

Diskussionen, Statistiken und Autorenprofile für diese Veröffentlichung finden Sie unter: <https://www.researchgate.net/publication/311755076>

## VR-Fortbewegung: Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Armschwingen

Konferenzpapier · Dezember 2016

DOI: 10.1145 / 3013971.3014010

---

ZITATE  
38

LESEN  
1.163

---

4 Autoren, einschließlich:



Betsy Williams

Rhodes College

32 VERÖFFENTLICHUNGEN 807 ZITATE

SIEHE PROFIL

## VR-Fortbewegung: Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Armschwingen

Preston Tunnell Wilson  
Rhodes College

William Kalescky  
Rhodes College

Ansel MacLaughlin  
Rhodes College

Betsy Williams \*  
Rhodes College

### Abstrakt

Es gibt viele Methoden, um eine HMD-basierte virtuelle Umgebung zu erkunden, z. B. die Verwendung eines Gamecontrollers, physisches Gehen, Gehen an Ort und Stelle, Teleportieren, Fliegen, Lehnen usw. Der Zweck dieser Arbeit besteht darin, eine einfache Methode von einzuführen Implementierung von „Walking in Place“ mithilfe eines einfachen, kostengünstigen Beschleunigungssensors. Anschließend bewerten wir diese Methode des Gehens an Ort und Stelle, indem wir sie mit dem normalen Gehen und einer anderen zuvor veröffentlichten kostengünstigen Erkundungsmethode, dem Armschwingen, vergleichen. In einem Experiment, das das räumliche Bewusstsein vergleicht, zeigen wir, dass das Gehen an Ort und Stelle nicht so gut ist wie das Gehen zu Fuß, aber es ist besser als das Schwingen des Arms. Die Probanden absolvieren auch Versuche zur Schätzung der blinden Fortbewegungsentfernung unter jeder der Fortbewegungsbedingungen.

Schlüsselwörter: Fortbewegung, Gehen an Ort und Stelle, virtuelle Realität, Wahrnehmung

Konzepte: • • Berechnungsmethoden → Wahrnehmung; Virtuelle Realität;

### 1. Einleitung

Es wurde gezeigt, dass kostengünstige haptische Geräte wie Standard-Gamecontroller und Joysticks in immersiven virtuellen Umgebungen (IVEs) zu Desorientierung führen [Chance et al. 1998; Ruddle and Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002]. Es ist nicht klar, wie ein IVE effektiv und kostengünstig untersucht werden kann. Es ist ein herausforderndes und wichtiges Problem, Wege zu finden, um in IVEs räumlich zu navigieren, die vergleichbar mit der Art und Weise sind, wie wir in der realen Welt navigieren. In der realen Welt aktualisieren Menschen ihren Standort auf natürliche Weise räumlich in Bezug auf Objekte in ihrer Umgebung. Eine bedeutende Arbeit hat gezeigt, dass die Erforschung einer IVE durch körperliches Gehen zu der realistischsten Erfahrung führt [Ruddle und Lessels 2006; Waller und Hodgson 2013]. Das heißt, die räumliche Ausrichtung eines Benutzers in einem IVE ist am besten, wenn die propriozeptiven Hinweise des Gehens mit den visuellen Eingaben übereinstimmen. Das physische Gehen in einem IVE erfordert, dass der physische Standort des Benutzers von einer Art Verfolgungsgerät ermittelt wird. Große Verfolgungssysteme sind jedoch teuer, beschränken die Exploration auf die Größe des Verfolgungssystems, und die physischen Platzanforderungen legen nahe, dass es sich niemals um ein Produkt auf Warenbene handelt.

Wir wenden uns Alternativen zu, die diese Einschränkungen von Tracking-Systemen vermeiden. Zwei kostengünstige Methoden zur Erkundung einer virtuellen Umgebung sind das Armschwingen [McCullough et al. 2015] und „Walking in Place“ (WIP) [Williams et al. 2011; Williams et al. 2013; Wilson et al. 2014]. Diese Techniken sind überzeugend, weil sie mehr propriozeptive Hinweise zu liefern scheinen als Tra-

\* E-Mail: [sandersons@rhodes.edu](mailto:sandersb@rhodes.edu)

Die Erlaubnis, digitale oder gedruckte Kopien aller oder eines Teils dieser Arbeit für den persönlichen Gebrauch oder den Unterricht zu erstellen, wird ohne Gebühr erteilt, sofern keine Kopien zum Gewinn oder zum kommerziellen Vorteil angefertigt oder verteilt werden und die Kopien diesen Hinweis und das vollständige Zitat auf der ersten Seite tragen. Urheberrechte für Komponenten dieser Arbeit, die anderen als ACM gehören, müssen anerkannt werden. Das Abstrahieren mit Kredit ist erlaubt. Um anderweitig zu kopieren oder erneut zu veröffentlichen, auf Servern zu veröffentlichen oder auf Listen weiterzugeben, ist eine vorherige Genehmigung und / oder eine Gebühr erforderlich. Fordern Sie Berechtigungen bei [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org) an. © c 2016 ACM.

VRCAI '16 .. 3. bis 4. Dezember 2016, Zhuhai, China

ISBN: 978-1-4503-4692-4 / 16/12... \$ 15.00

DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3013971.3014010>



Abbildung 1: Dieses Bild zeigt einen Benutzer, der die Myo-Armbänder verwendet, während er ein Oculus DK2 HMD trägt.

zusätzliche kostengünstige virtuelle Navigationstechniken wie ein Joystick. Insbesondere scheinen WIP und Armschwingen zu einem besseren räumlichen Bewusstsein für die Umwelt zu führen.

Wir sind der Meinung, dass die bisherige Forschung zu „Walking in Place“ vielversprechend ist. Wie in Abschnitt 2 dargelegt, bestehen jedoch Probleme mit den derzeit kostengünstigen Methoden des Gehens an Ort und Stelle. Aus diesem Grund entwickeln wir einen neuen Algorithmus namens Accelerometer Walking in Place (A-WIP). Die Grundidee von A-WIP ist, dass ein Beschleunigungsmesser direkt über jedem der Knöchel der Teilnehmer angebracht ist. Diese Beschleunigungsmesser werden dann verwendet, um "Walk-in-Place" -Schritte zu erkennen und so den Benutzer im IVE in die Richtung zu verschieben, in die er schaut. In unserer speziellen Implementierung verwenden wir die Beschleunigersensoren, die Teil des Thalamic Labs Myo sind™ Armbinde (199 USD). Wir haben diese tragbare Armbinde verwendet, weil wir sie bequem und einfach anzuziehen fanden und mit verschiedenen Kleidungsstücken in Position blieben. Ein Bild davon ist in Abbildung 1 zu sehen. Obwohl bei dieser A-WIP-Methode das Myo-Armband verwendet wird, kann unser WIP auch mit anderen Geräten mit Beschleunigungsmessern verwendet werden.

In dieser Arbeit vergleichen wir unseren A-WIP-Algorithmus mit dem von McCullough et al. [McCullough et al. 2015] In dieser Arbeit wurde ein Myo™ Die Armbinde wurde an einem Arm getragen und die Benutzer konnten eine virtuelle Umgebung frei erkunden, indem sie ihre Arme schwangen. Sie fanden heraus, dass ihre Armschwingmethode einen einfachen Joystick übertrifft und dass die räumliche Ausrichtung mit dem physischen Gehen zu Fuß vergleichbar ist.

Sowohl das Gehen an Ort und Stelle als auch die Fortbewegungsmethoden mit schwingendem Arm leiden nicht unter der gleichen Platzbeschränkung wie Tracking-Systeme. Es wurde auch gezeigt, dass beide den Joystick übertreffen und räumliche Aktualisierungen ähnlich wie beim physischen Gehen aufweisen. Der Zweck dieser Arbeit ist es, den von McCullough et al. [McCullough et al. 2015] zu unserem Gehen

an Ort und Stelle Algorithmus. Wir fügen eine dritte Bedingung hinzu, das physische Gehen, da die Literatur darauf hinweist, dass dies der beste Weg ist, eine virtuelle Umgebung zu erkunden und das räumliche Bewusstsein aufrechtzuerhalten [Ruddle and Lessels 2006; Waller und Hodgson 2013]. Das in dieser Arbeit vorgestellte subjektinterne Experiment vergleicht daher die räumliche Ausrichtung und Distanzwahrnehmung der Probanden unter drei verschiedenen Fortbewegungsbedingungen: Myo-Gehen an Ort und Stelle, Myo-Armschwingen und physisches Gehen. Bei allen drei Methoden drehen sich die Probanden physisch. Sowohl beim Schwingen des Myo-Arms als auch beim Gehen an Ort und Stelle des Myo verschieben sich die Motive in die Gierrichtung, in die sie schauen. Die räumliche Ausrichtung wird zur Bewertung der Navigation verwendet, da das Erlernen des Layouts und der Informationen in der Umgebung häufig das Ziel einer virtuellen Erfahrung ist. Beispielsweise, Eine Person, die von der Arbeit nach Hause geht, muss ihren Standort und ihre Richtung in der Umgebung identifizieren, bevor sie festlegt, in welche Richtung sie vorgehen soll. Dieses Gefühl der räumlichen Orientierung beruht stark auf visuellen Informationen und Ganzkörperinformationen, während man sich in einer Umgebung bewegt [Wartenberg et al. 1998]. Mit anderen Worten, sowohl Umgebungshinweise als auch die Pfadintegration (der Prozess der Integration von Selbstbewegungshinweisen über die Zeit) beeinflussen die räumliche Orientierung. Daher wird die räumliche Orientierung im Allgemeinen durch Experimente getestet, bei denen die Teilnehmer die Verwendung von Umgebungshinweisen und die Pfadintegration kombinieren müssen. Eine beliebte Methode zur Beurteilung der räumlichen Ausrichtung eines Benutzers in einem IVE besteht darin, Drehfehler und Latenzen bei Aufgaben zu messen, bei denen die Probanden aufgefordert werden, sich zuvor erlernten Zielobjekten zuzuwenden [Mai 1996]. Um die räumliche Ausrichtung zu messen, haben wir die Drehfehler und Latenzen aufgezeichnet, die mit Personen verbunden sind, die sich drehen, um sich einem erinnerten Objekt von verschiedenen Positionen im IVE zu stellen. Der Drehfehler ist definiert als der Unterschied zwischen der tatsächlichen Blickrichtung des Motivs und der Richtung, die erforderlich ist, um das Ziel korrekt zu sehen.

Diese Arbeit zielt auch darauf ab zu verstehen, wie gut sich Menschen an diese Fortbewegungstechniken anpassen können, indem sie eine Reihe von Versuchen zur Schätzung der blinden Fortbewegungsentfernung unter jeder Bedingung durchführen lassen [Creem-Regehr et al. 2015]. Das heißt, Beobachter betrachteten ein Ziel in einem großen offenen Feld und gaben die wahrgenommene Entfernung des Ziels an, die zwischen 1,25 m und 6,25 m lag, indem sie ohne Sicht zu diesen Zielen navigierten.

## 2. Hintergrund

Frühere Forschungen haben verschiedene Techniken zur Navigation in einem IVE untersucht. Mit haptischen Geräten wie einem Joystick oder einer Tastatur können Benutzer große Umgebungen virtuell erkunden [Ruddle et al. 1999; Bowman et al. 1999; Waller et al. 1998; Darken und Sibert 1996; Pausch et al. 1995]. Studien haben jedoch gezeigt, dass die Verwendung von physischer bipedaler Bewegung anstelle von haptischen Geräten zu einer deutlich besseren räumlichen Orientierung führt [Chance et al. 1998; Ruddle und Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002]. Suma et al. [2007] zeigen, dass die Verwendung der Positions- und Orientierungsverfolgung mit einem HMD wesentlich besser ist als die Verwendung eines Systems, das die Orientierungsverfolgung und ein haptisches Gerät für Übersetzungen kombiniert. Riecke et al. [2010] fanden heraus, dass Joystick-Übersetzungen und physische Rotationen zu einer besseren Leistung führten als die Joystick-Navigation.

Andere Methoden zur Untersuchung großer IVEs wurden vorgeschlagen. In unserer früheren Arbeit haben Williams et al. [2006; 2008] zeigen, dass der Translationsgewinn des Gehens skaliert werden kann (wobei ein Schritt vorwärts mehrere Schritte vorwärts im virtuellen Raum führt). Interrante et al. [2007] schlugen eine Methode namens „Seven League Boots“ vor, bei der die Verstärkung basierend auf der Zauberstabkontrolle skaliert wird. Eine andere Methode zum Navigieren in einem großen IVE besteht darin, die Rotation so zu manipulieren, dass die Fortbewegung des Subjekts innerhalb der Grenzen des Verfolgungssystems liegt [Razzaque et al. 2001; Engel et al. 2008; Nitzsche et al. 2004; Steinicke et al. 2010]. Diese Verfahren erfordern einen großen Verfolgungsbereich für das Rotationsma-

Nipulation ist nicht wahrnehmbar und kann physisch gefährlich sein, da Benutzer leicht stolpern und fallen können. Alle oben genannten Verfahren zur Manipulation der Fortbewegung erfordern die Verwendung eines relativ teuren Verfolgungssystems, um die physische Position des Benutzers zu erfassen. Virtuelles Fliegen [Usoh et al. 1999] und Teleportieren sind andere Möglichkeiten, große IVEs zu erkunden, aber es fehlt ihnen das Feedback von Lokomotiven.

Eine Möglichkeit, die freie Erkundung eines IVE im menschlichen Maßstab zu ermöglichen und einige der tragen Hinweise für das Gehen bereitzustellen, besteht darin, die Benutzer „an Ort und Stelle gehen“ (WIP) zu lassen. WIP kann kostengünstig implementiert werden (mit Microsoft Kinects [Williams et al. 2013; Wilson et al. 2014]; mit Wii Balance Boards [Williams et al. 2011]; mit Smartphones [Tregillus und Folmer 2016; Brajdic und Harle 2013]). Als WIP mit den Wii Balance Boards, Williams et al. [Williams et al. 2011] zeigte, dass die räumliche Ausrichtung der Teilnehmer der des normalen Gehens entsprach und der Joystick-Navigation überlegen war. Sie implementierten später auch einen alternativen WIP-Algorithmus mit Microsoft Kinect-Sensoren [Williams et al. 2013; Wilson et al. 2014]. Sie fanden jedoch einige Probleme bei der Verwendung des Kinect als Grundlage eines virtuellen Umgebungssystems. Das unmittelbarste Problem war die Okklusion von Körperteilen: Wenn der Benutzer bestimmten Ausrichtungen ausgesetzt war, konnte der Kinect die Skelettdaten des Benutzers nicht korrekt bestimmen. Sie versuchten, dies zu beheben, indem sie ihrem System einen zusätzlichen Kinect hinzufügten, aber dies löste das Problem nicht vollständig. Um zu verhindern, dass die fehlerhaften Kinect-Daten dazu führen, dass Benutzer sich unbeabsichtigt nach vorne bewegen, haben sie den Winkel des inneren Knies vergrößert, der zum Aufzeichnen eines Schritts erforderlich ist. Dies zwang die Benutzer, praktisch zu marschieren, anstatt an Ort und Stelle zu gehen. Benutzer empfanden dies als unangenehm. Schließlich konnten sich Benutzer nur in Schritten von vollen Schritten vorwärts bewegen und hatten daher keine genaue Kontrolle über ihre Bewegung. In jüngerer Zeit wurde WIP mit einem Smartphone implementiert. [Tregillus und Folmer 2016] Ein starker Vorteil dieses Systems besteht darin, dass das Smartphone auch als virtuelles Display verwendet wird, sodass keine zusätzlichen Sensoren erforderlich sind. Aufgrund der Einschränkungen des Smartphones leidet der Algorithmus unter einer hohen Stopp-Latenz und keiner Kontrolle über die Geschwindigkeit. Verschiedene Techniken von WIP zur Erforschung eines IVE wurden vorgeschlagen [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010]. Diese Arbeiten konzentrierten sich hauptsächlich auf Schritterkennungsalgorithmen und verwenden relativ teure Verfolgungssysteme, um die Position der Knie, Schienbeine, Füße oder des Kopfes zu verfolgen. Zusätzlich haben Whitton et al. [2005] verglichen Gehen, WIP und Joystick-Fortbewegung und stellten fest, dass physisches Gehen zur Erforschung eines IVE besser war als WIP- und Joystick-Fortbewegung. Harris et al. [2014] schlagen eine kostengünstige Methode vor, um ein IVE zu untersuchen und festzustellen, dass es mit WIP vergleichbar ist. Verschiedene Techniken von WIP zur Erforschung eines IVE wurden vorgeschlagen [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010]. Diese Arbeiten konzentrierten sich hauptsächlich auf Schritterkennungsalgorithmen und verwenden relativ teure Verfolgungssysteme, um die Position der Knie, Schienbeine, Füße oder des Kopfes zu verfolgen. Zusätzlich haben Whitton et al. [2005] verglichen Gehen, WIP und Joystick-Fortbewegung und stellten fest, dass physisches Gehen zur Erforschung eines IVE besser war als WIP- und Joystick-Fortbewegung. Harris et al. [2014] schlagen eine kostengünstige Methode vor, um ein IVE zu untersuchen und festzustellen, dass es mit WIP vergleichbar ist. Verschiedene Techniken von WIP zur Erforschung eines IVE wurden vorgeschlagen [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010]. Diese Arbeiten konzentrierten sich hauptsächlich auf Schritterkennungsalgorithmen und verwenden relativ teure Verfolgungssysteme, um die Position der Knie, Schienbeine, Füße oder des Kopfes zu verfolgen.

Andere Systeme zur Erforschung eines großen IVE umfassen große Bildschirmhöhlen mit einem Fortbewegungseingang wie ein Fahrrad oder ein Laufband [Plumert et al. 2004]. Höhlenbasierte Systeme sind teuer und enthalten meist nur drei virtuelle Wände. Laufbandsysteme sind schwierig und teuer zu konstruieren und bieten genügend Freiheitsgrade, um eine freie Erkundung zu ermöglichen. Andere teure Hardwarelösungen zur Erforschung eines großen IVE umfassen die Cyber Sphere [Fernandes et al. 2003] und der Cyber Walk [Schwaiger et al. 2007].

Wir vergleichen direkt die räumliche Ausrichtung der Teilnehmer in einer virtuellen Umgebung, wenn die Umgebung durch WIP erkundet wird, physisch geht und unsere Myo-Armschwingmethode verwendet. Eine Einschränkung unserer Arbeit besteht darin, dass wir keinen realen Basisvergleich durchgeführt haben. Wir wissen, dass viele Studien [Bowman et al. 1999; Waller et al. 1998; Williams et al. 2007] haben einen Unterschied zwischen virtueller Erkundung und realer Erkundung festgestellt. In dieser Arbeit waren wir daran interessiert zu sehen, wie gut unsere WIP-Methode mit der Myo-Armschwingmethode verglichen wird. Wir möchten diese Idee jedoch in zukünftigen Arbeiten weiterverfolgen.

### 3 Myo-Fortbewegungsmethoden

Das Myo Armband ist ein tragbares Band, das in Abbildung zu sehen ist. Das Armband passt zu Armgrößen, deren Umfang zwischen 7,5 und 13 Zoll variiert, indem die mit dem Produkt gelieferten Expander hinzugefügt oder entfernt werden. Das Myo-Armband verfügt über zwei Arten von Sensoren, einen rostfreien EMG-Sensor für medizinische Zwecke und eine 9-Achsen-Trägheitsmesseinheit (IMU). Die IMU enthält ein dreiachsiges Gyroskop, einen dreiachsigem Beschleunigungsmesser und einen dreiachsigem Magnetometer. Somit bietet das Myo SDK verschiedene Arten von räumlichen Daten: Orientierung in Bezug auf Neigung, Gieren und Rollen, Beschleunigungsvektordaten, die die Beschleunigung des Armbands darstellen, und Winkelgeschwindigkeitsdaten, die vom Gyroskop bereitgestellt werden. Es ist wichtig zu beachten, dass die IMU im Myo-Armband gut zum Messen der Ausrichtung des Arms (Rollen, Neigen, Gieren), aber Positionsdaten weisen eine erhebliche Fehlermenge auf. Der Myo 3.2 Entfernungswahrnehmung Armband ist besser geeignet, um die relativen Ausrichtungen der zu erhalten Arme eher als die absolute Position und kann eine Probenahme erreichen Rate von 50 Hz. Alle Daten vom Myo werden über Blue- übertragen. Zahn zu einem Computer. Die Grafiken wurden mit der Unity 3-D-Game-Engine gerendert.

#### 3.1 Myo Arm Swinging

##### Zur Verwendung des von McCullough et al.

[McCullough et al. 2015] tragen die Probanden eine Myo-Armbinde am dicksten Teil ihres Unterarms, direkt unter ihrem Ellbogen. Das Grundlegende Die Idee des Algorithmus ist, dass Benutzer ihre Arme schwingen, um sich zu bewegen die Richtung, in die sie schauen. Wir stellen fest, dass diese Methode bei dieser Fortbewegungsmethode nur ein Armband verwendet. Diese Annäherung funktioniert gut, denn wenn ein Arm schwingt, verwendet der andere Arm beim Avatar und wie lange der Benutzer gebraucht hat, um zu dieser Position zu gelangen.

Verbündeter schwingt auch. Um Schritte aus der Armbewegung mit diesem Algorithmus abzuleiten rithm berechneten wir die Geschwindigkeit in der  $y$ -Richtung. Wir notieren das 3.3 Fragebogen. Wenn man die Arme schwingt, ist die Bewegung meistens in der  $y$  und  $z$ Positionen. Wir haben uns entschieden, das zu messen  $y$ -Geschwindigkeit, weil es war konsistent, unabhängig davon, in welche Richtung der Benutzer blickte. Dies hilft außerdem, versehentliche Bewegungen aufgrund von Gestik zu verhindern. Wenn der Benutzer seine Arme zu stark in der bewegt hat  $x$  oder  $z$  Richtung, wir zählten es als Gestik und würden den Benutzer nicht vorwärts bewegen. Später diskutieren wir mögliche Alternativen zu diesem Algorithmus. Um sich nicht mehr zu bewegen, hörten die Teilnehmer auf, ihre Arme zu bewegen. Wenn mit diesem Armschwungsalgorithmus die Probanden ihre Arme schneller schwingen, treiben sie sich aufgrund der erhöhten Geschwindigkeit schneller vorwärts.

##### 3.2 Beschleunigungsmesser läuft an Ort und Stelle

Bei diesem Algorithmus haben wir zwei montierte Beschleuniger verwendet. Wir haben zwei Armbänder verwendet, um diesen Algorithmus für das Gehen an Ort und Stelle zu implementieren, der eine Verbindung über Bluetooth herstellt. Mit unserem Walking-in-Place-Algorithmus legen Benutzer eine Myo-Armbinde um jeden ihrer Knöchel. Wir haben die Daten von beiden Armbändern auf einem Computer erhalten, und Unity wurde mit zwei unterstützt.

Unser Walking-in-Place-Algorithmus stützte sich auf die Beschleunigungsmesserdaten. Wir haben einfach die Geschwindigkeitsänderung vom Myo-Armband aus gemessen. Dies ermöglichte es den Benutzern, auf eine Weise zu gehen, die für sie am bequemsten ist, anstatt ihre Füße unbeholfen hochzuheben. Wie bei der Armschwungsmethode messen wir die Änderung der  $y$ -Position. Da das Knie jedoch weniger Bewegungsgrade aufweist, müssen wir die Gestik nicht berücksichtigen. Wir gingen auch davon aus, dass ein Bein stationär ist, während sich ein anderes bewegt. Dies ist für das tatsächliche Gehen nicht genau, funktioniert aber gut genug für das Gehen an Ort und Stelle. Daher haben wir einfach die Änderung der Unterschiede für jedes Bein summiert. Später diskutieren wir Verbesserungen und Alternativen zu diesem Algorithmus.

Durch die Verwendung von Beschleunigungsmessern wird das Problem der Okklusion vermieden, mit dem der Kinect konfrontiert ist. Es werden keine optischen Daten benötigt, da die Daten direkt vom Benutzer gelesen werden. Es gibt viel weniger Lärm. Außerdem haben wir die Daten verwendet

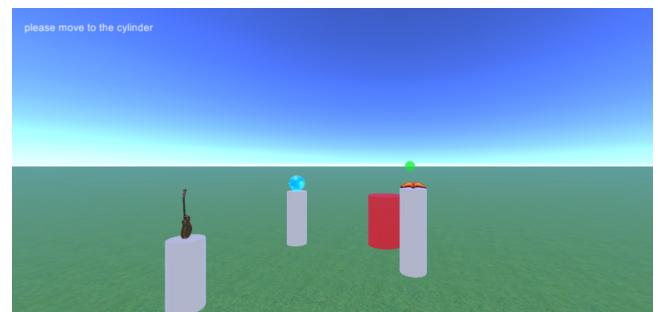


Abbildung 2: Ansicht der virtuellen Umgebung.

Vom Beschleunigungsmesser aus hatten die Benutzer eine genauere Kontrolle über Zusätzlich haben die Benutzer auf ihre Distanzwahrnehmung in der virtuellen Umgebung getestet. Benutzer ihre Bewegung Je schneller sie an Ort und Stelle gingen, desto schneller bewegten. Entfernung in virtuellen Umgebungen deutlich unterschätzen. Betsy haben wir dieses Zitat? Und wir sie sich in der VE. Sie können schnell anhalten und sich leicht und bequem bewegen. wollten selbst schwierige Fortbewegungsmethoden ausprobieren, um die Leistungsfähigkeit des Generators zu testen.

Einstellung anzunehmen, dass wir in Schritten von garzen Nachdem ein Benutzer mit seinem Raumorientierungssinn fertig war, entnahmen wir die Objekte und Schritte erkunden können. stellten sie in die Mitte des Raums, wenn sie sich im Verfolgungszustand befanden. Ein Avatar würde entweder 10, 20, 30 oder 40 Unity-Einheiten vom Benutzer entfernt erscheinen, wobei ungefähr 8 Unity-Einheiten 1 Meter entfernt waren.

### 4 Experimentelle Auswertung

Nachdem ein Benutzer mit seinem Raumorientierungssinn fertig war, entnahmen wir die Objekte und Schritte erkunden können. Nachdem ein Benutzer alle drei Navigationsmethoden abgeschlossen hatte, stellten wir ihm eine Reihe von Fragen. Wir haben die richtige Entfernung aufgezeichnet, wie weit der Benutzer vom Avatar entfernt war, als er sagte, dass er sich in der Nähe befindet haben. Nachdem ein Benutzer alle drei Navigationsmethoden abgeschlossen hatte, stellten wir ihm eine Reihe von Fragen.

#### 4.1 Materialien

Das Experiment wurde in einem Raum von  $9 \times 12$  m durchgeführt. Das

- IVE wurde durch ein am Kopf montiertes Oculus Rift Development Kit 2 (DK2)-Display (HMD) mit einer Auflösung von  $960 \times 1080$  pro Auge betrachtet. In Sichtfeld von 100° diagonal ein Gewicht von 0,32 kg und eine optische Bildrate von 75Hz. Die Ausrichtung wurde anhand der
- Ausrichtung des Sensors auf dem Oculus Rift DK2 aktualisiert. Grafiken wurden mit der Unity gerendert. Im Gehzustand wurde die Position von
- Wir konnten die Verteilung der verschiedenen Fortbewegungsmethoden auf einer Skala von 1 bis 5, wobei 5 die bequemste / interpoliert, die 2 am HMD montierte LED-Leuchten verfolgen.

Das im Experiment verwendete IVE war eine kreisförmige Grasfläche (50 m Durchmesser) mit einem generischen Kuppelhintergrund, der den Himmel darstellt (siehe Abbildung 2). Für jede Bedingung würde sich der Benutzer die Positionen von 6 Objekten merken, auf denen sich die Umgebung befindet Spalten (Abbildung 2). Die Höhen der Zylinder variierten, so dass die Oberseite der Objekte immer auf der gleichen Höhe war. Nachdem der Benutzer die Positionen der Objekte auswendig gelernt hatte, begannen die Tests. Diese sechs Zielobjekte wurden in einer bestimmten Konfiguration angeordnet, so dass die Konfiguration unter allen drei Bedingungen nur durch eine Drehung um die Mittelachse variierte. Auf diese Weise wurden die Winkel der korrekten Gierwinkelantworten unter allen Bedingungen beibehalten. Die zufällige Reihenfolge der Versuche und die verschiedenen Objekte verdeckten die Tatsache, dass die Anordnung während des gesamten Experiments gleich war. Objekte waren in Größe und Höhe ähnlich. Wir haben einen Zylinder und einen Pfeil verwendet, um die Position bzw. Ausrichtung des Testorts für einen bestimmten Versuch anzuzeigen.

Unter allen drei Bedingungen befanden sich die Zielobjekte und Testorte mit einem Radius von 8 m von der Mitte der Ebene entfernt. Die Probanden wurden angewiesen, relativ nahe am Zentrum zu bleiben, und der Experimentator forderte die Teilnehmer auf, sich mehr in Richtung des Zentrums der Umgebung zu bewegen, wenn sie sich zu weit vom Raum entfernt wagten. Auf diese Weise war der erforschte Raum unter allen drei Bedingungen ungefähr gleich.

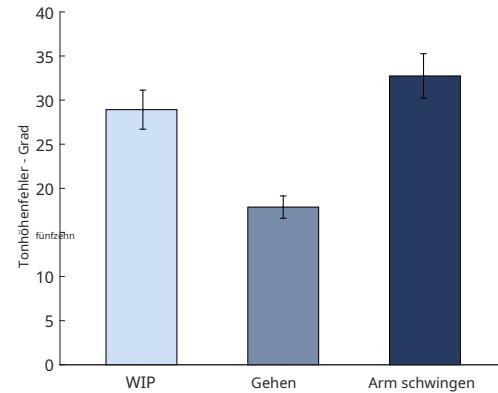
## 4.2 Vorgehensweise

Jeder der 18 Teilnehmer erkundete jede der Umgebungen unter den drei verschiedenen translatorischen Fortbewegungsbedingungen A-WIP, normales Gehen und Myo-Armschwingen. Unter allen drei Bedingungen stimmte die Rotation in der virtuellen Umgebung mit der Rotation in der physischen Umgebung überein. Unter den Bedingungen des Myo-Armschwingens und des A-WIP bewegten sich die Teilnehmer ebenfalls in Blickrichtung. Im Gehzustand entsprach jeder physische Schritt direkt einem Schritt im virtuellen Raum.

Da es sechs Ordnungen der drei Fortbewegungsbedingungen gab, wurden drei Probanden in jeder Reihenfolge in einer ausgewogenen Weise getestet. Das experimentelle Verfahren wurde den Probanden vor dem Betrachten der virtuellen Umgebungen vollständig erklärt. Bevor der Proband die Zielobjekte in jeder Bedingung sah, wurden dem Teilnehmer zwei Objekte auf Säulen gezeigt, die in unserem Testset nicht vorkamen. Die Teilnehmer führten in dieser Umgebung mehrere Übungsversuche durch, um sich mit dem Aufbau und dem Versuchsaufbau vertraut zu machen. Nachdem das Subjekt die Aufgabe und den Zustand verstanden hatte, verschwanden die Übungszielobjekte. Der Teilnehmer übte dann den Bewegungszustand, indem er sich 2 Minuten lang zu verschiedenen Zielen in der Umgebung bewegte. Sobald die Teilnehmer damit vertraut waren, wurden sie gebeten, sich den Satz von Zielobjekten zu merken. Während der Lernphase wurden die Probanden gebeten, die Positionen der sechs Zielobjekte zu lernen, während sie sich frei in der virtuellen Umgebung bewegten, je nachdem, in welchem Zustand sie sich befanden. Nach etwa fünf Minuten des Studiums testete der Experimentator das Subjekt, indem er sie ließ Schließen Sie die Augen und zeigen Sie auf zufällig ausgewählte Ziele. Dieses Test- und Lernverfahren wurde wiederholt, bis sich der Proband sicher fühlte, dass die Konfiguration gelernt worden war und der Experimentator zustimmte.

Das räumliche Wissen der Teilnehmer wurde an sechs verschiedenen Orten getestet. Eine gegebene Testposition und -orientierung wurde dem Probanden durch das Auftreten eines roten Zylinders und eines roten Pfeils in der Umgebung angezeigt. Die Teilnehmer wurden angewiesen, den Zylinder so lange zu bewegen, bis er grün wurde, und sich dann dem Pfeil zuzuwenden, bis er grün wurde. Wenn sowohl der Zylinder als auch der Pfeil grün waren, befanden sich die Teilnehmer in einer geeigneten Position. Als das Subjekt diese Position erreichte, wurden die Objekte ausgeblendet, so dass der Teilnehmer nur den Zylinder und den Pfeil auf einem schwarzen Hintergrund sah. Nachdem dem Teilnehmer mitgeteilt wurde, zu welchem Objekt er sich wenden soll, verschwanden Zylinder und Pfeil, und der Teilnehmer sah kurz den Namen des Zielobjekts. Insbesondere wurde den Probanden gesagt, sie sollten sich dem <Zielnamen> zuwenden. Sobald der Teilnehmer angab, sich dem Objekt zugewandt zu haben, wurden der Drehwinkel, der Winkel der korrekten Reaktion und die mit dem Drehen zum Objekt verbundene Latenz aufgezeichnet. Der Zylinder und der Pfeil tauchten wieder auf und der Teilnehmer wandte sich wieder dem Pfeil zu, bis er wieder grün wurde. Dann wurde das Subjekt angewiesen, sich einem anderen Zielobjekt zu stellen. An jedem Ort absolvierte der Proband drei Versuche, indem er sich drei verschiedenen Zielobjekten in der Umgebung zuwandte, wobei 18 Versuche pro Bedingung durchgeführt wurden. Nach Abschluss von drei Versuchen an einem bestimmten Testort wurde der Teilnehmer gebeten, sich dem Pfeil zuzuwenden, bis er grün wurde, bevor die Umgebung und die Objekte erneut angezeigt wurden, damit der Teilnehmer kein Feedback erhielt. Nachdem die Umgebung und Objekte wieder gezeigt wurden, Der Zylinder und der Pfeil wurden zum nächsten Zielort bewegt. Die Probanden wurden ermutigt, sich nach Abschluss eines Testorts neu zu orientieren.

Um die Winkel der korrekten Antworten über Bedingungen hinweg zu vergleichen, wurden für jede Bedingung dieselben Versuche verwendet. Der Testort und die Zielorte waren unter allen drei Bedingungen analog, und die Ziele variierten zufällig in den Umgebungen. Die Versuche wurden so konzipiert, dass die Disparität gleichmäßig im Bereich von 20° verteilt war. Außerdem wurden die Testorte so positioniert, dass sie sich niemals einem Zielobjekt näher als 0,8 m zuwenden würden.



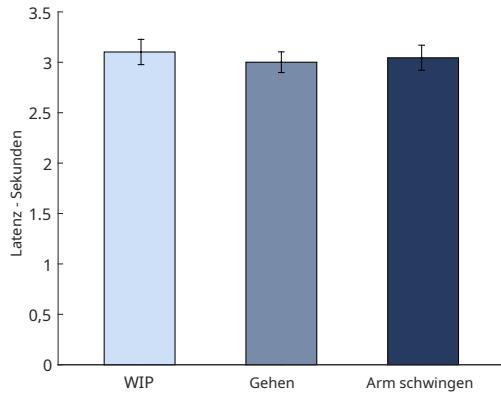
Figur 3: Mittlerer Drehfehler für die Bedingungen des Einlaufs (WIP), des Gehens und des Armschwingens. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an.

Um den Schwierigkeitsgrad der Aktualisierung der Ausrichtung in Bezug auf Objekte in der virtuellen Umgebung zu bewerten, wurden Latenzen und Fehler aufgezeichnet. Die Latenzen wurden ab dem Zeitpunkt der Identifizierung des Ziels gemessen, bis die Probanden angaben, ihre Drehbewegung abgeschlossen zu haben und dem Ziel zugewandt zu sein. Fehler ohne Vorzeichen wurden als absoluter Wert der Differenz in der anfänglichen Blickrichtung (in Richtung des Pfeils) abzüglich der korrekten Blickrichtung gemessen. Die Probanden gaben dem Experimentator an, dass sie durch mündliche Anweisung dem Ziel gegenüberstanden, und der Experimentator zeichnete ihre Zeit und Orientierung auf. Die Zeit wurde vom Computer aufgezeichnet, und die Rotationsposition wurde unter Verwendung des Orientierungssensors auf dem Oculus DK2 HMD aufgezeichnet. Die Probanden wurden ermutigt, so schnell wie möglich zu reagieren und dabei die Genauigkeit beizubehalten.

Nach jedem räumlichen Orientierungstest für eine gegebene Bedingung würden die Probanden in dieser Bedingung eine Entfernungsschätzungsaufgabe durchführen. Nachdem der Benutzer mit der räumlichen Orientierungsaufgabe für einen Zustand fertig war, wurden die Objekte in der Umgebung entfernt und die Probanden in der Mitte des Raums platziert, wenn sie sich im Verfolgungszustand befanden. Ein Avatar wird entweder 1,25 m, 2,5 m, 3,75 m oder 5 m vom Benutzer entfernt angezeigt. Nachdem der Benutzer gesehen hat, wo sich der Avatar befindet, wird die Anzeige schwarz und der Benutzer navigiert zu der Stelle, an der er den Avatar vermutet hat. Wir haben jede Strecke zweimal getestet. Die Reihenfolge der Entfernungen wurde zwischen Navigationsmethoden und zwischen Probanden randomisiert. Wir haben die richtige Entfernung aufgezeichnet, wie weit der Benutzer vom Avatar entfernt war, als er sagte, dass er sich am Avatar befindet, und wie lange der Benutzer gebraucht hat, um zu dieser Position zu gelangen.

## 4.3 Ergebnisse

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die mittleren Wendefehler und Latenzen der Probanden nach Fortbewegungsbedingungen in der virtuellen Umgebung. Alle Probanden erfüllten jede der drei Bedingungen in einer von sechs Reihenfolgen. Wir verglichen den mittleren Wendefehler unter den drei Bedingungen unter Verwendung einer ANOVA mit wiederholten Messungen mit der Reihenfolge zwischen den Probanden. Die Analyse ergab einen signifikanten Effekt des Zustands,  $F(2, 16) = 6,4, p < .01$ ; t-Tests ergaben ferner einen signifikanten Unterschied zwischen allen drei Bedingungen. Menschen machten weniger Fehler, wenn sie die virtuelle Umgebung physisch zu Fuß erkundeten und die meisten Fehler beim Schwingen des Arms machten. Sie machten auch weniger Fehler im WIP-Zustand im Vergleich zum Armschwingzustand. Es gab keine Auswirkungen der Ordnung oder der Wechselwirkungen von Zustand und Ordnung auf die Fehler der Teilnehmer. Wir verglichen die Latenz in einer ähnlichen ANOVA mit wiederholten Messungen mit der Reihenfolge zwischen den Probanden. Es gab keine ef-



Figur 4: Mittlere Latenz für das Gehen an Ort und Stelle (WIP), Gehlen und Armschwingen. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an.

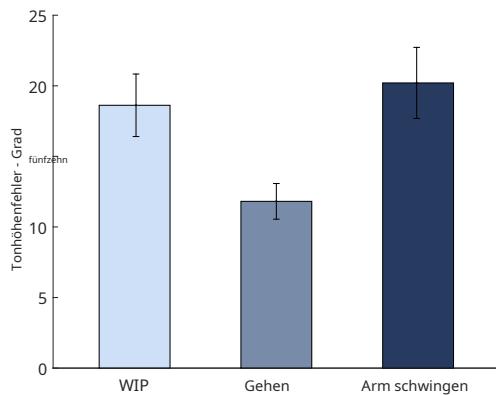


Abbildung 5: Medianer Drehfehler für die Bedingungen des Gehens an Ort und Stelle (WIP), des Gehens und des Armschwingens. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an.

Auswirkung von Zustand, Ordnung oder dem Zusammenspiel von Zustand und Ordnung. Somit war die Reaktionszeit für jeden Teilnehmer unter allen Bedingungen ungefähr gleich.

Abbildung 5 zeigt die mittleren Drehfehler der Probanden nach Fortbewegungsbedingungen. Die zugehörige mittlere Latenzzahl wurde weggelassen, da sie Abbildung 4 ähnelt. Obwohl die Trends Abbildung ähnlich sind In 3 sind die Drehfehler geringer. Der Grund für den Unterschied zwischen dem Median und dem Mittelwert lag hauptsächlich in der Existenz großer Ausreißer. Wir haben eine ähnliche statistische Analyse der Median-Daten durchgeführt. Das heißt, wir verglichen den mittleren Drehfehler unter den drei Bedingungen unter Verwendung einer ANOVA mit wiederholten Messungen mit der Reihenfolge zwischen den Probanden. Die Analyse ergab einen signifikanten Effekt des Zustands,  $F(2, 16) = 5,3, p < 0,1$ ; t-Tests ergaben ferner einen signifikanten Unterschied zwischen der Gehbedingung und den beiden anderen Bedingungen. Wir finden jedoch keinen statistischen Unterschied zwischen WIP und Armschwingen.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Ergebnisse des Blindabstandsschätzungsabschnitts unseres Experiments. Fig. 6 zeigt den mittleren Fehler, der als Funktion der Entfernung für jede der drei Bedingungen aufgetragen ist. In ähnlicher Weise zeigt 7 die Latenz, die als Funktion der Entfernung für jede der drei Bedingungen aufgetragen ist. Der mittlere Fehler wurde als beurteilt berechnet

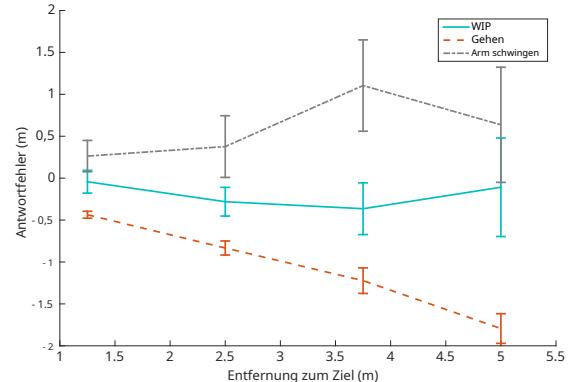


Abbildung 6: Fehler bei der Beurteilung der blinden Fortbewegungsentfernung für die Bedingungen des Gehens an Ort und Stelle (WIP), des Gehens und des Armschwingens nach Entfernung. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an. Negative Werte zeigen Entfernungsunterschätzungen an.

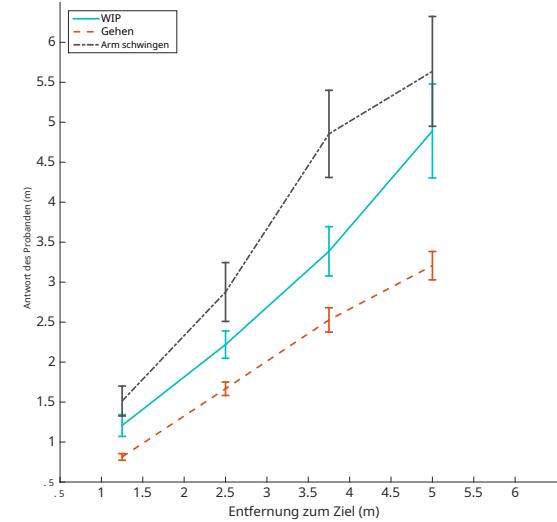


Abbildung 7: Reaktionszeit der blinden Fortbewegung für das Gehens an Ort und Stelle (WIP), Gehlen und Armschwingen nach Entfernung. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an.

Entfernung von der tatsächlichen Entfernung abgezogen. Positive Fehler bedeuten also eine Verkürzung (oder Entfernungsunterschätzung) und negative Fehler eine Anti-Verkürzung (oder Entfernungsüberschätzung). Die idealen oder genauen Antworten würden als gerade Linie bei einem Fehler von 0 m über die verschiedenen getesteten Entfernungen aufgetragen. Wir haben ANOVA mit wiederholten Messungen der Fehler der Teilnehmer durchgeführt, wobei der experimentelle Zustand (WIP, Gehen und Armschwingen) und die Entfernung (1,25 m, 2,5 m, 3,75 m und 5 m) als wiederholte Faktoren. Es gab einen sehr signifikanten Haupteffekt des Zustands ( $F(3, 51) = 278,2, p < .01$ ), und die Wechselwirkung von Zustand und Entfernung ( $F(3, 51) = 537,1, p < .01$ ). Die blinde Fortbewegungsreaktion war unter den Bedingungen signifikant unterschiedlich. Somit war die Fernwahrnehmung, wie sie durch Lokalisieren mit geschlossenen Augen unter verschiedenen Fortbewegungsmethoden angezeigt wurde, über die Bedingungen hinweg unterschiedlich. Darüber hinaus war die Reaktion der Probanden über die Entfernungen für jede Bedingung systematisch. In ähnlicher Weise haben wir ANOVA mit wiederholten Messungen an den Teilnehmern durchgeführt. Latenz. Es gab einen sehr signifikanten Haupteffekt des Zustands ( $F(3, 51) = 54,9, p < .01$ ), Entfernung ( $F(3, 51) = 181,4, p < .01$ ), und das Zusammenspiel von Zustand und Distanz ( $F(3, 51) = 78,1, p < .01$ ).

## 5 Diskussion und Schlussfolgerung

In diesem Artikel wird eine kostengünstige Methode zum Gehen an Ort und Stelle (WIP) mit einem Beschleunigungsmesser vorgestellt. In einer experimentellen Bewertung vergleichen wir WIP mit einer anderen kostengünstigen Methode zum Schwingen von Explorationsarmen [McCullough et al. 2015] und körperlich gehen. Wir fanden heraus, dass die physische Fortbewegung sowohl WIP als auch Armschwingen in Bezug auf Drehfehler ausführte. Wir fanden auch heraus, dass WIP in Bezug auf Drehfehler besser war als Armschwingen, und dass Benutzer seltsamerweise genau auf die richtige Entfernung im Zustand des Gehens an Ort und Stelle gingen. Unsere Ergebnisse unterscheiden sich ein wenig von früheren Arbeiten, die zeigen, dass Armschwingen in Bezug auf räumliches Bewusstsein dasselbe ist wie Gehen [McCullough et al. 2015] und WIP ist in Bezug auf räumliches Bewusstsein dasselbe wie Gehen [Williams et al. 2011], obwohl unsere Aufgaben sehr ähnlich sind. In der vorliegenden Studie haben wir 18 Teilnehmer, und die vorherigen Studien umfassten 12 Probanden pro Experiment. Auch die von McCullough et al. [McCullough et al. 2015] und Williams et al. [Williams et al. 2011] enthielt auch einen Joystick-Zustand.

Interessanterweise fanden wir einen statistischen Unterschied zwischen allen drei Bedingungen, als wir die mittleren Wendefehler der Teilnehmer analysierten. Wir haben keinen statistischen Unterschied zwischen WIP und Armschwingen festgestellt, als wir die Ergebnisse anhand der Median-Daten analysierten. Der Grund für den Unterschied zwischen den Median-Daten und den mittleren Daten war auf Ausreißer in unseren Daten zurückzuführen. Wir nehmen an, dass die Probanden möglicherweise mehr Training mit dem Armschwingzustand benötigen und mit größerer Wahrscheinlichkeit Ausreißer im Armschwingzustand erzeugen. Wir sind jedoch immer noch der Meinung, dass die geringen Fehler in unseren Ergebnissen in Bezug auf beide Methoden darauf hindeuten, dass sie immer noch praktikable Alternativen zum physischen Gehen sind. Wir haben diesem Experiment weder den Joystick noch den Gamecontroller als Bedingung hinzugefügt, da wir der Ansicht waren, dass diese Methoden deutlich unterlegen sind, wie die vorherigen Arbeiten gezeigt haben.

Die Ergebnisse der blinden Fortbewegung sind interessant. Es gab eine konsistente signifikante Überschätzung der Entfernungen, nachdem das IVE mit Armschwingen untersucht worden war, und eine konsistente signifikante Unterschätzung der Entfernungen, nachdem das IVE mit normalem Gehen untersucht worden war. Die Unterschätzung der Entfernung, die wir festgestellt haben, wenn Benutzer physisch gehen, um zu reagieren, stimmt mit der Literatur überein, die zeigt, dass Menschen Entfernen in virtuellen Umgebungen ständig unterschätzen [Creem-Regehr et al. 2015]. Wir fanden jedoch keine Unterschätzung durch Armschwingen oder WIP. Interessanterweise waren die Teilnehmer mit WIP am genauesten. Um dieses Ergebnis zu verstehen, haben wir die Teilnehmer gebeten, die Strategien zu beschreiben, mit denen sie herausgefunden haben, wie sie erneut arbeiten können

genau unter den Bedingungen des Armschwingens und des WIP reagieren. Einige Probanden berichteten, dass sie einfach die Anzahl der Schritte erraten und dann so viele Armschwünge oder WIP-Schritte ausgeführt haben, um zum Ziel zu gelangen. Andere sagten einfach, sie hätten sich nur vorgestellt, dass sie sich im Fortbewegungsmodus befänden, und reagierten angemessen. Wir nehmen an, dass die Probanden möglicherweise nicht einfach bequem laufen und das HMD selbst beim Gehen tragen, was dazu führen kann, dass Menschen unbewusst weniger gehen, weil sie sich nicht sicher fühlen.

Einer der großen Vorteile dieses neu erstellten WIP-Algorithmus besteht darin, dass Benutzer sich in kleineren Schritten bewegen können. Um kleinere „Schritte“ zu machen, würde der Benutzer einfach seine Beine leicht bewegen. Dies ist ein neues Konzept in der WIP-Literatur

Sowohl Armschwingen als auch WIP sind einfache, robuste Algorithmen. Darüber hinaus leiden diese auf dem Myo-Armband basierenden Navigationsmethoden weder unter Platzbeschränkungen noch unter Okklusion. Wir haben das Myo-Armband verwendet, weil es einfach anzuziehen und zu verwenden ist. Diese Algorithmen können jedoch unter Verwendung von eigenständigen Sensoren implementiert werden, die an der Kleidung angebracht werden können.

## Danksagung

Dieses Material basiert auf Arbeiten, die von der National Science Foundation im Rahmen des Zuschusses 1351212 unterstützt werden. Alle in diesem Material geäußerten Meinungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen oder Empfehlungen sind die der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Sponsoren wider. Wir danken dem Rhodes College Fellowship-Programm für die Unterstützung dieser Forschung.

## Verweise

- B. OWMAN, PAPA AVIS, ET, H. ODGES, LF, UND B. ADRE, AN 1999. Beibehaltung der räumlichen Orientierung während der Reise in einem IVE. *Präsenz* 8, 6, 618–631.
- B. RAJDIC, EIN., UND H. ARLE, R. 2013. Geherkennung und Schrittzählung auf uneingeschränkten Smartphones. Im *Berichte der 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, ACM, New York, NY, USA, UbiComp '13, 225–234.
- C. HANCE, SS, G. TANTE, F., B. EALL, AC, UND L. OOMIS, JM 1998. Der Fortbewegungsmodus beeinflusst die Aktualisierung von Objekten, die während der Reise angetroffen werden: Der Beitrag von vestibulären und propriozeptiven Eingaben zur Pfadintegration. *Präsenz* 7, 2, 168–178.
- C. REEM- R. EGEHR, SH, S. TEFANUCCI, JK, T. HOMPSON, WB, N. ASCHE, N., UND M. C. C. ARDELL, M. 2015. Egozentrische Distanzwahrnehmung im Okulusriss (dk2). Im *Vorträge des ACM SIGGRAPH Symposiums zur angewandten Wahrnehmung*, ACM, New York, NY, USA, SAP '15, 47–50.
- D. ARKEN, R., UND S. IBERT, J. 1996. Navigieren in großen virtuellen Welten. *Die Int. J. of Human-Computer Interaction* 8, 1, 49–72.
- E. NGEL, D., C. URIO, C., T. CHEANG, L., M. OHLER, B., UND B. ÜLTHOFF, HH 2008. Ein psychophysisch kalibrierter Controller zum Navigieren durch große Umgebungen auf engstem Raum. Im *2008 Symp. On VR Software und Technologie*, ACM, New York, NY, USA, 157–164.
- F. STAFFELEI, J., W. HITTON, MC, UND W. ENDE, JD 2008. Llcm-Wip: Low-Latency, Continuous-Motion-Walking-In-Place. Im *Sym. auf 3D-Benutzeroberflächen*, IEEE, Washington, DC, 97–104.
- F. ERNANDES, KJ, R. AJA, V., UND E. JA, J. 2003. Cybersphere: das vollständig immersiv sphärische Projektionssystem. *Kommun. ACM* 46, 9, 141–146.

- H. ARRIS, EIN GUYEN, K., W. ILSON, PT, J. ACKOSKI, M., UND W. ILLIAMS, B. 2014. Menschlicher Joystick: Wii-Neigung zur Übertragung in großen virtuellen Umgebungen. Im *Vorträge der 13. Internationalen Konferenz von ACM SIGGRAPH über das Kontinuum der virtuellen Realität und seine Anwendungen in der Industrie*, ACM, New York, NY, USA, VRCAI '14, 231–234.
- ICH NTERRANTE, V., R. IES, B., UND EIN NDERSON, L. 2007. Sieben Liga-Stiefel: Eine neue Metapher für eine gesteigerte Fortbewegung durch mäßig große Leben. Im *IEEE Symp. auf 3D-Benutzeroberflächen*, 167–170.
- L. ATHROP, WB, UND K. AISER, MK 2002. Wahrge nommene Orientierung in physischen und ves: Veränderungen in der wahrgenommenen Orientierung als Funktion der verfügbaren idiothetischen Informationen. *Präsenz* 11, 1, 19–32.
- M. AY, M. 1996. Denken außerhalb des Körpers: Ein Vorteil für die räumliche Aktualisierung während der imaginären gegenüber der physischen Selbstrotation. *Psychologische Beiträge* 38, 418–434.
- M. C. C. ULLOUGH, M., X. U. H., M. ICHELSON, J., J. ACKOSKI, M., P. LEICHTIGKEIT, TOILETTE OBB, W., K. ALESCKY, W., L. HINZUFÜGEN, J., UND W. ILLIAMS, B. 2015. Myo Arm: Schwingen, um ein ve zu erkunden. Im *Vorträge des ACM SIGGRAPH Symposiums zur angewandten Wahrnehmung*, ACM, New York, NY, USA, SAP '15, 107–113.
- N. ITZSCHE, N., H. ANEBECK, U., UND S. CHMIDT, G. 2004. Mo-Komprimierung für telepresentes Gehen in großen Zielumgebungen. *Präsenz* 13, 1, 44–60.
- P. AUSCH, R., P. ROFFITT, D., UND W. ILLIAMS, B. 1995. Quantifizierung des Eintauchens in die virtuelle Realität. Im *SIGGRAPH 95*, 399–400.
- P. LUMERT, JM, K. EARNEY, JK, UND C. REMER, JF 2004. Die Wahrnehmung von Lückenleistungen durch Kinder: Radfahren über verkehrsreiche Kreuzungen in einem immersiven Ve. *Methoden, Instrumente und Computer zur Verhaltensforschung* 75, 1243–1253.
- R. AZZAQUE, S., K. OHN, Z., UND W. HITTON, MC 2001. Umgeleitetes Gehen. *Eurographics Kurzpräsentation*.
- R. IECKE, BE, B. ODENHEIMER, B., M. C. N. AMARA, TP, W. ILLIAMS, B., P. ENG, P., UND F. EUEREISSEN, D. 2010. Do. Müssen wir für eine effektive vr-Navigation gehen? physische Rotationen allein können ausreichen. Im *7. Inter. Conf. auf Spat. Cogn.*, 234–247.
- R. UDDLE, RA, UND L. ESSELS, S. 2006. Für eine effiziente Navigationssuche benötigen Menschen volle körperliche Bewegung, aber keine reichhaltige visuelle Szene. *Psychologische Wissenschaft* 17, 6 (Juni), 460–465.
- R. UDDLE, RA, P. AYNE, SJ, UND J. EINSEN, DM 1999. Navigation in großen Ves: Welche Unterschiede treten zwischen am Helm montierten und Desktop-Displays auf? *Präsenz* 8, 2, 157–168.
- S. CHWAIGER, M., T. HUMMEL, T., UND U. LBRICH, H. 2007. Cy-berwalk: Ein fortschrittlicher Prototyp einer Belt-Array-Plattform. *Haptische, Audio- und visuelle Umgebungen und Spiele. HAVE 2007. IEEE International Workshop*, 12.-14. Oktober, 50–55.
- S. SPÄTER, M., U. SOH, M., UND S. TEED, A. 1995. Schritte unternehmen: Der Einfluss einer Gehtechnik auf die Präsenz in der virtuellen Realität. *ACM Trans. zur menschlichen Interaktion* 2, 3, 201–219.
- S. TEINICKE, F., B. RUDER, G., J. ERA LD, J., F. RENZ, H., UND L. APPE, M. 2010. Schätzung der Erkennungsschwellen für umgeleitete Gehtechniken. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik* 16, 17–27.
- S. UMA, E., B. ABU, S., UND H. ODGES, L. 2007. Vergleich von Reisetechniken in einer komplexen 3D-Umgebung auf mehreren Ebenen. Im *IEEE-Symposium zu 3D-Benutzeroberflächen*, 149–155.
- T. EMPLEMAN, JN, D. ENBROOK, PS, UND S. IBERT, LE 1999. Virtuelle Fortbewegung: Gehen durch Ves. *Präsenz* 8, 6, 598–617.
- T. REGILLUS, S., UND F. OLMER, E. 2016. Vr-Schritt: Gehen an Ort und Stelle mit Trägheitserfassung für die Freisprechnavigation in mobilen vr-Umgebungen. Im *Berichte der CHI-Konferenz 2016 über Human Factors in Computersystemen*, ACM, New York, NY, USA, CHI '16, 1250–1255.
- U. SOH, M., A. RTHUR, K., W. HITTON, MC, B. ASTOS, R., S. TEED, WIE SPÄTER, M., UND B. DÄCHER, FP 1999. Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen, in ves. Im *SIGGRAPH 99*, 359–364.
- W. ALLER, D., UND H. ODGSON, E. 2013. Sensorische Beiträge zum räumlichen Wissen über reale und virtuelle Umgebungen. Im *Menschliches Gehen in virtuellen Umgebungen*. Springer, 3–26.
- W. ALLER, D., H. UNT, E., UND K. NAPP, D. 1998. Der Transfer von räumlichem Wissen in ve Training. *Präsenz* 7, 2, 129–143.
- W. ARDENBERG, F., M. AY, M., UND P. É RUCH, S. 1998. Räumliche Orientierung in ves: Hintergrundüberlegungen und Experimente. Im *Spatial Cognition, eine Interdisc. Ca. zu Rep. und Proc. Spat. Wissen*, Springer, London, 469–489.
- W. ENDE, JD, W. HITTON, MC, UND J. R., FPB 2010. Gud Wip: Gangverständnisgesteuertes Gehen an Ort und Stelle. Im *VR*, 51–58.
- W. HITTON, MC, C. OHN, JV, F. STAFFELEI, J., Z. IMMONS, P., R. AZ-ZAQUE, S., P. OULTON, SJ, M. C. L. EOD, B., UND B. DÄCHER J. R., FP 2005. Vergleich von fünf Fortbewegungsschnitstellen. Im *Virtuelle Realität, 2005. Verfahren. VR 2005. IEEE*, IEEE, 123–130.
- W. ILLIAMS, B., N. ARASIMHAM, G., M. C. N. AMARA, TP, C. ARR, TH, R. IESER, JJ, UND B. ODENHEIMER, B. 2006. Aktualisieren der Ausrichtung in großen Ves unter Verwendung eines skalierten Translationsgewinns. Im *3. Symp. auf Appl. Wahrnehmen. in Graph. und Vis.*, ACM, 21–28.
- W. ILLIAMS, B., N. ARASIMHAM, G., W. ESTERMAN, C., R. IESER, JJ, UND B. ODENHEIMER, B. 2007. Funktionale Ähnlichkeiten in räumlichen Darstellungen zwischen Real und Ves. *TAP* 4, 2.
- W. ILLIAMS, B., B. AILEY, S., N. ARASIMHAM, G., L. ICH, M., UND B. ODENHEIMER, B. 2011. Bewertung des Gehens auf einem Wii-Balance-Board zur Erkundung eines VE. *ACM Trans. Appl. Wahrnehmen*. 8, 3 (August), 19: 1–19: 14.
- W. ILLIAMS, B., M. C. C. ALEB, FRAU TRACHAN, C., UND Z. HENG, Y. 2013. Torso versus Blickrichtung, um durch Gehen an Ort und Stelle zu navigieren. Im *SAP '13: Vorträge des Symposiums zur angewandten Wahrnehmung*, erscheinen.
- W. ILLIAMS, B. 2008. *Design und Evaluierung von Methoden für Motorexploration in großen virtuellen Umgebungen mit Head-Mounted-Display-Technologie*. Doktorarbeit, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, USA.
- W. ILSON, PT, N. GUYEN, K., H. ARRIS, EIN., UND W. ILLIAMS, B. B. 2014. Gehen Sie mit dem Microsoft Kinect an Ort und Stelle, um eine große Ve zu erkunden. Im *Vorträge der 13. Internationalen Konferenz von ACM SIGGRAPH über das Kontinuum der virtuellen Realität und seine Anwendungen in der Industrie*, ACM, New York, NY, USA, VRCAI '14, 27–33.