdem sich das Motiv nur um 180 Grad gedreht hat. Die Motive drehten sich in der realen Welt gelegentlich um 360 Grad und dann um weitere 180 Grad, um die richtige Richtung entlang des Pfades zu gehen. Die Probanden bemerkten auch, dass sich der VE viel schneller drehte als sie sich drehten. Ein Proband beklagte sich über die körperlose Stimme, die nicht in die Umgebung passte. Die Probanden lobten diese Technik, um ihnen eine gewisse Kontrolle über die VE zu geben, indem sie sich drehten, wenn sich die Person drehte, und die Probanden fanden auch Audioanweisungen hilfreich, um zu bestimmen, wie sie sich in der VE umdrehen sollten.

Beim Benutzen HT, Die Probanden beklagten sich darüber, dass sie bemerkten, dass der Pfad in VE nicht am richtigen Ort war, als sie anfangen, den Kopf zu drehen, kommentierten aber auch, dass sie die Rotation nicht so oft sahen wie andere ROTs. Einige Probanden hörten gelegentlich auf, den Kopf zu drehen, bevor sich der VE um 180 Grad gedreht hatte, und standen und warteten, bis sie weitere Anweisungen erhielten, um den Kopf weiter zu drehen. Diese Probanden würden nach drei Teilversuchen keine zusätzlichen Anweisungen mehr benötigen. Die Probanden hatten gern die Kontrolle über die Rotation des VE, die durch Drehen des Kopfes angeboten wurde.

Die Probanden bemerkten, dass der Distraktor schwindelerregend war, weil er sich zu schnell bewegte, oder dass sie ihren Kopf nicht schnell genug drehen konnten, um ihn im Blick zu behalten. Die Probanden beklagten sich auch darüber, dass ein „großer roter Ball nicht normal ist“. Einige Probanden beklagten sich auch über das plötzliche Erscheinen und Verschwinden des Balls. Andere Themen gefunden D. unterhaltsam und engagiert und fand das wann



Abb. 9. In Experiment 2 verwendeter Schmetterling.

Als sie den Ball betrachteten, achteten sie nicht auf die sich bewegende Landschaft.

Unsere Ergebnisse haben gezeigt, dass D. und HT waren bessere ROTs als TI und T. durch Erzeugen einer erhöhten Präsenz, einer höheren Benutzerpräferenz und einer natürlicheren Benutzerfreundlichkeit. Das Feedback der Benutzer schlug jedoch weitere Verbesserungen vor, die in Experiment 2 untersucht wurden.

### 3.3 Versuch 2

Basierend auf den Ergebnissen und dem Feedback der Benutzer aus Experiment 1 haben wir unsere Distraktor-Methode verbessert, indem wir einen Schmetterling anstelle einer Kugel verwendet haben, da dies für das verwendete VE natürlicher ist. Das Schmetterlingsmodell ist in Abb. 9 dargestellt. Wir haben den Schmetterling auch in den VE hinein- und herausfliegen lassen, anstatt plötzlich zu erscheinen und zu verschwinden. Dies ist eine häufige Beschwerde des Benutzers über den Distraktor aus Experiment 1. Wir haben unseren verbesserten Distraktor mit den vielversprechendsten ROTs verglichen aus Experiment 1: Unser ursprünglicher Distraktor mit roter Kugel und Kopfdrehung mit Audioanweisung [7].

Um den Schmetterling naturgetreuer erscheinen zu lassen und aufgrund der Beschwerden aus Experiment 1, dass der Distraktor „schwindelerregend“ sei, haben wir die Geschwindigkeit verlangsamt, mit der der Schmetterling um das Motiv herumflog. Um den Unterschied zwischen natürlichen und unnatürlichen Ablenkern zu vergleichen, haben wir auch die Geschwindigkeit der Kugel geändert, um sie an die des Schmetterlings anzupassen.

#### 3.3.1 Teilnehmer

Zwölf Teilnehmer (sechs Männer und sechs Frauen), hauptsächlich Studenten der Informatik im Alter von 20 Jahren, nahmen an dem Experiment teil. Jeder Proband besuchte das Labor einmal für eine Sitzung von ungefähr 1 Stunde und erhielt 7,50 USD für die Teilnahme während der Woche und 10,00 USD für die Teilnahme am Wochenende. Alle Probanden hatten ein normales oder normales Sehvermögen und waren für den Zweck der Studie naiv. Die Teilnehmer wurden nicht über ROTs informiert und wussten zunächst nicht, dass sich die VE drehen würde.

#### 3.3.2 Versuchsaufbau

Experiment 2 bestand aus zwei Teilen, die beide in derselben VE stattfanden. Der VE war ein Außenraum ähnlich Experiment 1 mit einem 180 m langen geraden Holzweg und quadratischen Markierungen, die 5 m voneinander entfernt waren. Die Umgebung ist in Abb. 1 dargestellt. Die Probanden wurden angewiesen, auf dem angegebenen Pfad in der Umgebung zu gehen und zu

## TISCH 3

Experiment 2 - Mittlerer Prozentsatz der HIGH-Scores  
auf SUS Presence Questionnaire

ROT	$\bar{x}$
ID	0.52778
D	0.45833
HT	0.41667

Halten Sie an jeder Markierung entlang des Pfades an. Sobald ein Proband Amarker erreicht hatte, erlebte das Proband eine von drei ROTs.

## Kopf drehen mit Audioanweisung (HT). Audioanweisungen

Bitte Sie die Benutzerin in der VE, die über Kopfhörer angezeigt wird, den Kopf hin und her zu drehen und dann weiterzugehen

der Weg. Während die Benutzerin ihren Kopf dreht, beträgt die auf das VE angewendete Drehung das 1,3-fache der Rotationsgeschwindigkeit des Kopfes des Benutzers, bis sich die VE um 180 Grad gedreht hat. Die Teilnehmerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht. Dies ähnelt einer in [7] beschriebenen Methode.

## Kopf drehen mit visueller Anweisung, Distraktor (D). EIN

bewegliche Kugel erscheint vor dem Benutzer. Der Benutzer beobachtet die Kugel, während sie sich in einem horizontalen Bogen bewegt, und geht den Weg weiter, sobald die Kugel verschwindet. Die auf das VE angewendete Drehung beträgt das 1,5-fache der Drehzahl des Kopfes des Benutzers, bis sich das VE um 180 Grad gedreht hat. Der Distraktor bewegt sich entlang des Bogens

mit sinusförmiger Verschiebung, Amplitude  $\frac{1}{4}$  0: 5 m, und

Frequenz  $\frac{1}{4}$  2 Grad / Sekunde. Die Benutzerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht. Der Weg und die Geschwindigkeit des Distraktors sind in Abb. 3 beschrieben.

Kopfdrehung mit visueller Anweisung, verbesserter Distraktor (ID). Ein nächster Marker und erlebe einen anderen ROT. Das Thema Der Schmetterling fliegt in die Szene in Richtung des Motivs und dann in einem horizontalen Bogen vor dem Motiv. Das Motiv geht weiter den Weg entlang, sobald der Schmetterling wegfiegt. Während der Benutzer den Schmetterling beobachtet, beträgt die auf das VE angewendete Drehung das 1,5-fache der Rotationsgeschwindigkeit des Kopfes des Benutzers, bis sich das VE um 180 Grad gedreht hat. Der Distraktor bewegt sich mit sinusförmiger Verschiebung entlang des Bogens.

Amplitude  $\frac{1}{4}$  0: 5 m, und Frequenz  $\frac{1}{4}$  2 Grad / Sekunde. Das

Die Benutzerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht.

In Teil I des Experiments wurde das subjektive Präsenzgefühl des Benutzers bewertet, wie bewusst der Benutzer sich umdrehte und wie bewusst der Benutzer die VE-Rotation war. Teil I bestand aus drei Versuchen mit jeweils einem ROT. Die Reihenfolge der Versuche wurde unter den Probanden ausgeglichen. Jeder Versuch bestand aus acht Teilversuchen, bei denen der Proband den virtuellen Pfad entlang zur nächsten Markierung entlang des Pfades gehen musste. Sobald das Subjekt eine Markierung erreicht hat, stoppt ein ROT das Subjekt und dreht das VE. Jeder Versuch bestand darin, zu acht Markern zu gehen und acht Mal dieselbe ROT zu erleben. Die Probanden entfernten dann das HMD und füllten den SUS-Anwesenheitsfragebogen aus. Zusätzlich zu

Tabelle 4

Experiment 2 - Ergebnisse der logistischen Regression  
des SUS-Präsenzfragebogens

Contrast	$\chi^2(1)$	$p(\alpha = 0.05)$
ID vs. D	1.09	0.2974
ID vs. HT	1.72	0.1895
D vs. HT	0.63	0.4291

ID - Improved distractor  
D - Distraktor  
HT - Head turn with audio instruction

Abb. 10. Experiment 2 - Legende.

Anwesenheitsfragebogen, beantworteten die Probanden auch die folgende Frage.

Haben Sie während Ihrer virtuellen Erfahrung etwas Unnatürliches oder Seltsames bemerkt? Bitte bewerten Sie Folgendes auf einer Skala von 0 bis 7, wobei 0 % tat nicht bemerken oder passieren, 7 % sehr offensichtlich und nahm von meiner virtuellen Erfahrung.

- \_\_\_ Ich hatte das Gefühl, als würde ich mich umdrehen.
- \_\_\_ Ich habe gesehen, wie die virtuelle Welt kleiner oder größer wurde. \_\_\_ Ich sah die virtuelle Welt flackern.
- \_\_\_ Ich habe gesehen, wie sich die virtuelle Welt drehte.
- \_\_\_ Ich hatte das Gefühl, größer oder kleiner zu werden.
- \_\_\_ Ich habe gesehen, wie die virtuelle Welt heller oder dunkler wurde.

Wir haben interessante Fragen eingebettet, Fragen zum rotierenden VE und zum Drehen des Subjekts, und nur die Ergebnisse für diese Fragen analysiert.

Teil II bestand aus sechs Versuchen mit jeweils zwei ROTs. Die Versuche wurden ausgeglichen und jeder ROT wurde zweimal mit jedem anderen ROT verglichen, wobei die Reihenfolge umgekehrt wurde, um die Möglichkeit von Auftragseffekten auszuschließen. Bei jedem Versuch musste der Proband zu einem Marker gehen, eine ROT erfahren und dann zum gehen

Marker und erlebe einen anderen ROT. Das Thema

Dann traf er eine erzwungene Entscheidung, welche ROT sie bevorzugten und welche ROT am natürlichsten war. Die Probanden wurden auch gebeten zu erklären, warum sie eine ROT einer anderen vorzogen.

Am Ende des Experiments füllten die Probanden eine Exit-Umfrage aus und stufen die drei ROTs nach Natürlichkeit und Präferenz ein.

## 3.3.3 Ergebnisse

Tabellen 3 und 4 und Fign. 10, 11, 12, 13, 14 und 15 zeigen unsere Ergebnisse aus Experiment 2. Die Analyse der SUS-Anwesenheitsbewertungen wurde auf die gleiche Weise wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben durchgeführt. Die Tabellen 3 und 4 zeigen den Anteil der HIGH-Antworten für jede der drei Bedingungen und die Ergebnisse der paarweisen Zustandskontraste. Wir fanden keine statistische Signifikanz bei vom Benutzer gemeldeten Anwesenheitswerten zwischen ROTs.

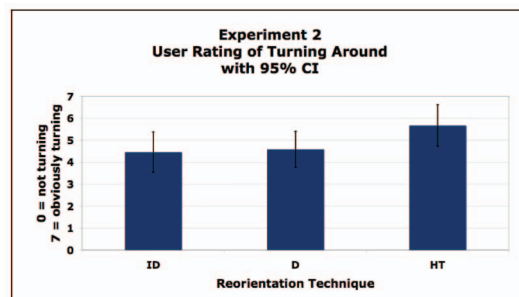


Abb. 11. Experiment 2 - Benutzerbewertung: „Ich hatte das Gefühl, mich umzudrehen.“

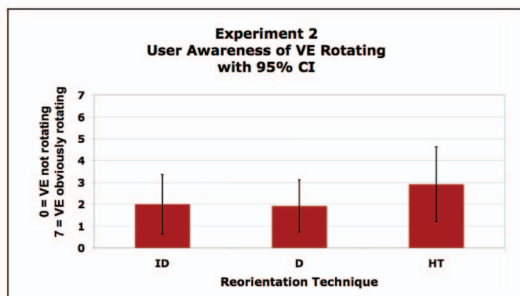


Abb. 12. Experiment 2 - Benutzerbewertung: „Ich habe gesehen, wie sich die virtuelle Welt drehte.“

Fig. 11 zeigt die durchschnittlichen Benutzerbewertungen nach ROT der Antwort auf die Frage nach dem Gefühl, sich umzudrehen. Wir haben die Daten mit Friedmans ANOVA analysiert und signifikante Unterschiede zwischen den ROTs festgestellt:

$p < 0.05$ . Wilcoxon-Tests wurden verwendet, um diesen Befund zu verfolgen. Eine Bonferroni-Korrektur wurde angewendet und alle Effekte werden mit einem Signifikanzniveau von 0,025 angegeben. Die Probanden fühlten sich deutlich mehr an HT als D.  $\delta T$ :  $\alpha/4$  51:50;  $r/4$  0:74  $\beta$ , und es wurde ein Trend mit Probanden gefunden, die das Gefühl hatten, sich mehr zu melden HT als ICH WÜRD  $\delta T$ :  $\alpha/4$  46:50;  $r/4$  0:56  $\beta$ .

Fig. 12 zeigt durchschnittliche Benutzerbewertungen nach ROT der Antwort auf die Frage über Probanden, die bemerken, dass sich der VE dreht. Mit Friedmans ANOVA fanden wir keinen signifikanten Unterschied zwischen ROTs:  $\delta T$ :  $\alpha/4$  3: 630,  $p/4$  0: 187.

Feigen 13 und 14 zeigen Ergebnisse aus der vom Benutzer eingestuft Präferenz und Natürlichkeit nach ROT, wobei 1 die höchste Präferenz und 3 die niedrigste ist. Es wurden Trends zwischen ROTs und Präferenzrankings der Probanden gefunden

$\delta T$ :  $\alpha/4$  4: 667;  $p/4$  0: 108  $\beta$  und themenbezogene Natürlichkeit  $\delta T$ :  $\alpha/4$  2  $\beta/4$  5: 167;  $p/4$  0: 080  $\beta$ .

Fig. 15 zeigt die Benutzerpräferenz und die vom Benutzer eingestufte Natürlichkeit gepaarter ROTs. Die Häufigkeit, mit der ein Proband eine ROT einer anderen vorzog, wurde unter Verwendung von Wilcoxon-Tests mit einer zufälligen Auswahl von 0,50 verglichen. Die Probanden bevorzugten beide ICH WÜRD und D. zu HT ( $T$ :  $\alpha/4$  65:00,  $r/4$  0:47, und

$T$ :  $\alpha/4$  77:00,  $r/4$  0:51, jeweils) und eingestuft ICH WÜRD und D. natürlicher sein als HT ( $T$ :  $\alpha/4$  82:50,  $r/4$  0:44, und

$T$ :  $\alpha/4$  65:00,  $r/4$  0:47, beziehungsweise). Ein Trend deutet darauf hin ICH WÜRD ist natürlicher als D.  $\delta T$ :  $\alpha/4$  63:00;  $r/4$  0:28;  $p/4$  0:11  $\beta$ .

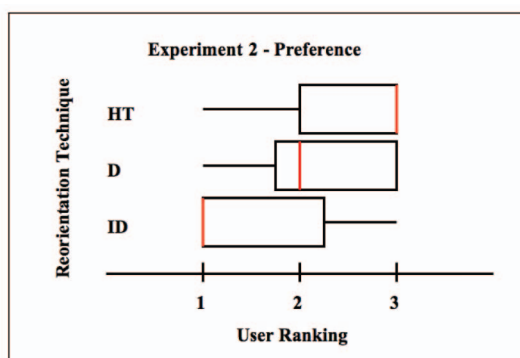


Abb. 13. Experiment 2 - Vom Benutzer bewertete Präferenzwerte von 1 (am meisten bevorzugt) bis 3 (am wenigsten bevorzugt). Standard-Box-and-Whisker-Diagramme mit dem Median in Rot.

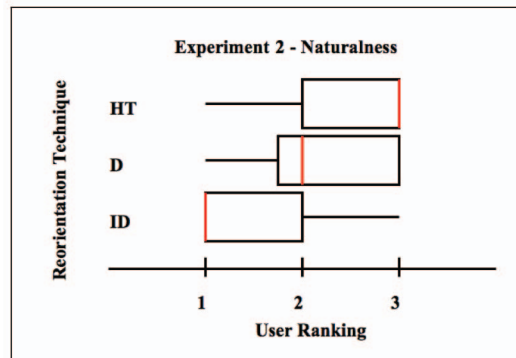


Abb. 14. Experiment 2 - Vom Benutzer bewertete Natürlichkeitswerte von 1 (am natürlichsten) bis 3 (am wenigsten natürlich). Standard-Box-and-Whisker-Diagramme mit dem Median in Rot.

### 3.3.4 Diskussion

Die Ergebnisse aus Experiment 2 legen nahe, dass ROTs, die Distraktoren verwenden, die Ähnlichkeit des Gefühls eines Benutzers verringern, als würden sie sich umdrehen, während sie sich neu orientieren. Die Ergebnisse legen auch nahe, dass Probanden ROTs mit Distraktoren bevorzugten und sie als natürlicher betrachten. Wir erklären den Unterschied zwischen D. und HT in Experiment 2 im Vergleich zu Experiment 1 durch die verringerte Geschwindigkeit der Kugel von 8 Grad / Sekunde auf 2 Grad / Sekunde.

Der VE dreht sich 1,3-mal so schnell wie der Kopf des Benutzers HT und das 1,5-fache der Drehzahl des Kopfes des Benutzers D. und ICH WÜRD. Dieser Unterschied in der VE-Drehung relativ zur Kopfdrehgeschwindigkeit kann erklären, warum es keinen signifikanten Unterschied zwischen ROTs und dem Bewusstsein des Benutzers für die VE-Drehung gab. Weitere Studien, in denen unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten des VE mit Kopfdrehgeschwindigkeiten verglichen werden, können weitere Unterschiede zwischen ROTs mit und ohne Distraktoren aufzeigen.

Umfragen und Antworten zum Beenden während Experiment 2 lieferten erneut nützliche Informationen zu jedem ROT. In dem HT Zustand Probanden fanden es ohne Grund ärgerlich und "albern", den Kopf hin und her zu drehen. Ein Thema bemerkte: "Die Stimme zerstört es, dort zu sein." Die Probanden waren sich bewusst, dass sich der Pfad bewegt hatte, als sie ihren Kopf drehten, und beklagten sich darüber, dass sie verloren waren als mit visuellen Anweisungen. Zwei Probanden gefunden HT mehr Freiheit und die Möglichkeit zu bieten, sich während der Neuorientierung in der Umgebung umzusehen.

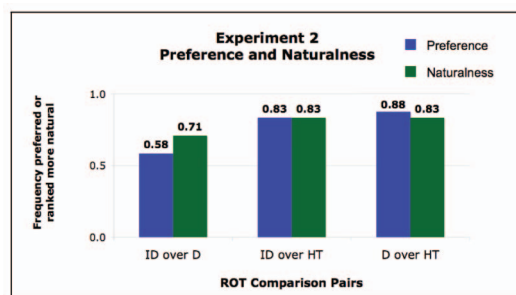


Abb. 15. Experiment 2 - Benutzer erzwungene Auswahlvergleiche von Präferenz und Natürlichkeit über ROTs hinweg.

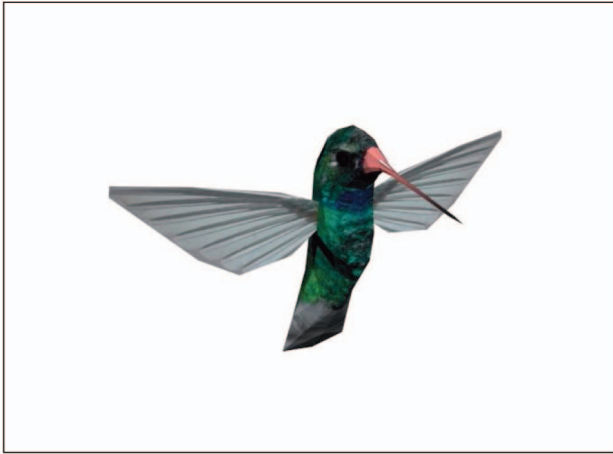


Abb. 16. In Experiment 3 verwendeter Kolibri.

Themen gefunden D. leicht zu folgen und einige Themen gefunden D. weniger ablenkend als die flatternden Schmetterlingsflügel von ICH WÜRDE. Die Probanden beschwerten sich weiterhin darüber, dass die Kugel für die Umwelt nicht natürlich sei, und stellten fest, dass sie „den Gesetzen der Physik widerspricht“. Die Probanden äußerten sich zur Natürlichkeit des Schmetterlings, aber einige empfanden das Flattern der Schmetterlingsflügel als „ärgerlich“. Die Probanden genossen es, den Schmetterling in die Szene hinein- und herausfliegen zu sehen, aber in Experiment 2 wurden keine negativen Kommentare zum plötzlichen Erscheinen und Verschwinden der Kugel abgegeben. Aufgrund der zahlreichen Beschwerden über das plötzliche Erscheinen und Verschwinden der Kugel in Experiment 1 glauben wir, dass der Ablenker den Benutzer in ein für die Szene natürliches Herrenhaus einbeziehen sollte.

### 3.4 Versuch 3

Basierend auf dem Feedback der Benutzer aus Experiment 2 haben wir unsere Distraktormethode durch Verwendung eines realistischeren Modells verbessert: eines Kolibris (Abb. 16). Zusätzlich zur Verwendung eines realistischeren Modells, das mit einer realistischen Texturkarte erstellt und von einem Künstler modelliert wurde, haben wir untersucht, wie wir unserem visuellen Distraktor Sound hinzufügen und Sound allein als Distraktor verwenden können. Alle Distraktoren in diesem Experiment hatten den gleichen Bewegungspfad und die gleiche Geschwindigkeit wie der Schmetterling aus Experiment 2.

#### 3.4.1 Teilnehmer

Zwölf Teilnehmer, hauptsächlich Doktoranden und Forscher (sieben Männer und fünf Frauen), nahmen an dem Experiment teil. Die Altersspanne lag zwischen 23 und 50 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 32 Jahren. Jeder Proband besuchte das Labor einmal für eine Sitzung von ungefähr 1 Stunde und erhielt 7,50 USD für die Teilnahme während der Woche und 10,00 USD für die Teilnahme am Wochenende. Alle Probanden hatten ein normales oder korrigiertes tonormales Sehvermögen und waren für den Zweck der Studie naiv. Die Teilnehmer wurden nicht über ROTs informiert und wussten zunächst nicht, dass sich die VE drehen würde.

#### 3.4.2 Versuchsaufbau

Experiment 3 bestand aus zwei Teilen, die beide in derselben VE stattfanden. Das VE war das gleiche wie in Experiment 2 und bestand aus einem 180 m langen geraden Holzweg mit quadratischen Markierungen, die 5 m voneinander entfernt waren. Themen waren

angewiesen, auf dem Weg in der Umgebung zu gehen und an jeder Markierung auf dem Weg anzuhalten. Bei Erreichen jedes Markers erlebte das Subjekt eine von drei ROTs.

Distraktor, visuell (DV). Ein Kolibri fliegt in die Szene auf das Motiv zu und fliegt dann in einem horizontalen Bogen vor dem Motiv. Das Motiv geht weiter den Weg entlang, sobald der Kolibri wegfiegt. Während der Benutzer den Kolibri beobachtet, beträgt die auf das VE angewendete Drehung das 1,5-fache der Drehgeschwindigkeit des Kopfes des Benutzers, bis sich das VE um 180 Grad gedreht hat. Der Distraktor bewegt sich mit sinusförmiger Verschiebung entlang des Bogens. Amplitude  $\frac{1}{4}$  0: 5 m, und

Frequenz  $\frac{1}{4}$  2 Grad / Sekunde. Die Benutzerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht.

Distraktor, visuell und Audio (DVA). Ein Kolibri fliegt in die Szene in Richtung des Motivs und fliegt dann in einem horizontalen Bogen vor dem Motiv. Der Kolibri wird von räumlichem Audio von Kolibriflügeln begleitet, die über Kopfhörer flattern. Der Kolibri hat eine sinusförmige Verschiebung entlang des Bogens. Amplitude  $\frac{1}{4}$  0: 5 m,

und Frequenz  $\frac{1}{4}$  2 Grad / Sekunde. Das Motiv geht weiter den Weg entlang, sobald der Kolibri wegfiegt. Während der Benutzer den Kolibri beobachtet, beträgt die auf das VE angewendete Drehung das 1,5-fache der Drehgeschwindigkeit des Kopfes des Benutzers, bis sich das VE um 180 Grad gedreht hat. Die Benutzerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht.

Distraktor, Audio (DA). Ein Geräusch von Kolibri-Flügeln fliegt in die Szene auf das Motiv zu und bewegt sich dann räumlich in einem horizontalen Bogen vor dem Motiv. Der Schall hat eine sinusförmige Verschiebung entlang des Bogens.

Amplitude  $\frac{1}{4}$  0: 5 m, und Frequenz  $\frac{1}{4}$  2 Grad / Sekunde. Dort ist kein visueller Kolibri, der den Klang begleitet. Das Motiv geht weiter den Weg entlang, sobald das Geräusch des Kolibris wegfiegt. Während der Benutzer dem Kolibri zuhört, wird die Drehung auf den VE angewendet

1,5-fache Drehzahl des Kopfes des Benutzers, bis sich der VE um 180 Grad gedreht hat. Die Benutzerin richtet sich neu aus, indem sie sich in der realen Welt um 180 Grad dreht.

Experiment 3 hatte den gleichen Versuchsaufbau wie Experiment 2. Teil I des Experiments bewertete das subjektive Präsenzgefühl des Benutzers, wie bewusst der Benutzer sich umdrehte und wie bewusst der Benutzer die VE-Rotation war. Teil I bestand aus drei Versuchen mit jeweils einem ROT. Die Reihenfolge der Versuche wurde unter den Probanden ausgeglichen. Jeder Versuch bestand aus acht Teilversuchen, bei denen der Proband den virtuellen Pfad entlang zur nächsten Markierung entlang des Pfades gehen musste. Sobald das Subjekt eine Markierung erreicht hat, stoppt ein ROT das Subjekt und dreht das VE. Jeder Versuch bestand darin, zu acht Markern zu gehen und acht Mal dieselbe ROT zu erleben. Die Probanden entfernten dann das HMD und füllten den SUS-Anwesenheitsfragebogen aus. Neben dem Anwesenheitsfragebogen

Teil II bestand aus sechs Versuchen mit jeweils zwei ROTs. Die Versuche wurden ausgeglichen und jede ROT wurde zweimal mit jeder anderen ROT verglichen, wobei die Reihenfolge umgekehrt wurde, um mögliche Reihenfolgeeffekte zu beseitigen. Bei jedem Versuch musste der Proband zu einem Marker gehen, eine ROT erfahren und dann zum nächsten Marker gehen und eine andere ROT erleben. Das Subjekt traf dann eine erzwungene Entscheidung darüber, welche ROT sie hatten



Tabelle 5

Experiment 3 - Mittlerer Prozentsatz der HIGH-Scores  
auf SUS Presence Questionnaire

ROT	$\bar{x}$
DV	0.77780
DA	0.62500
DVA	0.69444

Tabelle 6

Experiment 3 - Ergebnisse der logistischen Regression  
des SUS-Präsenzfragebogens

Contrast	$\chi^2(1)$	$p(\alpha = 0.05)$
DV vs. DA	6.23	0.0126
DV vs. DVA	1.60	0.2060
DVA vs. DA	1.99	0.1581

Statistisch signifikante Ergebnisse sind mit einem Kästchen gekennzeichnet.

DV - Distractor, visual  
DVA - Distractor, visual and audio  
DA - Distractor, audio

Abb. 17. Experiment 3 - Legende.

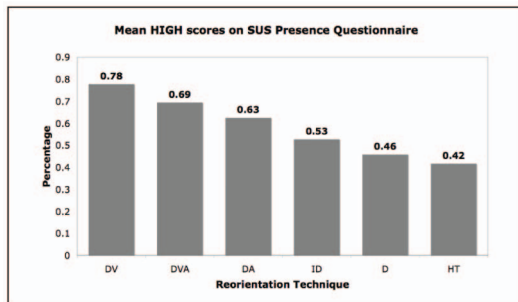


Abb. 18. Experimente 2 und 3 - Benutzerbewertung: Mittlerer Prozentsatz der HIGH-Werte im SUS-Anwesenheitsfragebogen.

bevorzugt und welche ROT war natürlicher. Die Probanden wurden auch gebeten zu erklären, warum sie eine ROT einer anderen vorzogen.

Am Ende des Experiments füllten die Probanden eine Exit-Umfrage aus und stufen die drei ROTs nach Natürlichkeit und Präferenz ein.

### 3.4.3 Ergebnisse

Tabellen 5 und 6 und Fign. 17, 18, 19, 20, 21, 22 und 23 zeigen die Ergebnisse aus Experiment 3. Die Analyse der SUS-Anwesenheitsbewertungen wurde auf die gleiche Weise wie in Abschnitt 3.2.3 angegeben durchgeführt. Die Tabellen 5 und 6 zeigen den Anteil der HIGH-Antworten für jede der drei Bedingungen und die Ergebnisse der paarweisen Zustandskontraste. Wir fanden, dass sich die Benutzer deutlich präsenter fühlten

im DV als DA ( $\chi^2(1) = 6.23$ ;  $p < 0.05$ ).

Die Experimente 2 und 3 verwendeten ein identisches Experiment Design: Die Teilnehmer führen die gleiche Anzahl von Versuchen durch und verwenden dieselbe Umgebung. Die Probanden für beide Experimente waren hauptsächlich Informatiker und Forscher. Da die Probanden aus demselben Pool stammten, konnten wir die Anwesenheitswerte zwischen Experiment 2 und Experiment 3 vergleichen. Tabelle 7 und Fig. 18 zeigen den Anteil der HIGH-Antworten für jede der drei Bedingungen und die

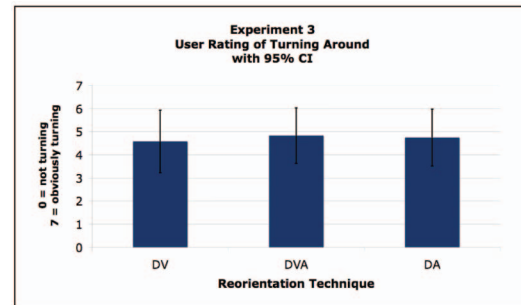


Abb. 19. Experiment 3 - Benutzerbewertung: „Ich hatte das Gefühl, mich umzudrehen.“

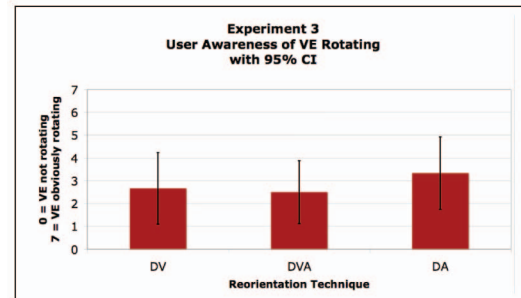


Abb. 20. Experiment 3 - Benutzerbewertung: „Ich habe gesehen, wie sich die virtuelle Welt drehte.“

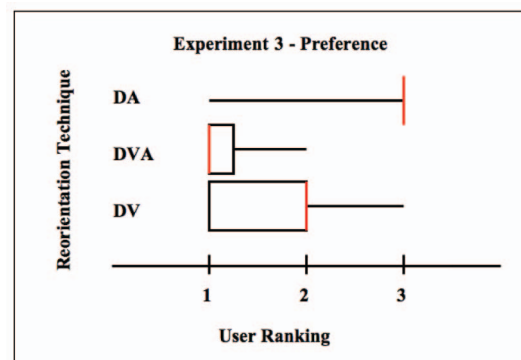


Abb. 21. Experiment 3 - Vom Benutzer bewertete Präferenzwerte von 1 (am meisten bevorzugt) bis 3 (am wenigsten bevorzugt). Standard-Box-and-Whisker-Diagramme mit dem Median in Rot.

Ergebnisse der paarweisen Kontraste von Bedingungen. Wir fanden, dass sich die Benutzer in deutlich präsent fühlten DV als ID, D, und

HT ( $\chi^2(1) = 6.18$ ,  $p < 0.05$ ,  $\chi^2(1) = 10.73$ ,  $p < 0.01$ ,  $\chi^2(1) = 10.44$ ,  $p < 0.01$ , beziehungsweise). Benutzer fühlten sich statistisch

mehr vorhanden in DVA als D. und HT ( $\chi^2(1) = 7.76$ ,  $p < 0.01$ ,  $\chi^2(1) = 9.06$ ,  $p < 0.01$ , jeweils), und ein Trend deutet darauf hin, dass sich Benutzer in präsent fühlen DVA als ICH WÜRD ( $\chi^2(1) = 3.29$ ;  $p = 0.07$ ). Die Nutzer fühlten sich auch deutlich präsenter in DA als D. und HT ( $\chi^2(1) = 3.84$ ,  $p = 0.05$ ,  $\chi^2(1) = 6.60$ ,  $p < 0.05$ , beziehungsweise).

Abb. 19 zeigt die durchschnittliche Punktzahl der Antwort auf die Frage über das Gefühl, als würden sie sich für jede ROT umdrehen. Wir haben die Daten mit Friedmans ANOVA analysiert und keine signifikanten Unterschiede zwischen den ROTs festgestellt: ( $\chi^2(2) = 0.712$ ,  $p = 0.514$ ).

Mit Friedmans ANOVA fanden wir keinen signifikanten Unterschied zwischen ROTs und Probanden, die bemerkten, dass sich die VE (Abb. 20) drehte ( $\chi^2(2) = 0.372$ ,  $p = 0.298$ ).

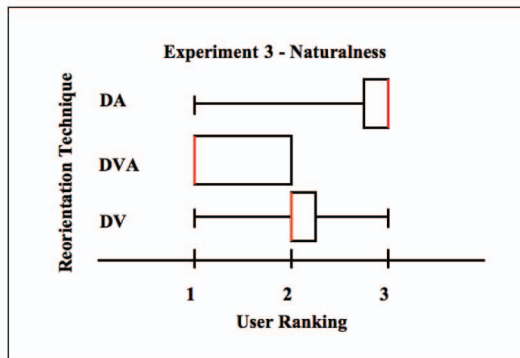


Abb. 22. Experiment 3 - Vom Benutzer bewertete Natürlichkeitswerte von 1 (am natürlichsten) bis 3 (am wenigsten natürlich). Standard-Box-and-Whisker-Diagramme mit dem Median in Rot.

Feigen 21 und 22 zeigen die Natürlichkeit und Rangpräferenz der Probanden für ROTs, wobei 1 der höchste und 3 der niedrigste Rang ist. Wir fanden signifikante Unterschiede zwischen den ROTs mit der Rangpräferenz des Probanden  $\delta \geq 2$   $p \leq 16$ : 875;  $p < 0.05$   $\delta$  und themenbezogene Natürlichkeit  $\delta \geq 2$   $p \leq 102$ : 308;  $p < 0.001$   $\delta$  wurden verwendet, um diesen Befund zu verfolgen. Die ABonferroni-Korrektur wurde angewendet und alle Effekte sind bei a angegeben

0,025 Signifikanzniveau. Probanden deutlich bevorzugt

DV A. zu DV und DA (T.  $\delta$  75:50, r  $\delta$  0: 352, und T.  $\delta$  75:50, r  $\delta$  0: 433, jeweils), und ein Trend wurde mit Probanden gefunden, die es vorziehen DV zu DA  $\delta$  T.  $\delta$  62:00; r  $\delta$  0: 306  $\delta$ . Themen eingestuft DV A. natürlicher sein als DV und DA  $\delta$  T.  $\delta$  66:00, r  $\delta$  0: 387, und T.  $\delta$  72:00, r  $\delta$  0: 342, beziehungsweise).

Fig. 23 zeigt die Benutzerpräferenz und die vom Benutzer eingestufte Natürlichkeit gepaarter ROTs. Die Häufigkeit, mit der ein Proband eine ROT einer anderen vorzog, wurde unter Verwendung von Wilcoxon-Tests mit einer zufälligen Auswahl von 0,50 verglichen. Themen bevorzugt DV A. zu beiden DV und DA (T.  $\delta$  55:00, r  $\delta$  0: 575,

und T.  $\delta$  55:00, r  $\delta$  0: 575, beziehungsweise). Themen auch bevorzugt DV zu DA  $\delta$  T.  $\delta$  60:00, r  $\delta$  0: 45  $\delta$ . Themen eingestuft

DV A. natürlicher sein als beide DV und DA (T.  $\delta$  55:00, r  $\delta$  0: 575, und T.  $\delta$  54:00, r  $\delta$  0: 352, beziehungsweise).

#### 3.4.4 Diskussion

Die Ergebnisse aus Experiment 3 legen nahe, dass Benutzer mit einem realistischen visuellen Distraktor ohne Audio eine erhöhte Präsenz verspürten als mit nur einem Audio-Distraktor. Wir haben Kontraste zwischen Experiment 2 und 3 durchgeführt und festgestellt, dass sich die visuelle Qualität des Distraktors von einem unrealistischen Schmetterling zu einem realistischeren Kolibri verbessert

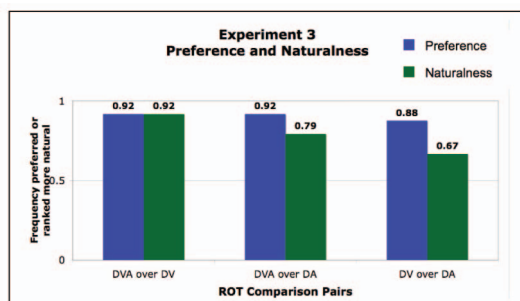


Abb. 23. Experiment 3 - Benutzer erzwungene Auswahlvergleiche von Präferenz und Natürlichkeit über ROTs hinweg.

Tabelle 7

Experimente 2 und 3 - Ergebnisse der logistischen Regression des SUS-Präsenzfragebogens

Contrast	$\chi^2(1)$	$p(\alpha = 0.05)$
DV vs. ID	6.18	0.0129
DV vs. D	10.73	0.0011
DV vs. HT	10.44	0.0012
DVA vs. ID	3.29	0.0699
DVA vs. D	7.76	0.0053
DVA vs. HT	9.06	0.0026
DA vs. ID	1.09	0.2969
DA vs. D	3.84	0.0500
DA vs. HT	6.60	0.0102

Statistisch signifikante Ergebnisse sind mit einem Kästchen gekennzeichnet.

erzeugte ein höheres Gefühl der Präsenz unter den Benutzern. Beachten Sie, dass der Bewegungspfad und die Animation der Distraktoren zwischen Experiment 2 und 3 nicht geändert wurden. Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die Verwendung realistischerer Distraktoren das Präsenzgefühl eines Benutzers erhöhen kann.

Das Hinzufügen natürlicher Audiotöne zu einem visuellen Distraktor führte zu keiner signifikanten Zunahme der vom Benutzer gemeldeten Präsenz im Vergleich zu einem visuellen Distraktor ohne Audio. Benutzer bevorzugten jedoch das Hinzufügen von Audio-Hinweisen zum visuellen Ablenker und finden, dass Audio und visuelle Stimuli natürlicher sind als visuelle oder Audio-Stimuli allein. Viele Benutzer behaupteten, dass der Kolibri mit dem Flügelschlag mehr Sinne stimuliert und daher natürlicher war. Es wurde keine signifikante Änderung der vom Benutzer gemeldeten Präsenz festgestellt, wenn der visuelle Hinweis des Kolibris entfernt wurde und nur die 3D-Audio-Hinweise dem Benutzer präsentiert wurden.

Beim Vergleich der Anwesenheitsdaten aus Experiment 2 und Experiment 3 stellten wir fest, dass natürliches Audio als Distraktor ohne visuelle Hinweise ein höheres Präsenzgefühl erzeugt als die Verwendung des unnatürlichen roten Kugel-Distraktors aus Experiment 2. Die Fähigkeit, nur Audio als Distraktor zu verwenden, erweitert die Bereich von VEs, in denen Distraktoren anwendbar sind. Mögliche Anwendungen für Audio-Distraktoren umfassen militärische Anwendungen, bei denen umweltgerechte bewegliche visuelle Objekte vor dem Benutzer nicht möglich sind. Militärische Trainingsanwendungen können laute Geräusche oder Explosionen aufweisen, die natürlich zur Umgebung passen und als Ablenker verwendet werden können. Es müssen jedoch weitere Studien durchgeführt werden, um festzustellen, ob Distraktoren bei militärischen Anwendungen zu Fehlschulungen führen.

Ein Benutzer bemerkte, dass der Audio-Distraktor schwer zu verfolgen sei und während er nach dem (Audio-) Kolibri suchte, war er sich der rotierenden VE viel weniger bewusst. Andere Benutzer empfanden das Audio als frustrierend, da sie Schwierigkeiten hatten, festzustellen, wo sich der Kolibri befand. Dies kann der Grund sein, warum Benutzer den Audio-Distraktor mit einem visuellen Kolibri niedriger eingestuft haben als die Distraktoren. Benutzer bevorzugten möglicherweise natürliche Ablenker mit Audio gegenüber Audio-Ablenkern, aber Audio-Ablenker sind möglicherweise immer noch wirksam.

#### 4 C. SCHLUSSFOLGERUNG

Wir haben acht ROTs erfolgreich implementiert und getestet, um das Worst-Case-Szenario in großen Lauf-VEs zu bewältigen - wenn der Benutzer gerade dabei ist, den verfolgten Raum zu verlassen. Fünf davon

ROTs verwenden eine neuartige Technik. Distraktoren - Objekte in der VE, auf die sich der Benutzer konzentriert, während die VE rotiert - optimieren die beobachtete Rotation einer VE während der Neuorientierung. Zusätzlich zur Verringerung der beobachteten Rotation des VE wurden ROTs, die Distraktoren verwenden, bevorzugt und von den Benutzern als natürlicher eingestuft als derzeit verfügbare ROTs, die keine Distraktoren verwenden. Wir fanden auch heraus, dass die Probanden sich bei der Neuorientierung mit Distraktoren weniger bewusst waren, dass sie sich in der VE physisch umdrehten.

Basierend auf dem Feedback der Benutzer sollten ROTs realistisch sein und der Benutzer sollte die Drehung des VE nicht bemerken. Im Gegensatz zu Nicht-Distraktor-ROTs können Distraktoren realistisch sein, und unsere Ergebnisse legen nahe, dass Distraktoren die Wahrscheinlichkeit verringern, eine VE-Rotation während der Neuorientierung wahrzunehmen. Distraktoren sollten auch sanfte Bewegungen aufweisen, die leicht und interessant zu beobachten sind. Das Verbessern des Realismus des Distraktors erhöht das Gefühl der Präsenz eines Benutzers, und das Hinzufügen von natürlichem Audio zu einem visuellen Distraktor wird bevorzugt und für Benutzer als natürlicher angesehen als die Verwendung eines visuellen oder Audio-Distraktors allein.

Ein Audio-Distraktor erzeugt kein so hohes Präsenzgefühl wie ein natürlicher audiovisueller Distraktor. Es erzeugt jedoch ein höheres Gefühl der Präsenz als ein unnatürlicher Ablenker ohne Audio. Audio-Distraktoren können einfacher zu implementieren sein als visuelle Distraktoren, da sie Modelländerungen erfordern. Audio-Distraktoren können auch für VEs nützlich sein, bei denen das Hinzufügen von visuellen Distraktoren unnatürlich sein oder die VE-Erfahrung beeinträchtigen kann.

Wir glauben, dass optimale Distraktoren VE-abhängig sind und so natürlich wie möglich für die VE gestaltet werden sollten. Mögliche Implementierungen von Ablenkern sind: Erkunden eines virtuellen Hauses und Vorbeirennen eines Hundes, Gehen durch ein virtuelles Kunstmuseum und Zeigen eines Dozenten in eine neue Richtung sowie Trainieren von abmontierter Infanterie, um erfolgreich durch feindliches Gebiet zu navigieren, während Scharfschützen in der Ferne zu hören sind.

Distraktoren ermöglichen es Benutzern, sich zu bewegen, indem sie wirklich in VEs gehen, die größer sind als der verfolgte Laborraum. Es sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich, um die möglichen Auswirkungen der Verwendung von Distraktoren zu bestimmen. Mögliche zukünftige Arbeiten umfassen die Untersuchung kognitiver Belastungseffekte, die Trainingsanwendungen behindern können, und die Untersuchung von Geschwindigkeit, Aussehen und Bewegungspfaden von Distraktoren. Andere Forschungsbereiche umfassen den Vergleich des tatsächlichen Gehens mit Ablenkern mit anderen virtuellen Fortbewegungssystemen wie dem Gehen an Ort und Stelle und dem Fliegen, mit denen Benutzer auch große virtuelle Räume erkunden können.

## EIN BESTÄTIGUNGEN

Diese Arbeit wurde teilweise vom Nationalen Institut für biomedizinische Bildgebung und Bioingenieurwesen des NIH, vom VIRTE-Projekt des Office of Naval Research und von der Link Foundation unterstützt. Die Autoren möchten Dorian Miller, der zuerst als Klassenprojekt mit Distraktoren experimentierte, Eric Knisley für die Erstellung des Kolibri-Modells sowie dem EVE-Team und David Borland für die moralische Unterstützung und Hilfe bei der Bearbeitung danken.

## R. EFERENZEN

- [1] M. Slater, M. Usoh und A. Steed, „Schritte unternehmen: Der Einfluss von a Laufftechnik zur Präsenz in der virtuellen Realität " ACM Trans. Computer-Mensch-Interaktion, vol. 2, nein. 3, S. 201-219, 1995.

- [2] M. Usoh, K. Arthur, MC Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, J. Frederick und P. Brooks, „Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen" Proc. ACM SIGGRAPH '99, S. 359-364, 1999.
- [3] RP Darken, WR Cockayne und D. Carmein, „Das omnidirektionale Laufband: Ein Fortbewegungsgerät für virtuelle Welten". Proc. 10. Ann. ACM Symp. Software und Technologie für Benutzeroberflächen (UIST '97), S. 213-221, 1997.
- [4] N. Nitzsche, UD Hanebeck und G. Schmidt, „Bewegungskompression für telepraesentes Gehen in großen Zielumgebungen", Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebung, vol. 13, nein. 1, S. 44-60, 2004.
- [5] S. Razzaque, Z. Kohn und MC Whitton, "Redirected Walking", Technischer Bericht TR01-007, Chapel Hill, NC, 2001.
- [6] S. Razzaque, D. Swapp, M. Slater, MC Whitton und A. Steed, "Redirected Walking in Place". Proc. Eurographics Workshop Virtuelle Umgebungen (EGVE '02), S. 123-130, 2002.
- [7] S. Razzaque, "Redirected Walking", Dissertation, Univ. von North Carolina, Chapel Hill, 2005.
- [8] J. Su, "Bewegungskompression für Telepräsenz-Fortbewegung", Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebung, vol. 16, nein. 4, S. 385-398, 2007.
- [9] B. Williams, G. Narasimham, TP McNamara, TH Carr, JJ Rieser und B. Bodenheimer, „Aktualisierung der Orientierung in großen virtuellen Umgebungen mithilfe eines skalierten Translationsgewinns". Proc. Drittes Symp. Angewandte Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung (APGV '06), S. 21-28, 2006.
- [10] B. Williams, G. Narasimham, B. Rump, TP McNamara, TH Carr, J. Rieser und B. Bodenheimer, „Erkundung großer virtueller Umgebungen mit einem HMD zu Fuß", Proc. Drittes Symp. Angewandte Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung (APGV '06), p. 148, 2006.
- [11] FP Brooks, „Exemplarische Vorgehensweise: Ein dynamisches Grafiksystem zur Simulation virtueller Gebäude", Proc. Workshop Interaktive 3D-Grafik (SI3D '86), S. 9-21, 1987.
- [12] RR Christensen, JM Hollerbach, Y. Xu und SG Meek, "InertialForce Feedback für die Treadport Locomotion Interface", Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebung, vol. 9, nein. 1, S. 1-14, 2000.
- [13] H. Iwata, „Auf einer unendlichen Etage durch virtuelle Umgebungen gehen", Proc. IEEE Virtual Reality Conf. (VR '99), p. 286, 1999.
- [14] M. Slater, A. Steed und M. Usoh, „Das virtuelle Laufband: Eine naturalistische Metapher für die Navigation in immersiven virtuellen Umgebungen". Ausgewählte Artikel der Eurographics Workshops Virtual Environments (VE '95), S. 135-148, 1995.
- [15] T. Peck, M. Whitton und H. Fuchs, „Evaluierung von Neuorientierungstechniken für das Gehen in großen virtuellen Umgebungen", Proc. IEEE Virtual Reality Conf. (VR '08), S. 121-127, März 2008.
- [16] V. Interrante, B. Ries und L. Anderson, „Sieben Liga-Stiefel: Eine neue Metapher für eine erweiterte Fortbewegung durch mittelgroße immersive virtuelle Umgebungen". Proc. IEEE Symp. 3D-Benutzeroberflächen (3DUI '07), März 2007.
- [17] B. Williams, G. Narasimham, B. Rump, TP McNamara, TH Carr, J. Rieser und B. Bodenheimer, „Erkundung großer virtueller Umgebungen mit einem HMD, wenn der physische Raum begrenzt ist". Proc. Viertes Symp. Angewandte Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung (APGV '07), S. 41-48, 2007.
- [18] L. Kohli, E. Burns, D. Miller und H. Fuchs, „Kombination passiver Haptik mit umgeleitetem Gehen", Proc. Int'l Conf. Augmented Tele-Existence (ICAT '05), S. 253-254, 2005.
- [19] M. Slater und M. Usoh, „Präsenz in immersiven virtuellen Umgebungen", Proc. IEEE Virtual Reality Conf. (VR '93), S. 90-96, 1993.
- [20] M. Slater, M. Usoh und A. Steed, "Tiefe der Präsenz in virtuellen Umgebungen", Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, vol. 3.2, MIT Press, S. 130-144, citeaser.ist.psu.edu/slater94depth. HTML, 1994.



Tabitha C. Peck erhielt 2005 den BSc-Abschluss in Informatik von der Bucknell University und 2007 den MSc-Abschluss in Informatik von der University of North Carolina in Chapel Hill. Derzeit ist sie Doktorandin am Department of Computer Science der University of North Carolina. Ihre Forschungsinteressen umfassen virtuelle Realität, Fortbewegung, Benutzerstudien und Navigation. Sie ist studentisches Mitglied des IEEE.



Mary C. Whitton ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informatik der University of North Carolina (UNC) in Chapel Hill. Sie leitet die Forschungsgruppe Effektive virtuelle Umgebungen, die sich darauf konzentriert, herauszufinden, was virtuelle Umgebungssysteme effektiv macht, und Techniken zu entwickeln, um sie für Anwendungen wie Simulation, Training und Rehabilitation effektiver zu machen. Bevor sie 1994 zu UNC kam, war sie



Henry Fuchs Er promovierte 1975 in Informatik an der University of Utah. Er ist Federico Gil-Professor für Informatik und außerordentlicher Professor für biomedizinische Technik an der University of North Carolina in Chapel Hill. Seine Forschungsinteressen umfassen Office of the Future und 3D-Telepräsenz, großflächige Multiprojektor-Displays sowie medizinische und chirurgische Augmented-Reality-Unterstützung. Er hat mehr als 150 Artikel mitautorisiert

war Mitbegründer von zwei Unternehmen, die High-End-Hardware für Grafik, Imaging und Visualisierung herstellten. Sie hatte Führungspositionen bei ACM SIGGRAPH inne, unter anderem als Präsidentin von 1993 bis 1995. Sie ist Mitglied des IEEE und der IEEE Computer Society.

Weitere Informationen zu diesem oder einem anderen Computerthema finden Sie in unserer digitalen Bibliothek unter [www.computer.org/publications/dlib](http://www.computer.org/publications/dlib).

und ist Erfinder oder Erfinder von sieben US-Patenten. Er hat den Satava Award von Medicine Meets Virtual Reality, den Computer Graphics Achievement Award von ACM / SIGGRAPH und den Academic Award der National Computer Graphics Association gewonnen. Er ist Mitglied der National Academy of Engineering, der American Academy of Arts and Sciences und der ACM. Er ist Mitglied des IEEE und der IEEE Computer Society.