

# Eine Taxonomie für den Einsatz von Umleitungstechniken in immersiven virtuellen Umgebungen

Evan A. Suma \*

Gerd Bruder †

Frank Steinicke †

David M. Krum \*

Mark Bolas \*

\* USC Institut für kreative Technologien

† Universität Würzburg

## EIN BSTRACT

Natürliches Gehen kann in immersiven virtuellen Umgebungen eine überzeugende Erfahrung bieten, bleibt jedoch aufgrund der physischen Platzbeschränkungen, die der Größe der virtuellen Welt auferlegt sind, eine Herausforderung bei der Implementierung. Die Verwendung von Umleitungstechniken ist ein vielversprechender Ansatz, der den Platzbedarf des natürlichen Gehens entspannt, indem die Route des Benutzers in der virtuellen Umgebung manipuliert wird, wodurch der Pfad der realen Welt innerhalb der Grenzen des physischen Arbeitsbereichs bleibt. In diesem Artikel stellen wir eine neuartige Taxonomie vor und wenden sie an, bei der Umleitungstechniken nach ihrer geometrischen Flexibilität und der Wahrscheinlichkeit, dass sie von Benutzern bemerkt werden, getrennt werden. Zusätzlich haben wir eine Anwenderstudie mit drei Neuorientierungstechniken durchgeführt: Dies bestätigte, dass es weniger wahrscheinlich war, dass die Teilnehmer eine Unterbrechung der Präsenz erlebten, wenn sie sich unter Verwendung der in unserer Taxonomie als subtil eingestuft Techniken neu orientierten. Unsere Ergebnisse legen nahe, dass eine Neuorientierung mit Illusionen der Veränderungsblindheit den Eindruck erwecken kann, eine expansivere Umgebung zu erkunden als kontinuierliche Rotationstechniken, jedoch auf Kosten einer negativen Auswirkung auf den Erwerb räumlichen Wissens.

Schlüsselwörter: Virtuelle Umgebungen, Umleitung, Taxonomie

Indexbegriffe: H.5.1 [[Informationsschnittstellen und Präsentationen]; Multimedia-Informationssysteme - Künstliche, erweiterte und virtuelle Realität; I.3.6 [Computergrafik]: Methodik und Techniken - Interaktionstechniken; I.3.7 [Computergrafik]: Dreidimensionale Grafik und Realismus - Virtuelle Realität

## 1 I. EINLEITUNG

Natürliche Interaktion ist von entscheidender Bedeutung für die Schaffung überzeugender Virtual-Reality-Erlebnisse, insbesondere der Fortbewegung. Dies ist eine der häufigsten und universellsten Aufgaben bei der Interaktion mit grafischen 3D-Umgebungen [1]. Es hat sich gezeigt, dass die natürlichste Fortbewegungstechnik, das echte Gehen, im Vergleich zu alternativen Techniken, bei denen keine realistische Körperbewegung angewendet wird, einschließlich Geh-in-Place- und virtuellen Reisetmetaphern (z. B. Fliegen), ein größeres Gefühl der Präsenz vermittelt [18]. und es wurde auch gezeigt, dass es Vorteile für das Gedächtnis und die Aufmerksamkeit bietet [16]. Trotz dieser Vorteile bleibt das natürliche Gehen eine Herausforderung für Praktiker, die immersive Head-Mounted-Displays verwenden, da physische Platzbeschränkungen letztendlich die Größe der virtuellen Umgebung einschränken, die erkundet werden kann.

*Umleitung* ist eine vielversprechende Lösung, die die Platzbeschränkungen des natürlichen Gehens lockert, indem die Route des Benutzers in der virtuellen Umgebung manipuliert wird, wodurch sie vom Pfad der realen Welt abweicht [13]. Mit diesen Techniken können erheblich größere virtuelle Umgebungen mithilfe natürlicher Körperbewegungen in einem relativ begrenzten physischen Arbeitsbereich erkundet werden. Um besser zu verstehen wie

\* E-Mail: {suma, krum, bolas}@ict.usc.edu

† E-Mail: {gerd.brueder, frank.steinicke}@uni-wuerzburg.de

IEEE Virtual Reality 2012

4.-8. März, Orange County, CA, USA 978-1-4673-1246-2 / 12 / 31,00 USD © 2012 IEEE

Taxonomie von Umleitungstechniken

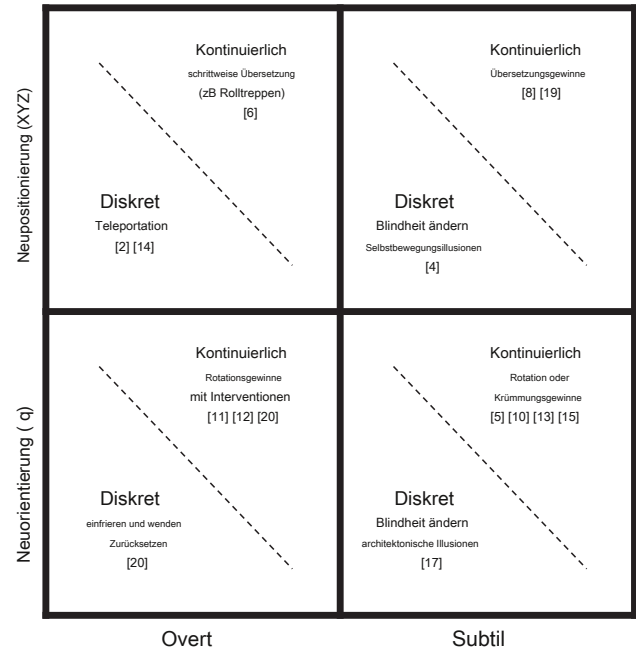


Abbildung 1: Taxonomie von Umleitungstechniken zur Unterstützung des natürlichen Gehens durch immersive virtuelle Umgebungen. Die vertikale Achse unterscheidet, wie die Technik in der Umgebung angewendet wird. Die horizontale Achse bietet eine Rangfolge hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit für den Benutzer. Die Aufteilung in Zellen repräsentiert unterschiedliche Implementierungsstrategien für jede Art von Technik.

Diese Umleitungstechniken können in der Praxis eingesetzt werden. Es ist nützlich, ein Klassifizierungsschema bereitzustellen, das das Spektrum der verfügbaren Methoden abbildet. Steinicke et al. zuvor wurde eine solche Taxonomie für Umleitungstechniken beschrieben, die die Fortbewegungsverstärkungen basierend auf der Art der angewendeten Verstärkung (Translation, Rotation oder Krümmung) manipulieren [15]. Die jüngsten Arbeiten haben jedoch zu einer Reihe innovativer Umleitungstechniken mit ähnlichen Zielen geführt, jedoch zu drastisch unterschiedlichen Implementierungen, die nicht genau in frühere konzeptionelle Rahmenbedingungen passen. Aus diesem Grund haben wir eine neue Taxonomie entwickelt, die es den Praktikern ermöglicht, eine oder mehrere Umleitungsmetaphern basierend auf einer Vielzahl von Kriterien auszuwählen und anzuwenden, die für das Design der virtuellen Umgebung relevant sind. Zusätzlich,

## 2 T. AXONOMIE / P. REVIOUS W. ORK

Abbildung 1 zeigt die Taxonomie, die auf der geometrischen Anwendbarkeit jeder Umleitungstechnik, der Wahrnehmbarkeit für den Benutzer und inhaltsspezifischen Implementierungsdetails basiert. Umleitungstechnik-

Techniken können basierend auf ihrer geometrischen Anwendbarkeit grob in zwei Kategorien unterteilt werden, mit anderen Worten, wie sie dazu beitragen, dass der gewünschte virtuelle Raum in das tatsächlich verfolgte Volumen passt. *Repositionierungstechniken* Bearbeiten Sie die Entsprechung zwischen Punkten in der realen und der virtuellen Welt, um einen größeren virtuellen Raum in einen kleineren physischen Arbeitsbereich zu komprimieren. *Neuorientierungstechniken* Versuchen Sie, die Überschrift des Benutzers von den Grenzen des physischen Arbeitsbereichs wegzudrehen. Im Idealfall würde der Benutzer Umleitungstechniken nicht bemerken, so dass die Implementierung der virtuellen Realität so unsichtbar wie möglich bleibt. Daher unterscheidet unsere vorgeschlagene Taxonomie zwischen subtilen und offenen Methoden. *Subtil* Techniken sind speziell so konzipiert, dass sie nicht wahrnehmbar sind, wenn die Größe der Manipulation unter einer bestimmten Erkennungsschwelle liegt. Im Gegensatz, *offen*

Techniken werden von Benutzern leicht bemerkt, wenn sie angewendet werden. Während die Subtilität der Techniken höchstwahrscheinlich einem Kontinuum zugeordnet werden kann, ist diese binäre Kategorisierung des Kurses dennoch konzeptionell für unsere Taxonomie nützlich. Diese Unterscheidung impliziert eine logische Rangfolge: Im Allgemeinen sind subtile Techniken offenkundigen vorzuziehen, da letztere ein größeres Potenzial haben, den natürlichen Prozess des Gehens durch die Umwelt zu stören. Schließlich können in Bezug auf die Implementierung entweder Techniken sein *diskret* (sofort angewendet) oder *kontinuierlich* (angewendet im Laufe der Zeit), was ein potenziell wichtiger Faktor ist, da die Praktiker versuchen, die Implementierung dieser Techniken mit den Anforderungen an den Inhalt und den Zeitplan ihres Inhalts in Einklang zu bringen.

## 2.1 Neupositionierungstechniken

*Offene kontinuierliche Neupositionierung.* Eine einfache Neupositionierung kann erreicht werden, indem die virtuelle Umgebung kontinuierlich über die Position des Benutzers übersetzt wird. Auf diese Weise kann der Benutzer zu Bereichen in der virtuellen Umgebung gehen, auf die zuvor innerhalb der Grenzen des physischen Arbeitsbereichs nicht zugegriffen werden konnte. Dies kann verwirrend sein, wenn die virtuelle Welt unerwartet übersetzt wird und die virtuelle Umgebung instabil erscheint. Diese Störung kann gemindert werden, indem die Übersetzung mit bekannten Metaphern gekoppelt wird, die mit Bewegung verbunden sind, wie z. B. Aufzügen (z. B. [7]), Rolltreppen (z. B. wie in [6] gezeigt), Laufstegen oder Fahrzeugen.

*Subtile kontinuierliche Neupositionierung.* Eine kontinuierliche Neupositionierung kann auf subtile Weise angewendet werden, indem Übersetzungsgewinne auf die physische Fortbewegung des Benutzers angewendet werden, wodurch die Gehbewegungen effektiv skaliert werden, um größere Entfernungen in der virtuellen Umgebung zurückzulegen [19]. Diese Methode kann verbessert werden, indem die vom Benutzer beabsichtigte Fahrtrichtung geschätzt und die Übersetzungen nur in diese Richtung skaliert werden, wodurch die Übertreibung des oszillierenden Kopfes und das Schwanken von Gehbewegungen verringert werden [8]. Diese Technik bleibt subtil, solange die angewendeten Verstärkungen klein genug sind, um eine Erkennung zu vermeiden. Steinicke et al. führten eine psychophysische Studie zu Erkennungsschwellen durch und stellten fest, dass die Fahrstrecken um 14% verkleinert oder um 26% vergrößert werden konnten, ohne dass dies für den Benutzer erkennbar wurde [15].

*Offene diskrete Neupositionierung.* Diskrete Neupositionierungstechniken können durch sofortige Übersetzung erreicht werden, wodurch der Benutzer effektiv an einen neuen Ort im virtuellen Raum teleportiert wird. Diese Technik ist möglicherweise verwirrend, wenn der Benutzer nicht erwartet, dass die virtuelle Position manipuliert wird. Um dieses Problem abzumildern, haben Forscher das Konzept von Portalen aus der Populärwissenschaft genutzt, um eine Umweltgrundlage für die Teleportation zu schaffen [2]. Tatsächlich haben Benutzer ein höheres Maß an Präsenz gemeldet, als Portale verwendet wurden, um von einer virtuellen Übergangsreplik der realen Umgebung in eine unbekannte Umgebung zu teleportieren, verglichen mit dem sofortigen Betreten der unbekannten Umgebung [14].

*Subtile diskrete Neupositionierung.* Angesichts der abrupten Übersetzung, die für eine diskrete Neupositionierung erforderlich ist, erscheint es schwierig, diese Technik auf subtile Weise anzuwenden. Neuere Forschungen haben jedoch gezeigt, dass Inter-Stimulus-Bilder oder visuelle optische Flusseffekte in der Peripherie der Benutzeransicht verwendet werden können, um abrupte Übersetzungen in der Umgebung zu maskieren [4]. Diese kleinen diskreten Aktualisierungen können regelmäßig wiederholt werden, während der Benutzer geht, wodurch die Fahrstrecken skaliert werden können

ähnlich den kontinuierlichen Techniken.

## 2.2 Neuorientierungstechniken

*Kontinuierliche Neuorientierung vermeiden.* Das Zurücksetzen ist eine konzeptionell einfache Methode zur Neuorientierung des Benutzers, die einen Eingriff erfordert, wenn der Benutzer die Grenzen des physischen Arbeitsbereichs erreicht. Während des Eingriffs wird der Benutzer angewiesen, sich umzudrehen, wobei eine Rotationsverstärkung angewendet wird. Beispielsweise wird die virtuelle Umgebung für jeden Grad der Drehung in der realen Welt um zwei Grad gedreht, sodass sich die virtuelle Umgebung nach einer physischen Drehung um 180 Grad (zurück in den Arbeitsbereich zeigend) um 360 Grad gedreht hat, wodurch das Original des Benutzers wiederhergestellt wird Überschrift in der virtuellen Welt [20]. Da das Erteilen expliziter Anweisungen an den Benutzer die Präsenz beeinträchtigen kann, wurde vorgeschlagen, visuelle Ablenker zu verwenden, um während des Eingriffs Kopfdrehungen auszulösen, wodurch die Möglichkeit geboten wird, Rotationsgewinne anzuwenden [11].

*Subtile kontinuierliche Neuorientierung.* Das umgeleitete Gehen war die erste Technik, mit der Kopfdrehungen nicht wahrnehmbar verstärkt wurden, um den Benutzer von den Grenzen des physischen Arbeitsbereichs wegzuführen [13]. Die Erkennbarkeit von Rotationsgewinnen wurde sowohl im Zusammenhang mit Kopfdrehungen [9] als auch mit Ganzkörperdrehungen [3] untersucht. Eine kürzlich durchgeführte umfassende Studie ergab, dass Benutzer physisch ungefähr 49% mehr oder 20% weniger als die wahrgenommene virtuelle Rotation gedreht werden können, ohne es zu bemerken [15]. Alternativ ist es auch möglich, eine kontinuierliche Drehung dynamisch anzuwenden, wenn sich der Benutzer vorwärts bewegt, was zu einer Krümmung des Gehwegs führt [5] [13]. Experimentelle Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass die unmerkliche Umleitung eines Benutzers entlang eines Kreisbogens einen sehr großen Arbeitsbereich mit einem Radius von mindestens 22 Metern erfordert [15].

*Offene diskrete Neuorientierung.* Zusätzlich zu kontinuierlichen Techniken kann das Zurücksetzen auch auf diskrete Weise angewendet werden. Williams et al. Frieren Sie die Bewegungsverfolgung ein und weisen Sie den Benutzer an, sich von den Grenzen des physischen Arbeitsbereichs wegzudrehen [20]. Nachdem der Benutzer die physische Drehung abgeschlossen hat, wird die virtuelle Ansicht nicht mehr eingefroren und die Bewegungsverfolgung wird fortgesetzt. Während die durch das Einfrieren und Auftauen der Bewegungsverfolgung verursachte Diskontinuität für den Benutzer offensichtlich ist, bleibt das Zurücksetzen als „ausfallsichere“ Notfalltechnik nützlich, um zu verhindern, dass der Benutzer den Arbeitsbereich verlässt.

*Subtile diskrete Neuorientierung.* In einer drastisch anderen Implementierung als bei anderen Neuorientierungstechniken haben Forscher vorgeschlagen, die Position oder Ausrichtung von Architekturmerkmalen, insbesondere Türen, in einer virtuellen Szene zur Laufzeit sofort zu ändern [17]. Die Technik basiert auf Änderungsblindheit, einem Phänomen, das beobachtet werden kann, wenn Benutzer Änderungen an einer visuellen Szene, die außerhalb ihres Sichtfelds auftreten, nicht bemerken. Während Studien gezeigt haben, dass diese Illusion genutzt werden kann, um den Benutzer auf sehr subtile Weise neu zu orientieren, wobei nur einer von 77 Benutzern den Szenenwechsel bemerkt, beschränken sich die Techniken zur Änderung der Blindheit weitgehend auf Innenumgebungen mit Türen, die manipuliert werden können und würden In spärlichen, offenen Umgebungen wie Außenaufnahmen sind sie häufig nicht geometrisch anwendbar.

## 2.3 Umleitungsregler

Jede Umleitungstechnik unterliegt ihren eigenen Einschränkungen, die es schwierig oder unmöglich machen, mit einer einzigen Technik unbegrenzt kostenlos zu erkunden. Um die Umleitung in praktischen virtuellen Umgebungen zu verwenden, *Umleitungssteuerungen* muss das Bewusstsein für den Zustand des Benutzers im realen und virtuellen Raum aufrechterhalten und Repositionierungs- und / oder Neuorientierungstechniken aufrufen, um das Gehen durch die virtuelle Welt zu erleichtern. Ein ziemlich restriktives Beispiel ist ein wegpunktbasierter Controller, der Benutzer neu ausrichtet, wenn sie zwischen vordefinierten Orten wechseln, normalerweise entlang einer Zick-Zack- oder „S“-Kurve

Pfad (zB [13]). Anspruchsvollere Steuerungen haben versucht, kontinuierliche Neuorientierungstechniken dynamisch zu optimieren, indem sie beispielsweise die Krümmungsverstärkungspegel basierend auf der Gehgeschwindigkeit des Benutzers anpassen [10]. Die umgeleitete freie Erkundung mit Distraktoren ist möglicherweise der bislang am allgemeinsten anwendbare Umleitungsregler, der den Benutzer kontinuierlich in Richtung der Mitte des verfolgten Bereichs lenkt und eine offene kontinuierliche Neuorientierung hervorruft, wenn sich der Benutzer den Grenzen des physischen Raums nähert [12].

Die Entwicklung automatisierter Umleitungssteuerungen, die ein breiteres Spektrum verfügbarer Techniken verwenden, wird ein wichtiger Schritt sein, um die Umleitung allgemeiner für praktische Einstellungen anwendbar zu machen. Ein Beispiel für eine Implementierung, die sowohl diskrete als auch kontinuierliche Techniken verwendet, ist Arch-Explore, ein System für architektonische exemplarische Vorgehensweisen, das die Neupositionierung mithilfe diskreter Portale und kontinuierliche Translations-, Rotations- und Krümmungsgewinne für die halbautomatische Neuorientierung kombiniert [2]. Wir glauben, dass die in diesem Dokument vorgestellte Taxonomie einen nützlichen Ausgangspunkt für den Entwurf zukünftiger Umleitungssteuerungen darstellt, die mehrere Repositionierungs- und Neuorientierungstechniken gleichzeitig verwenden.

### 3 U. SER S. TUDY

Basierend auf der in Abschnitt 2 vorgestellten Taxonomie haben wir drei vorhandene Neuorientierungstechniken ausgewählt und die Teilnehmer gebeten, sich selbst zu melden, wenn sie eine Unterbrechung der Präsenz erlebten. Wir stellten die Hypothese auf, dass das kontinuierliche Sammeln von Daten zu diesen Unterbrechungen bei Anwesenheit der Teilnehmer eine nützliche Messgröße für die Messung der „Subtilität“ oder „Offenheit“ jeder Technik wäre.

#### 3.1 Studiendesign

Wir haben uns auf Neuorientierungstechniken konzentriert, da diese in der Literatur häufiger verwendet und zitiert werden als Repositionierungstechniken, und einen Ansatz aus jedem der drei Teile der Taxonomie getestet, die in der Praxis am häufigsten verwendet wurden, dh ohne offene diskrete Manipulationen. Wir haben eine Studie innerhalb der Probanden durchgeführt, bei der alle Teilnehmer die folgenden drei Bedingungen hatten:

##### SCR: Subtile kontinuierliche Neuorientierung

Um diese Technik zu implementieren, haben wir Rotationsgewinne angewendet, als Benutzer um eine teilweise geöffnete virtuelle Schwingtür gingen, die zwei virtuelle Räume verbindet, wie von [2] vorgeschlagen. Die Erkennbarkeit dieser Manipulationen hängt hauptsächlich von der Diskrepanz zwischen einem Manipulierte virtuelle Rotation  $\alpha_{virtuell}$  im Vergleich zu einer Rotation eines Benutzers in der realen Welt  $\alpha_{echt}$ , ausgedrückt über Rotationsgewinne:  $\alpha_{virtuell} = GR \cdot \alpha_{echt}$ , zum  $GR \in \mathbb{R} [15]$ . In dieser Notation  $GR = 1$  würde eine genaue 1: 1-Zuordnung von der realen zur virtuellen Rotation implizieren; daher Manipulationen werden weniger auffällig als  $GR$  Ansätze 1. Um diese Technik sowohl in optimalen als auch in nicht optimalen Fällen zu vergleichen, haben wir verglichen Ergebnisse zwischen zwei verschiedenen Situationen: Neuorientierungen erreichbar mit  $GR > 0,59$  und Neuorientierungen erforderlich  $GR < 0,59$  (vgl. [2]).

##### SDR: Subtile diskrete Neuorientierung

Wir haben die Technik der Neuorientierung der Änderungsblindheit implementiert, um die Position virtueller Türen zu manipulieren, wie in [17] beschrieben. Um diese Technik sowohl in optimalen als auch in nicht optimalen Fällen zu vergleichen, haben wir einen informellen Pilottest durchgeführt, um das Ausmaß der Szenenänderungen zu bestimmen, die machbar angewendet werden können. Daher haben wir die Ergebnisse zwischen zwei verschiedenen Situationen verglichen: Neuausrichtungen, die mit Türbewegungsabständen  $\leq 1$  m erreichbar sind, und Umorientierungen, die Abstände  $> 1$  m erfordern.

##### OCR: Übermäßige kontinuierliche Neuorientierung

Wir haben Rotationsgewinne mit Distraktoren unter Verwendung eines animierten virtuellen Kolibris und eines Gewinns von 1,5 der Kopfdrehung des Benutzers implementiert, wie von Peck et al. [11]. Da diese Technik offenkundig ist und nicht angewendet werden kann, ohne dass der Benutzer dies bemerkt, war es nicht sinnvoll, zwischen optimalen und nicht optimalen Fällen zu unterscheiden.

### 3.2 Methoden

Insgesamt nahmen 22 Personen an dem Experiment teil (16 Männer, 6 Frauen). Die Teilnehmer waren Studenten zwischen 21 Jahren - - 30 ( $M = 24,4$ ) und hatte normales oder normales Sehvermögen. Die grafische Umgebung wurde auf einem ProView SR80 HMD von Kaiser Electro-Optics (1280) dargestellt  $\times$  1024 Auflösung, 60Hz Bildwiederholfrequenz, 80° diagonales Sichtfeld) mit einem undurchsichtigen Tuch, das die periphere Sicht auf die reale Welt blockiert. Die Position des HMD wurde mit einer Infrarot-LED und einem aktiven optischen Verfolgungssystem (Precision Position Tracker PPT X8 von WorldViz) verfolgt, das eine Genauigkeit von weniger als einem Millimeter und eine Aktualisierungsrate von 60 Hz bietet. Die Orientierungsverfolgung wurde mit einem InterSense InertiaCube 3 erreicht, der oben am HMD befestigt war. Die virtuelle Umgebung wurde mit 60 Bildern pro Sekunde unter Verwendung von OpenGL auf einem PC mit Intel Core i7-Prozessoren, 6 GB RAM und einer nVidia Quadro FX 4800-Grafikkarte gerendert.

Zu Beginn jeder Sitzung wurden die Teilnehmer mit verbundenen Augen in den Laborraum geführt, um zu vermeiden, dass sie dem physischen Arbeitsbereich ausgesetzt wurden. Sie wurden angewiesen, eine virtuelle Umgebung zu erkunden, die aus einer Reihe von Büros besteht, die in einem zufällig generierten Layout angeordnet sind. Für die experimentelle Aufgabe mussten die Teilnehmer in jedem Raum einen 1-Dollar-Schein von einem Avatar abholen und dann über eine farblich gekennzeichnete Tür zu einem benachbarten Büro gehen. Avatare wurden einem studentischen Mitarbeiter im Labor zugeordnet, der die entsprechende Pose einnahm, um passives haptisches Feedback zu geben. Die Teilnehmer wurden angewiesen, sich mündlich zu melden, wenn sie eine Unterbrechung der Präsenz (BIP) erlebten, die wir ihnen als das Gefühl bezeichneten, dass die virtuelle Szene oder Interaktion unplausibel erschien. Nach der VR-Sitzung Die Probanden skizzierten den Weg, den sie durch die VE zurücklegten, indem sie einen virtuellen Grundriss auf ein Blatt Papier zeichneten, ohne Möbel oder Avatare. Die Karten wurden für jeden Übergang zwischen Räumen separat ausgewertet, wobei eine Bewertung von entweder +1 vergeben wurde, wenn die Pfadinformationen zwischen dem Betreten und Verlassen des Raums in etwa dem tatsächlichen Türlayout entsprachen (dh dem unveränderten Türlayout im Fall von SDR), oder 0 sonst. Die Gesamtpunktzahl der Karte wurde als Summe der Punktzahlen für die einzelnen Übergänge für jedes Subjekt berechnet und zwischen 0 variiert denen eine Punktzahl von entweder +1 zugewiesen wurde, wenn die Pfadinformationen zwischen dem Betreten und Verlassen des Raums in etwa mit der tatsächlichen Türanordnung (dh der unveränderten Türanordnung im Fall von SDR) übereinstimmten, oder 0 auf andere Weise. Die Gesamtpunktzahl der Karte wurde als Summe der Punktzahlen für die einzelnen Übergänge für jedes Subjekt berechnet und zwischen 0 variiert Wem eine Punktzahl von entweder +1 zugewiesen wurde, wenn die Pfadinformationen zwischen dem Betreten und Verlassen des Raums in etwa mit der tatsächlichen Türanordnung (dh der unveränderten Türanordnung im Fall von SDR) übereinstimmten, oder 0 auf andere Weise. Die Gesamtpunktzahl der Karte wurde als Summe der Punktzahlen für die einzelnen Übergänge für jedes Subjekt berechnet und zwischen 0 variiert - - 10. Darüber hinaus haben wir die Probanden gebeten, die Seiten einer quadratischen Karte mit ihrer Schätzung der Abmessungen der physischen Gehfläche im Labor zu kennzeichnen. Die Gesamtzeit zum Abschluss

#### 3.3 Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die gepoolten BIP-Wahrscheinlichkeiten in jeder der fünf Bedingungen. Die Ergebnisse wurden mit einer Varianzanalyse mit wiederholten Messungen (ANOVA) mit einem Signifikanzniveau von behandelt  $\alpha = .05$ , welche war bedeutend,  $F(4,84) = 76,43$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2_p = .78$ . Paarweise Vorformlinge mit Bonferroni angepasst  $\alpha$  Werte zeigten an, dass SCR optimal ist ( $M = .13$ ,  $SD = .13$ ) und SDR optimal ( $M = .21$ ,  $SD = .28$ ) hatten niedrigere BIP-Wahrscheinlichkeiten als alle anderen Bedingungen,  $p < .01$ , unterschieden sich aber nicht wesentlich voneinander,  $p > .99$ . Zusätzlich OCR ( $M = .91$ ,  $SD = .14$ ) hatten höhere BIP-Wahrscheinlichkeiten als SCR nicht optimal ( $M = .70$ ,  $SD = .18$ ),  $p < .01$ , unterschieden sich aber nicht wesentlich von SDR nicht optimal ( $M = .86$ ,  $SD = .19$ ),  $p > .99$ . ANOVAs mit wiederholten Messungen, die den Effekt der Neuorientierungstechnik innerhalb der Probanden testeten, wurden sowohl für die Sketch-Map-Grade als auch für die Schätzungen der physischen Raumgröße durchgeführt. Signifikante Ergebnisse waren

beobachtet für die Kartenbewertungen,  $F(2,42) = 17,26$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2_p = .45$ . Paarweise Vergleiche zeigten, dass Skizzenkarten im SDR-Zustand niedriger bewertet wurden ( $M = 6,68$ ,  $SD = 2,08$ ) im Vergleich zu beiden SCR ( $M = 8,95$ ,  $SD = 1,89$ ),  $p < .01$  und OCR ( $M = 8,91$ ,  $SD = 1,48$ ),  $p < .01$ . Die Bewertungen unterschieden sich nicht signifikant zwischen SCR und OCR,  $p > .99$ . Die Ergebnisse für die Raumgrößenschätzungen waren auch von Bedeutung,  $F(2,42) = 88,29$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2_p = .81$ . Paarweise Vorstrafen gaben an, dass die Länge einer Wand im quadratischen physischen Raum bei der Neuorientierung mit SDR als die längste geschätzt wurde ( $M = 12,43$  m,  $SD = 3,36$  Mio.) im Vergleich zu den kürzeren Schätzungen in

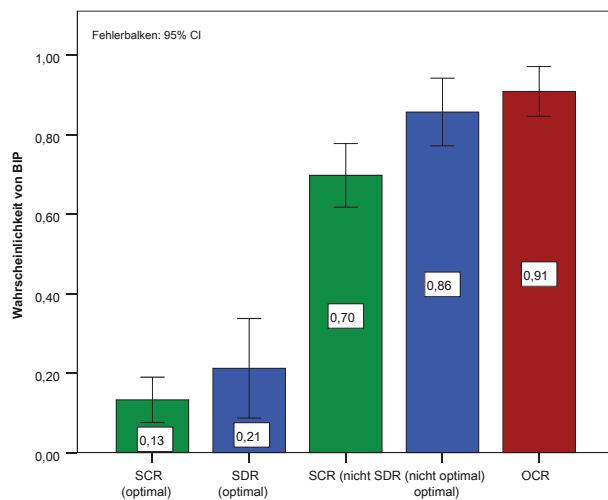


Abbildung 2: Ergebnisse, die die gepoolte Wahrscheinlichkeit einer gemeldeten Unterbrechung des Vorhandenseins für jede Bedingung zeigen. Die Probanden berichteten über deutlich weniger Pausen während der Neuorientierung unter Verwendung der SCR- und SDR-Techniken, wenn sie optimal angewendet wurden.

sowohl der SCR ( $M = 6,72$  m,  $SD = 1,38$  m),  $p < .01$  und OCR-Bedingungen ( $M = 5,05$ ,  $SD = 0,74$  m),  $p < .01$ . Der Unterschied zwischen den Schätzungen der SCR- und OCR-Bedingungen war signifikant.  $p < .01$ .

### 3.4 Diskussion

Selbst gemeldete Unterbrechungen der Anwesenheit scheinen eine nützliche Metrik für die Unterscheidung zwischen subtilen und offenen Umleitungstechniken zu sein. Die Ergebnisse der Studie bestätigten, dass eine Neuorientierung des Benutzers mit subtilen Techniken (SCR und SDR) vorzuziehen ist, vor allem aber, wenn sie optimal angewendet werden können. Selbst wenn dies nicht möglich ist, kann es dennoch vorteilhaft sein, eine Technik wie SCR unter nicht optimalen Bedingungen einzusetzen. Dies wird durch die Beobachtung gestützt, dass der nicht optimale SCR zwar eine relativ hohe Inzidenz von selbst berichteten BIPs verursachte, jedoch immer noch niedriger war als der OCR-Zustand. Offene Techniken haben jedoch im Allgemeinen den Vorteil, dass sie allgemeiner anwendbar sind. Daher sollte jeder automatisierte Umleitungscontroller mindestens einen enthalten, um Fehlerfälle zu vermeiden, wenn der Benutzer sonst den physischen Arbeitsbereich verlassen würde.

Im Durchschnitt schätzten die Probanden den physischen Arbeitsbereich bei der Erkundung der Umgebung im SZR-Zustand als viel größer ein, verglichen mit beiden anderen Bedingungen sowie den Bedingungen. Dieses interessante Ergebnis deutet darauf hin, dass architektonische Illusionen der Veränderungsblindheit den Eindruck erwecken können, eine expansive Umgebung zu erkunden. Dieser Vorteil ist jedoch nicht ohne Kosten, da die Probanden im Vergleich zu den beiden anderen Techniken auch niedrigere Sketch-Map-Noten erhielten. Dies ist nicht besonders überraschend, da sich das Umgebungsmodell dynamisch änderte und die Noten der Skizzenkarten im Vergleich zum ursprünglichen, nicht manipulierten Umgebungslayout berechnet wurden. Dies deutet darauf hin, dass diese architektonischen Illusionen möglicherweise nicht für den praktischen Einsatz in Anwendungen geeignet sind, in denen der Erwerb genauer räumlicher Kenntnisse wichtig ist.

### 4 C. SCHLUSSFOLGERUNG

In diesem Artikel haben wir eine neuartige Taxonomie vorgestellt, die das Spektrum der verfügbaren Umleitungstechniken abbildet. In Zukunft kann diese Taxonomie verwendet werden, um das Design virtueller Umgebungen zu informieren, und bildet die theoretische Grundlage für die Entwicklung automatisierter Umleitungssteuerungen, die eine Vielzahl von Techniken dynamisch anwenden können, die auf den Anforderungen des Systems und dem aktuellen Status des Systems basieren Nutzer.

### R. EFERENZEN

- [1] DA Bowman, E. Kruijff, JJ LaViola und I. Poupyrev. *3D User In-Schnittstellen: Theorie und Praxis*. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., Redwood City, Kalifornien, USA, 2004.
- [2] G. Bruder, F. Steinicke und KH Hinrichs. Arch-Explore: Eine natürliche Benutzeroberfläche für umfassende architektonische exemplarische Vorgehensweisen. Im *IEEE-Symposium zu 3D-Benutzeroberflächen*, Seiten 75–82, 2009.
- [3] G. Bruder, F. Steinicke, KH Hinrichs und M. Lappe. Neuorientierung während Körperrumdrehungen. Im *Gemeinsame Virtual Reality Konferenz von EGVE - ICAT - EuroVR*, Seiten 145–152, 2009.
- [4] G. Bruder, F. Steinicke und P. Wieland. Selbstbewegungssillusionen in immersiven Virtual-Reality-Umgebungen. Im *IEEE Virtual Reality*, Seiten 39–46, 2011.
- [5] D. Engel, C. Curio, L. Tcheang, B. Mohler und SH Bülthoff. Ein psychophysisch kalibrierter Controller zum Navigieren durch große Umgebungen auf engstem Raum. Im *ACM Virtual Reality Software & Technologie*, Seiten 157–164, 2008.
- [6] SS Fisher, M. McGreevy, J. Humphries und W. Robinett. Anzeigesystem für virtuelle Umgebungen. Im *Workshop zu interaktiven 3D-Grafiken*, Seiten 77–87, 1987.
- [7] LF Hodges, R. Kooper, TC Meyer, BO Rothbaum, D. Opdyke, JJ de Graaff, JS Williford und MM North. Virtuelle Umgebungen zur Behandlung der Höhenangst. *Computer*, 28: 27–34, 1995.
- [8] V. Interrante, B. Ries und L. Anderson. Sieben Liga-Stiefel: Eine neue Metapher für eine verbesserte Fortbewegung durch mittelgroße immersive virtuelle Umgebungen. Im *IEEE-Symposium zu 3D-Benutzeroberflächen*, Seiten 167–170, 2007.
- [9] J. Jerald, T. Peck, F. Steinicke und M. Whitton. Empfindlichkeit gegenüber Szenenbewegungen für Phasen von Kopfgieren. Im *Symposium zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung*, Seiten 155–162, 2008.
- [10] CT Neth, JL Souman, D. Engel, U. Kloos, SH Bülthoff und BJ Mohler. Geschwindigkeitsabhängiger dynamischer Krümmungsgewinn für umgeleitetes Gehen. Im *IEEE Virtual Reality*, Seiten 151–158, 2011.
- [11] TC Peck, H. Fuchs und MC Whitton. Evaluierung von Neuorientierungstechniken und Ablenkern für das Gehen in großen virtuellen Umgebungen. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 15 (3): 383–394, 2009.
- [12] TC Peck, H. Fuchs und MC Whitton. Eine Bewertung der Navigationsfähigkeit, bei der umgeleitete freie Erkundung mit Ablenkern mit Schnittstellen für das Gehen an Ort und Stelle und der Joystick-Fortbewegung verglichen wird. Im *IEEE Virtual Reality*, Seiten 55–62, 2011.
- [13] S. Razzaque, Z. Kohn und MC Whitton. Umgeleitetes Gehen. Im *Eurographics (Kurzpräsentation)*, 2001.
- [14] F. Steinicke, G. Bruder, KH Hinrichs und A. Steed. Allmähliche Übergänge und ihre Auswirkungen auf die Anwesenheits- und Entfernungsschätzung. *Computer & Grafik*, 34 (1): 26–33, 2010.
- [15] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz und M. Lappe. Schätzung der Erkennungsschwellen für umgeleitetes Gehten. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 16 (1): 17–27, 2010.
- [16] E. Suma, S. Finkelstein, M. Reid, S. Babu, A. Ulinski und L. Hodges. Bewertung der kognitiven Effekte der Reisetchnik in komplexen realen und virtuellen Umgebungen. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 16: 690–702, 2010.
- [17] EA Suma, S. Clark, SL Finkelstein, Z. Wartell, DM Krum und M. Bolas. Nutzung der Änderungsblindheit für die Umleitung in virtuellen Umgebungen. Im *IEEE Virtual Reality*, Seiten 159–166, 2011.
- [18] M. Usoh, K. Arthur, MC Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater und FP Brooks. Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen. Im *ACM-Konferenz über Computergrafik und interaktive Techniken (SIGGRAPH)*, Seiten 359–364, 1999.
- [19] B. Williams, G. Narasimham, TP McNamara, TH Carr, JJ Rieser und B. Bodenheimer. Aktualisieren der Ausrichtung in großen virtuellen Umgebungen mithilfe des skalierten Translationsgewinns. Im *Symposium zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung*, Seiten 21–28, 2006.
- [20] B. Williams, G. Narasimham, B. Rump, TP McNamara, TH Carr, J. Rieser und B. Bodenheimer. Erkunden großer virtueller Umgebungen mit einem HMD, wenn der physische Speicherplatz begrenzt ist. Im *Symposium zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung*, Seiten 41–48, 2007.