

Rezension

Die neue Ära der Fortbewegung der virtuellen Realität: Eine systematische Literaturübersicht über Techniken und eine vorgeschlagene Typologie

Costas Boletsis



SINTEF Digital, Forskningsveien 1, 0373 Oslo, Norwegen; konstantinos.boletsis@sintef.no Eingegangen am 7. September

2017; Akzeptiert: 25. September 2017; Veröffentlicht: 28. September 2017

Abstrakt: Die neuesten technischen und interaktiven Fortschritte im Bereich Virtual Reality (VR) haben eine neue Ära eingeleitet, nicht nur für VR, sondern auch für die VR-Fortbewegung. Obwohl die jüngsten Fortschritte in der VR-Fortbewegung das Interesse von Forschern und Anwendern geweckt haben, aktuelle VR-Fortbewegungstechniken zu analysieren und zu erleben, ist das Forschungsgebiet zur VR-Fortbewegung in seiner neuen Ära noch unbekannt. In dieser Arbeit wird die VR-Fortbewegung durch eine systematische Literaturrecherche untersucht, in der empirische Studien zu VR-Fortbewegungstechniken von 2014 bis 2017 untersucht werden. Der Aufsatz analysiert die untersuchten VR-Fortbewegungstechniken, ihre interaktionsbezogenen Eigenschaften und die Forschungsthemen, die in diesen Studien behandelt wurden. Sechsenddreißig Artikel wurden als relevant für die Literaturübersicht identifiziert, und die Analyse der Artikel ergab 73 Fälle von 11 VR-Fortbewegungstechniken, wie z. B. Real-Walking, Walking-in-Place, Point and Teleport, Joystick-basierte Fortbewegung und mehr. Die Ergebnisse zeigten, dass seit der Wiederbelebung der VR der Schwerpunkt der VR-Fortbewegungsforschung auf der VR-Technologie und verschiedenen technologischen Aspekten lag, was die Untersuchung der Benutzererfahrung überschattete. Aus Sicht der Interaktion wurde festgestellt, dass die Mehrheit der verwendeten und untersuchten VR-Fortbewegungstechniken auf physischer Interaktion basiert und physische Bewegungshinweise für die Navigation in VR-Umgebungen nutzt. Ein wesentlicher Beitrag der Literaturrecherche liegt in der vorgeschlagenen Typologie für die VR-Fortbewegung, in der vier verschiedene VR-Fortbewegungstypen eingeführt werden: bewegungsbasierte, raumskalenbasierte, steuerungs-basierte und teleportationsbasierte Fortbewegung.

Schlüsselwörter: Menschliche Interaktion mit dem Computer; Literarische Rezension; Fortbewegung; Typologie; virtuelle Realität

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat Virtual Reality (VR) eine umfassende hardwaregesteuerte Wiederbelebung erfahren, die erhebliche Auswirkungen auf die Art und Weise hatte, wie Benutzer VR erleben und verwenden [1 , 2]. Die Einführung des Oculus Rift Development Kit 1 im Jahr 2013 gilt als wichtiger Meilenstein für VR. Er zeigt an, wann die VR-Wiederbelebung stattgefunden hat und wann VR wieder zugänglich, aktuell und relevant geworden ist [1 , 3 - - 5]. Die geringen Anschaffungskosten für VR-Hardware verwandelten VR in eine allgemein zugängliche und beliebte Technologie. Gleichzeitig stieg die Qualität virtueller Umgebungen rapide an, bot realistische Grafiken und ein vollständiges Eintauchen, übertraf den Mangel an intuitiven Mehrbenutzerfunktionen der Vergangenheit und überschritt die Grenzen sozialer Plattformen der nächsten Generation [6 - - 8]. Aus Sicht der Mensch-Computer-Interaktion (HCI) hat die technologische Wiederbelebung von VR neue und aktualisierte Interaktionsmetaphern, -designs und -werkzeuge hervorgebracht, die sich auf die daraus resultierenden Benutzererfahrungen und die Erforschung des Feldes auswirken [3]. Insgesamt markierte die VR-Wiederbelebung das, was als „neue Ära der virtuellen Realität“ bezeichnet wurde [9 - - 11].

Die VR-Fortbewegung, eine wichtige Interaktionskomponente, die die Navigation in VR-Umgebungen ermöglicht, war stark vom technologischen Wandel betroffen [12 , 13]. Seit den Anfängen der VR wurden verschiedene Fortbewegungstechniken entwickelt und untersucht, die auf eine nahtlose und benutzerfreundliche Navigation in virtuellen Umgebungen abzielen [12 , 14], während wichtige theoretische Modelle und Klassifikationen entwickelt wurden, um die konstruktiven Beiträge von VR-Fortbewegungstechniken wie die Taxonomien von zu begründen

Bowman et al. [15 , 16] und Arns [17]. Die neuesten technischen und interaktiven Fortschritte von VR markierten auch eine neue Ära für die VR-Fortbewegung. Infolgedessen wurden neue VR-Fortbewegungstechniken und verwandte Elemente entwickelt und frühere wurden erheblich aktualisiert. Beispielsweise ist die Point-and-Click-Teleportation heute eine gängige VR-Fortbewegungstechnik, die von kommerziellen Head-Mounted Displays (HMD) wie dem HTC Vive und dem Oculus Rift [vollständig unterstützt wird. 12], während bewegungsbasierte Fortbewegungstechniken wie Schwimmen, Klettern, Fliegen und Gehen an Ort und Stelle robuster und benutzerfreundlicher geworden sind [18 , 19]. Joystick-basierte Fortbewegung behebt jetzt die virtuelle Krankheit mit effektiven dynamischen Anpassungen des Sichtfelds (Blinder) [20] und die echte Fortbewegungstechnik, die für das Labor eine umständliche Konstruktion war [21], wird jetzt mit handelsüblichen Headsets ausgeliefert [22 , 23]. Obwohl die jüngsten Fortschritte in der VR-Fortbewegung das Interesse von Forschern und Anwendern geweckt haben (z. 24 , 25)) In Bezug auf das Verstehen, Entwickeln, Verwenden und Erleben der VR-Fortbewegungstechniken ist das Forschungsfeld der VR-Fortbewegung in seiner neuen Ära noch unbekannt.

In dieser Arbeit wird der Schwerpunkt auf die neue Ära der VR-Fortbewegung gelegt, indem die VR-Fortbewegungstechniken untersucht werden, die seit dem Meilenstein der VR-Wiederbelebung untersucht wurden. Zu diesem Zweck wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, in der empirische Studien zu HMD-basierten VR-Fortbewegungstechniken von 2014 bis 2017 untersucht werden. Ziel der Überprüfung ist es, (1) das Forschungsfeld VR-Fortbewegung in seiner aktuellen Form zu organisieren und abzubilden; (2) Ermittlung von Forschungslücken auf dem Gebiet, die eine weitere Untersuchung rechtfertigen; und (3) neues konzeptionelles Wissen zu konstruieren, das die theoretische Grundlage für zukünftige empirische und konstruktive Arbeiten im Zusammenhang mit der VR-Fortbewegung bildet. Die ultimative Absicht dieser Arbeit ist es, dass VR-Forscher, Entwickler und Benutzer einen Überblick über die aktuellen Techniken auf dem Gebiet der VR-Fortbewegung erhalten, um diese Techniken verstehen zu können und

Das Papier ist wie folgt organisiert. Zunächst wird der Literaturrechercheprozess beschrieben, gefolgt von einem Überblick über die besprochenen Arbeiten (Abschnitt 2 und Tabelle 1). Als nächstes werden die Ergebnisse des Überprüfungsprozesses vorgestellt (Abschnitt 3). Abschließend werden die wichtigsten Ergebnisse und Empfehlungen für die künftige Forschung sowie die Auswirkungen auf die Forschung erörtert (Abschnitt 4).

2. Methode

Diese Studie wurde als systematische Literaturrecherche auf der Grundlage der ursprünglichen Richtlinien durchgeführt, wie von Kitchenham vorgeschlagen [26] und Brereton et al. [27] und implementiert von Beecham et al. [28]. In Übereinstimmung mit den Richtlinien wurden die folgenden Schritte unternommen:

1. die Notwendigkeit einer systematischen Literaturrecherche ermitteln,
2. formulieren die Forschungsfragen der Überprüfung,
3. eine umfassende, umfassende Suche nach Primärstudien durchführen,
4. Bewertung und Aufzeichnung der Qualität der eingeschlossenen Studien,
5. klassifizieren Sie die Daten, die zur Beantwortung der Forschungsfragen benötigt werden.
6. Daten aus jeder eingeschlossenen Studie extrahieren,
7. Zusammenfassung und Synthese der Studienergebnisse (Metaanalyse),
8. Interpretieren Sie die Ergebnisse, um ihre Anwendbarkeit zu bestimmen.
9. Schreiben Sie die Studie als Bericht auf.

Um sicherzustellen, dass kein wichtiges Material übersehen wurde, wurden zusätzliche Recherchen in wichtigen Konferenzberichten, Zeitschriften und Autoren direkt durchgeführt. Darüber hinaus wurden Sekundärsuchen basierend auf Referenzen durchgeführt, die in unseren Primärstudien gefunden wurden.

2.1. Forschungsfragen

Um den aktuellen Stand der Forschung auf dem Gebiet der VR-Fortbewegung zu beurteilen, werden in der Literaturübersicht drei Forschungsfragen behandelt. Seit der VR-Wiederbelebung:

- .. RQ1: Welche VR-Fortbewegungstechniken wurden untersucht?

- RQ2: Welche interaktionsbezogenen Eigenschaften haben die untersuchten VR-Fortbewegungstechniken? RQ3: Welche Forschungsthemen im Zusammenhang mit VR-Fortbewegung werden in den überprüften Studien behandelt?

RQ1 konzentriert sich auf die Identifizierung der direkt untersuchten VR-Fortbewegungstechniken oder der Techniken, deren Elemente untersucht werden. Um die abgerufenen Techniken weiter zu untersuchen und zu analysieren, sind ihre Interaktionsaspekte wichtig, und RQ2 untersucht diese Aspekte. RQ1 und RQ2 konzentrieren sich auf das Zusammenspiel der überprüften Techniken, während RQ3 die Forschung zu diesen Techniken und die darin behandelten Themen untersucht.

2.2. Suchstrategie

Eine systematische Literaturrecherche wurde in der akademischen Suchmaschine Scopus durchgeführt. Für das untersuchte Fach wurden die akademischen Datenbanken ACM und IEEE als am relevantesten angesehen, da sie sich auf HCI-Fragen bzw. technische Aspekte konzentrierten. Die Scopus-Engine durchsucht die ACM- und IEEE-Datenbanken sowie die Datenbanken anderer Verlage wie Elsevier, Springer, Taylor und Francis, Sage, Emerald, Oxford University Press, Cambridge University Press und viele mehr. Scopus wurde aus anderen akademischen Suchmaschinen (z. B. Google Scholar, Web of Science) für den Hauptsuchprozess aufgrund seiner breiteren Abdeckung verwandter Zeitschriften, seiner flexiblen Filterfunktionen für Ergebnisse und der konsistenten Genauigkeit seiner Ergebnisse ausgewählt [29 , 30].

Die Suche konzentrierte sich auf VR-Fortbewegungstechniken, die durch empirische Studien gestützt wurden, die zwischen dem ersten vollständigen Veröffentlichungsjahr nach der VR-Wiederbelebung, dh Januar 2014, und dem Datum dieser Suche, dh Juni 2017, veröffentlicht wurden. Die Abstracts der Veröffentlichungen wurden verwendet. Verwenden Sie zum Abrufen relevanter Artikel die folgende Abfragezeichenfolge für die erweiterte Suche der Scopus-Datenbank:

ABS (("Fortbewegung" ODER "Navigationstechnik") UND ("empirisch" ODER "studiert" ODER "Studie" ODER "Bewertung" ODER "Bewertung" ODER "Prüfung" ODER "Prüfung")) UND ("virtuelle Realität" ODER " virtuelle Umgebung " ODER " virtuelle Welt ")) UND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) ODER LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) ODER LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015) ODER LIMIT-TO (PUBYEAR, 2014)).

Schließlich wurden anwendbare Artikel auch durch Rückwärtsreferenzsuche identifiziert, dh durch Durchsuchen der Referenzlisten der abgerufenen Veröffentlichungen [31]. Scopus, Google Scholar und Web of Science wurden für die Suche nach Rückwärtsreferenzen verwendet, um allgemeine Suchen nach bestimmten Referenzen durchzuführen und relevante Artikel zu identifizieren.

2.3. Einschluss und Ausschluss Kriterien

Von Experten begutachtete Artikel mit den folgenden Merkmalen, die zwischen Januar 2014 und Juni 2017 veröffentlicht wurden, wurden aufgenommen:

- in Englisch geschrieben,
- einschließlich mindestens einer VR-Fortbewegungstechnik,
- einschließlich einer Benutzerstudie, die direkte oder indirekte Aspekte der VR-Fortbewegungstechnik (en) untersucht, mit einem vollständig immersiven
- VR-Setup unter Verwendung von HMDs.

Der Peer-Review-Prozess trägt zur Glaubwürdigkeit und Zuverlässigkeit der Veröffentlichungen bei. Die Bewertung von VR-Fortbewegungstechniken durch Benutzerstudien wurde als wichtiges Kriterium angesehen, um bestehende und verwendbare Systeme über die konzeptionelle Ebene hinaus darzustellen. HMD-basierte, vollständig immersive VR wurde als geeignetes Setup ausgewählt, damit die Ergebnisse der Literaturrecherche technologisch auf dem neuesten Stand sind und gleichzeitig für Forscher und reguläre Benutzer von Bedeutung sind, die jetzt Zugriff haben zu diesen kostengünstigen Lösungen.

Folglich wurden Artikel mit folgenden Merkmalen ausgeschlossen:

- Verwenden Sie ausschließlich projektionsbasierte, Desktop-basierte oder Tablet-basierte virtuelle Umgebungen, die sich ausschließlich mit konzeptionellen
- Fragen der VR-Fortbewegung befassen (theoretische Modelle, Frameworks, Literaturrecherchen usw.).
- ohne empirische Nutzerstudie,
- Verwendung von VR-Fortbewegungstechniken als technologisches / Forschungsinstrument zur Untersuchung eines anderen, nicht verwandten Themas.

2.4. Screening-Prozess und Ergebnisse

Der Screening-Prozess und seine Ergebnisse sind in Abbildung dargestellt 1 .

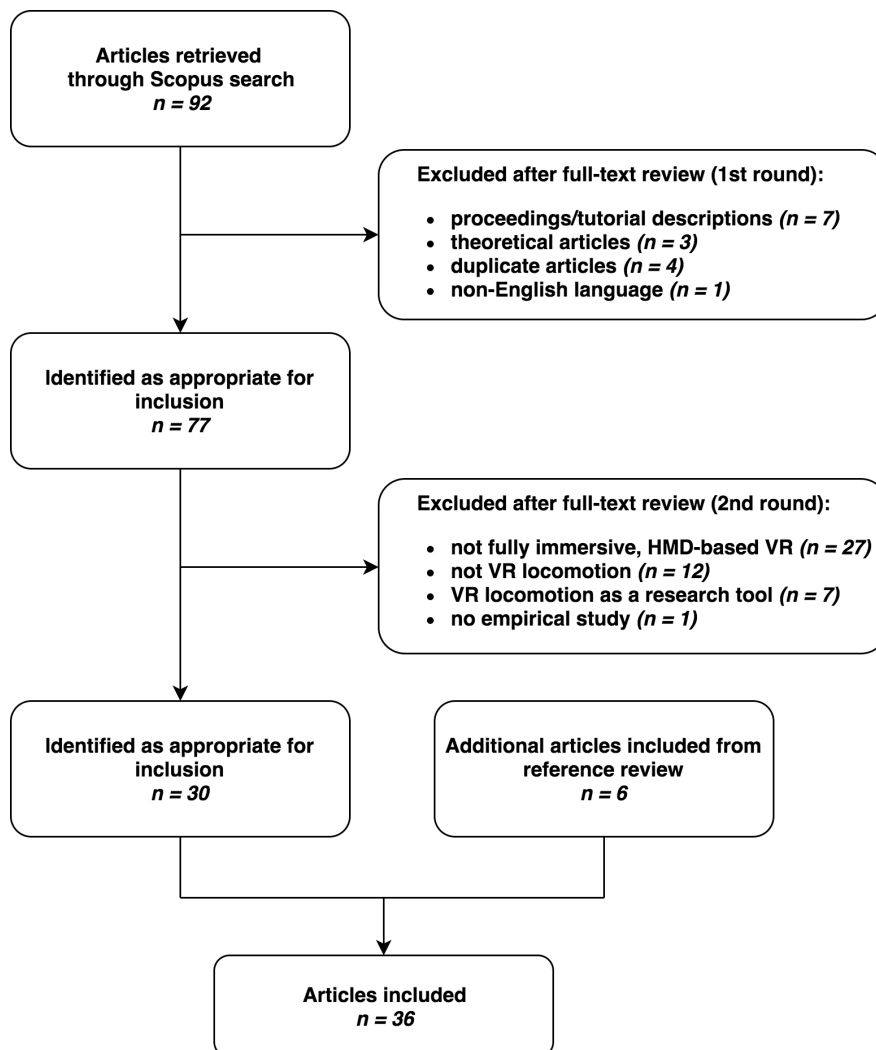


Abbildung 1. Flussdiagramm der eingeschlossenen / ausgeschlossenen Artikel. HMD, Head-Mounted Display.

Das Initiale Suchen ausgelöst 92 Artikel (welche kann Sein abgerufen beim www.boletsis.net/mti2017/scopusresults.pdf), und das erste Screening der Studien basierte auf ihrem vollständigen Text, wobei merklich irrelevante Studien ausgeschlossen waren. Insgesamt wurden 77 Artikel als für die Aufnahme geeignet identifiziert und in die zweite Screening-Runde verschoben.

Für die zweite Screening-Runde wurde der vollständige Text der Artikel als für die Aufnahme geeignet identifiziert ($n = 77$) wurde erneut abgerufen und überprüft. Der Autor untersuchte zusammen mit einem unabhängigen Experten des Fachgebiets eine Stichprobe von 20 zufällig ausgewählten Artikeln aus dem Pool extrahierter Artikel. A 95%

Zwischen den beiden Gutachtern wurde eine Vereinbarung zwischen den Bewertern über die Einschluss- / Ausschlussentscheidung getroffen. Meinungsverschiedenheiten wurden diskutiert und eine Entscheidung getroffen. Dieses hohe Maß an Übereinstimmung bot beträchtliches Vertrauen in die Einschluss- / Ausschlussentscheidungen.

Insgesamt wurden 30 Artikel nach der zweiten Screening-Runde als für die Aufnahme geeignet identifiziert. Dann fand eine Rückwärtsreferenzsuche der Referenzen der extrahierten Artikel statt, was zu sechs Artikeln führte, die die Einschlusskriterien erfüllten.

Schließlich wurden 36 Artikel als relevant für die aktuelle Überprüfung identifiziert. Der Autor und der unabhängige Experte überprüften alle 36 Artikel unabhängig voneinander. Die Kategorien und Themen der Überprüfung wurden von den beiden Überprüfern auf der Grundlage des Datenextraktionsprozesses gemeinsam festgelegt. Die abschließende Validierung der Überprüfung ergab ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen dem Autor und dem unabhängigen Experten (88,8%), und Meinungsverschiedenheiten wurden diskutiert und beigelegt.

2.5. Datensammlung

Der Screening-Prozess ergab 36 Artikel, die die Einschlusskriterien erfüllten. Die aus jedem Artikel extrahierten Daten waren:

- .. die Quelle und die vollständige Referenz,
- .. die Beschreibung und den Titel der VR-Fortbewegungstechnik (en),
- .. die Interaktionsaspekte der VR-Fortbewegungstechnik (en) (z. B. Interaktionstyp, Bewegungstyp, VR-Interaktionsraum, Geräte usw.),
- .. das Forschungsthema der empirischen Studie.

Wenn Daten fehlten, wurden die Autoren der Studie kontaktiert. Die beiden Gutachter, dh der Autor und der unabhängige Sachverständige, führten gemeinsam den Datenextraktionsprozess durch.

2.6. Datenanalyse

Die gesammelten Daten wurden synthetisiert, indem Themen identifiziert wurden, die aus Informationen hervorgehen, die in jedem akzeptierten Papier gemeldet wurden und sich auf die Forschungsfragen beziehen. Die Themen wurden in eine Konzeptmatrix eingeteilt, um Vergleiche zu ermöglichen. Eine Konzeptmatrix macht den Übergang von einer autor- zu einer konzeptorientierten Literaturrecherche, bietet Struktur und hilft bei der Klärung der Konzepte der Rezension für den Leser [32]. Tabelle 1 zeigt die Konzeptmatrix der Literaturübersicht.

Die Hauptthemen, die in der Überprüfung identifiziert und tabellarisch aufgeführt wurden, waren:

- .. die VR-Fortbewegungstechniken (Adressierung von RQ1),
- .. die Interaktionsaspekte der Techniken (Adressierung von RQ2), die Forschungsthemen
- .. der empirischen Studien (Adressierung von RQ3).

Die Identifizierung der VR-Fortbewegungstechniken, ihrer Interaktionsaspekte und der Forschungsthemen der empirischen Studien basierte auf der Beschreibung in den Artikeln, die mit anderen verwandten und / oder überprüften Veröffentlichungen auf dem Gebiet überprüft wurde, um ihre wissenschaftliche Solidität, hauptsächlich in Bezug auf die Nomenklatur, festzustellen und Interaktionsfunktionen. Dann wurden die identifizierten Themen normalisiert und klassifiziert, damit sie leicht vergleichbar sind und auf gültige und verlustfreie Weise in die Konzeptmatrix passen. Vergleichsstudien, die zwei oder mehr Fortbewegungstechniken umfassten, wurden in einer entsprechenden Anzahl von Zeilen tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 1. Die Literaturübersicht.

ID und Artikel	VR Fortbewegung																	Empirische Studie			
	Interaktionstyp		VR-Bewegungstyp		VR-Interaktionsraum		VR Fortbewegungstechnik										Forschungsthema				
	Körperlich	Künstlich	Kontinuierlich	Nicht kontinuierlich	Öffnen	Begrenzt	Real-Walking	Walking-in-Place	Controller / Joystick	Gestenbasiert	Punkt und Teleport	Ungeleitetes Gehen	Arm schwingen	Neuroorientierung	Head-Directed	Menschliche Joystick	Stuhlbasiert	Verwendbarkeit von Technik (en)	UX mit Technik (en)	Auswirkung auf die Wahrnehmung	Technische Aspekte
1. Grechkin et al., 2014 [33]]	x		x			x	x													x	
2. Skopp et al., 2014 [34]]	x		x		x			x										x			
3. Nilsson et al., 2014a [35]]	x		x		x			x										x			x
4. Nilsson et al., 2014b [36]]	x		x		x			x												x	x
5. Nilsson et al., 2014c [37]]	x		x		x			x										x			
6. Bruder und Steinicke, 2014 [22]]	x		x			x	x													x	
7. Caggianese et al., 2014 [38]]	x		x		x					x								x			
8. Harris et al., 2014 [39]]		x	x		x				x									x		x	
		x	x		x											x					
9. Nescher et al., 2014 [40]]	x		x		x			x				x									x
10. Nabiyouni et al., 2015a [41]]	x		x		x			x										x	x		
11. Nabiyouni et al., 2015b [42]]	x		x		x			x										x	x		
	x		x			x	x			x											
12. Bruder et al., 2015 [43]]	x		x		x							x							x	x	
13. Schmidt et al., 2015 [44]]	x		x			x	x											x	x		
14. Kruijff et al., 2015 [45]]		x	x		x				x										x	x	x
15. De la Rubia und Diaz-Estrella, 2015 [46]]	x		x			x	x											x	x		
16. Zank und Kunz, 2015 [47]]	x		x		x							x									x
17. Langbehn et al., 2015 [48]]	x		x		x			x										x	x	x	
	x		x		x			x													
18. McCullough et al., 2015 [49]]	x		x		x								x							x	
		x	x		x				x												
19. Bozgeyikli et al., 2016a [23]]	x		x			x	x											x			
	x		x		x			x													
20. Borrego et al., 2016 [50]]	x		x			x	x												x		x
21. Zank und Kunz, 2016 [51]]	x		x		x							x									x
22. Tregillus und Folmer, 2016 [52]]	x		x		x			x										x			
		x	x		x										x						
23. Sun et al., 2016 [53]]	x		x		x							x						x			
24. Bozgeyikli et al., 2016b [54]]	x		x		x							x						x	x		
	x		x		x			x													
	x		x		x																
		x		x																	
		x	x		x				x												
		x	x		x																
	x		x		x						x										
	x		x		x						x										
25. Kruijff et al., 2016 [55]]		x	x		x											x		x	x		
26. Bozgeyikli et al., 2016c [12]]		x		x	x						x							x	x		
	x		x		x			x													
	x		x		x				x												

Tabelle 1. Fortsetzung

ID und Artikel	VR Fortbewegung																	Empirische Studie			
	Interaktionstyp		VR-Bewegungstyp		VR-Interaktionsraum		VR-Fortbewegungstechnik										Forschungsthema				
	Körperlich	Künstlich	Kontinuierlich	Nicht kontinuierlich	Offen	Begrenzt	Real-Walking	Walking-in-Place	Controller / Joystick	Gestenbasiert	Punkt und Teleport	Ungeleitetes Gehen	Arm schwingen	Neuorientierung	Head-Directed	Menschlicher Joystick	Stuhlbasiert	Verwendbarkeit von Technik (en)	UX mit Technik (en)	Auswirkung auf die Wahrnehmung	Technische Aspekte
27. Nishi et al., 2016 [56]]	x.		x.		x.							x.						x.			x.
28. Ferracani et al., 2016 [18]]	x.		x.		x.			x.										x.			
	x.		x.		x.					x.											
	x.		x.		x.					x.											
29. Argelaguet und Maignant, 2016 [57]]		x.	x.		x.				x.									x.		x.	
30. Wilson et al., 2016 [19]]	x.		x.		x.			x.												x.	
	x.		x.			x.	x.														
31. Fernandes und Feiner, 2016 [20]]		x.	x.		x.				x.									x.	x.		
32. Cardoso, 2016 [58]]	x.		x.		x.					x.								x.			
		x.	x.		x.											x.					
		x.	x.		x.					x.											
33. Paris et al., 2017 [59]]	x.		x.		x.										x.					x.	
	x.		x.		x.										x.						
34. Xu et al., 2017 [60]]		x.	x.		x.				x.											x.	
		x.			x.	x.					x.										
								x.													
35. Fisher et al., 2017 [61]]	x.		x.		x.							x.						x.			
36. Kitson et al., 2017 [62]]		x.	x.		x.				x.										x.	x.	x.
		x.	x.		x.											x.					
		x.	x.		x.																
		x.	x.		x.													x.			
		x.	x.		x.													x.			

3. Ergebnisse

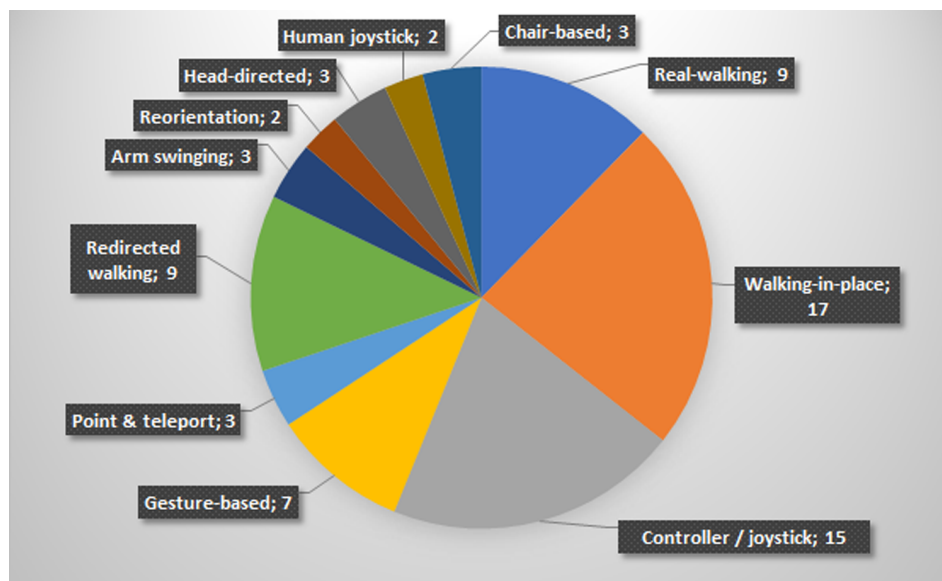
3.1. VR-Fortbewegungstechniken

Die Literaturübersicht dokumentierte 73 Fälle von 11 Fortbewegungstechniken in den 36 überprüften empirischen Studien. Die Hauptmerkmale der 11 dokumentierten VR-Fortbewegungstechniken werden wie folgt dargestellt.

- Real-Walking: Der Benutzer geht frei in einem begrenzten physischen Raum. Die Position und Ausrichtung des Benutzers werden normalerweise durch Verfolgen der Position des HMD bestimmt [22 , 33] oder die Bewegungen der Gliedmaßen des Benutzers [44 , 46 , 50].
- An Ort und Stelle gehen: Der Benutzer führt eine virtuelle Fortbewegung durch, indem er an Ort und Stelle geht, dh schrittweise Bewegungen ausführt, während er stationär bleibt. Die Bewegungen der Gliedmaßen des Benutzers können verfolgt werden oder Schritt- und Laufband-ähnliche Eingabegeräte wie die Schrittmachine [54] und VirtuSphere [34] können verwendet werden, um die stufenartigen Bewegungen zu registrieren und in VR-Bewegungen umzusetzen [48 , 52]. Controller / Joystick: Der Benutzer verwendet einen Controller, um die Bewegung in der virtuellen Umgebung zu steuern. Die Art der Steuerung kann von einem einfachen Joystick reichen [42 , 54] an einen Gamecontroller [20 , 34 , 42], eine Tastatur [57] oder ein Trackball [54].
- Gestenbasiert: Der Benutzer macht Gesten, um die virtuelle Bewegung zu steuern. Die verschiedenen Gesten (wie tippen Sie auf [18], drücken [18] und fliegen [54]) werden von Eingabegeräten wie Leap Motion oder Microsoft Kinect verfolgt und in VR-Bewegung übersetzt [18 , 54 , 58].

- Teleportation: Der Benutzer zeigt auf die Stelle, an der er sich in der virtuellen Welt befinden möchte, und der virtuelle Aussichtspunkt wird sofort an diese Position teleportiert. Die visuellen „Sprünge“ der Teleportation führen dazu, dass die virtuelle Bewegung nicht kontinuierlich ist [54]. Das Zeigen kann mit einem Controller erfolgen [60] oder eine Zeigegeste machen [12 , 54].
- Umgeleitetes Gehen: Der Benutzer kann sich frei in einem begrenzten physischen Raum bewegen und gleichzeitig unbegrenzte virtuelle Umgebungen mithilfe sogenannter Umleitungstechniken erkunden. Diese Techniken versuchen, eine nicht wahrnehmbare Nichtübereinstimmung zwischen den realen und virtuellen Bewegungen des Benutzers einzuführen, um die größere virtuelle Umgebung auf einen begrenzten Verfolgungsraum zu komprimieren [40 , 47]. Armschwingen: Benutzer schwingen ihre Arme, während sie stationär bleiben, und ihre Armbewegungen werden in VRmotion übersetzt [18 , 19 , 49]. Die Armbewegungen können von Body-Tracking-Geräten (z. B. Microsoft Kinect [18]) verfolgt werden. [18]) oder tragbare und gehaltene Geräte (z. B. Armbänder und Controller [19 , 49]). Neuorientierung: Der Benutzer kann sich frei in einem begrenzten physischen Raum bewegen und gleichzeitig unbegrenzte virtuelle Umgebungen erkunden, indem er eine sogenannte Neuorientierung einsetzt. Die Neuorientierung wird erreicht, indem der Rotationsgewinn der Benutzer so geändert wird, dass sie sich physisch umdrehen, wenn sie an die Grenzen des physischen Raums stoßen, wodurch eine weitere Reise in beide Welten ermöglicht wird [59]. Kopfgesteuert: Der Benutzer verwendet Kopfbewegungen des HMD, um die Bewegung zu steuern. Die VR-Bewegungsgeschwindigkeit kann festgelegt oder durch Vorwärts- / Rückwärtsneigung des Kopfes des Benutzers gesteuert werden [52 , 58 , 62].
- Menschlicher Joystick: Der Benutzer steht und lehnt sich auf eine Sensorplatte (z. B. eine Wii-Balance-Platine), um Vorwärts-, Rückwärts- und Seitwärtsbewegungen (Straffung) zu erzeugen sowie sich während der Vorwärtsbewegung zu drehen [39 , 55].
- Stuhlbasierend: Der Benutzer sitzt auf einem Stuhl, der als Eingabegerät fungiert, und die Drehung und Neigung des Stuhls werden in VR-Vorwärts- / Rückwärts- und Drehbewegungen übersetzt [62]. Die Technik kann verschiedene Implementierungen haben (wie NaviChair, MuvMan, Swivel Chair [62]).

Am häufigsten wurde die Fortbewegungstechnik verwendet (17 Instanzen), gefolgt von der Controller- / Joystick-fähigen Fortbewegungstechnik (15 Instanzen). Die 11 Fortbewegungstechniken und ihre Anzahl von Instanzen, wie aus den 36 besprochenen Artikeln dokumentiert, sind in Abbildung dargestellt 2 . Diese Ergebnisse beantworten RQ1.



Figur 2. Die 11 Fortbewegungstechniken und ihre Anzahl von Instanzen, wie aus den 36 besprochenen Artikeln dokumentiert.

3.2. Interaktionsaspekte

Um RQ2 anzusprechen, wurden die Interaktionsaspekte der überprüften Fortbewegungstechniken extrahiert. Die resultierenden interaktionsbezogenen Themen waren: der Interaktionstyp, der VR-Bewegungstyp und der VR-Interaktionsraum.

Der Interaktionstyp der VR-Fortbewegungstechnik beschreibt die Art und Weise, wie der Benutzer die VR-Navigation auslöst. Daher kann die Fortbewegung physisch sein, dh physische Bewegungshinweise für die Navigation ausnutzen und natürliche Bewegung durch irgendeine Art von Körpervorgang in VR-Bewegung umwandeln, oder sie kann künstlich sein, dh Eingabegeräte verwenden, um VR-Bewegung und Navigation zu steuern [63]. Die Literaturübersicht dokumentierte, dass 47 der 73 untersuchten Fortbewegungstechniken physische Interaktion implementierten, während 26 künstlich waren.

Der VR-Bewegungstyp bewertet die Art der Bewegungen des Benutzers in der VR-Umgebung. Es kann als kontinuierlich, unterstützt eine reibungslose, ununterbrochene Bewegung in der virtuellen Umgebung oder als nicht kontinuierlich charakterisiert werden und bietet sofortige, nicht kontinuierliche Bewegungsübergänge [57]. Die Mehrzahl der überprüften Fortbewegungstechniken ($n = 68$) implementierte eine kontinuierliche VR-Bewegung, wobei nur fünf eine nicht kontinuierliche Bewegung implementiert haben.

Schließlich können VR-Fortbewegungstechniken in einem offenen VR-Interaktionsraum arbeiten und die Navigation in einer virtuellen Umgebung unterstützen, die die Grenzen der realen Umgebung überschreitet, oder sie können aufgrund der Einschränkungen, die die physische Umgebung der Größe auferlegt, begrenzte Interaktionsraumfähigkeiten bereitstellen der virtuelle [12]. Die Mehrheit der überprüften Fortbewegungstechniken unterstützte offene VR-Interaktionsräume ($n = 64$), und neun von ihnen unterstützten begrenzte.

3.3. Forschungsthemen

Um RQ3 anzusprechen, wurden die Forschungsthemen der überprüften Studien extrahiert, was zu den Hauptthemen Benutzerfreundlichkeit, Benutzererfahrung (User Experience, UX), Benutzerwahrnehmung und technischen Aspekten führte.

Benutzerfreundlichkeit bezieht sich auf die Benutzerfreundlichkeit der VR-Fortbewegungstechnik durch die Benutzer, während UX „eine Wende zum Erleben“ darstellt [64], wobei der Schwerpunkt auf den Erfahrungen der Benutzer mit der VR-Fortbewegungstechnik liegt [65]. Die Auswirkung der VR-Fortbewegungstechnik auf die Benutzerwahrnehmung ist ebenfalls ein dokumentiertes Thema, das sich auf physiologische Reaktionen während der Verwendung der VR-Fortbewegungstechnik bezieht und Themen wie das Speichern von Objekten sowie die Wahrnehmung von Bewegung, Entfernung, Zeit und Geschwindigkeit in VR-Umgebungen behandelt [66]. Technische Aspekte beziehen sich auf rein technische Leistungen und objektive Messungen aus Benutzersitzungen mit der VR-Fortbewegungstechnik.

Von den 73 überprüften Studien untersuchten 23 die Verwendbarkeit der Techniken, 13 untersuchten die UX mit den Techniken, 14 konzentrierten sich auf die Auswirkung der VR-Fortbewegungstechniken auf die Benutzerwahrnehmung und acht untersuchten die technischen Leistungen der Techniken. Natürlich könnte in jeder Studie mehr als ein Thema behandelt werden, was zu interessanten Beobachtungen führt, die im Abschnitt weiter analysiert werden 4 .

4. Diskussion

In der Vergangenheit war das Gebiet der VR-Fortbewegung sehr unterschiedlich, wobei verschiedene Hardware, Software und Umgebungen zu VR-Fortbewegungstechniken kombiniert wurden [15]. Diese Vielfalt machte die konzeptionellen Beiträge des Forschungsfeldes schwierig, möglicherweise weil es für Forscher äußerst schwierig war, eine gemeinsame Grundlage für den Vergleich oder die Überprüfung von VR-Fortbewegungstechniken unter einem „Dach“-Konzept zu finden. Dies könnte der Grund sein, warum es noch keine allgemeine Überprüfung der VR-Fortbewegungsliteratur gegeben hat. Im Allgemeinen hat die aktuelle systematische Literaturrecherche gezeigt, dass die VR-Wiederbelebung und die kürzlich eingeführten Geräte ein gewisses Maß an technischer Homogenität für VR-Fortbewegungstechniken bieten, wodurch eine gemeinsame Grundlage geschaffen und der Vergleich und die Analyse dieser Techniken ermöglicht werden. Natürlich mussten im Verlauf dieser Überprüfung einige herausfordernde Fragen behandelt werden (siehe Abschnitt 4.4) festzustellen, dass die überprüften Studien für aussagekräftige Ergebnisse verwendet werden können, wobei der interaktionsorientierte Charakter der Überprüfung zu respektieren und hervorzuheben ist. Dennoch ist das allgemeine Gefühl des Autors nach dieser Überprüfung, dass die neue Ära der VR-Fortbewegung

Das Feld ist ausgereift und homogen genug, damit die Forscher es abbilden und weiteres bedeutendes konzeptionelles Wissen für die Forschungsgemeinschaft und die Öffentlichkeit entwickeln können.

4.1. VR-Fortbewegungstechniken und Interaktionsaspekte

Aus den überprüften und untersuchten VR-Fortbewegungstechniken können mehrere Beobachtungen gemacht werden. Erstens sind Walking-in-Place- und Controller- / Joystick-basierte Fortbewegung die am besten untersuchten Techniken und sie sind die Hauptvertreter zweier verschiedener Interaktionstypen: physisch oder künstlich. In Anbetracht der Summe der überprüften Fortbewegungstechniken wird die physische Interaktion bei der VR-Fortbewegung viel stärker genutzt und untersucht, da sie intuitive Benutzerreaktionen auslösen kann und möglicherweise keine zusätzliche kognitive Belastung durch Bewegungsanweisungen verursacht. Andererseits ermöglicht die künstliche Interaktion eine weniger körperlich intensive Erfahrung, wobei der Benutzer stationär ist und einfach eine Steuerung verwendet. es kann jedoch kognitiv intensiv sein und leichter zur VR-Krankheit führen [20]. Dies kann durchaus der Grund dafür sein, dass künstliche Interaktion in den überprüften Studien weniger genutzt wird. Die Literaturübersicht zeigte auch eine überwältigende Präferenz für kontinuierliche VR-Bewegung in offenen VR-Umgebungen, was durch die Tatsache erklärt werden könnte, dass diese Bedingungen eine konsistente VR-Präsenz ermöglichen, die nicht durch visuelle Störungen (z. B. visuelle „Sprünge“) oder Einschränkungen der Raumgröße eingeschränkt wird.

Eine weitere wichtige Beobachtung ist, dass die VR-Teleportationstechnik nicht so häufig untersucht oder genutzt wird. Wenn man bedenkt, dass Teleportation eine der dominierenden VR-Fortbewegungstechniken ist, die in vielen VR-Anwendungen und Spielen verwendet werden, und dass sie mit aktuellen kommerziellen Systemen wie dem HTC Vive und dem Oculus Rift sofort einsatzbereit ist, würde man mehr erwarten empirische Studien unter Verwendung und Untersuchung der Technik. Dies ist jedoch nicht der Fall, und dies stellt eine entdeckte Lücke dar, die durch zukünftige Studien zur VR-Fortbewegung behoben werden kann.

Schließlich, obwohl die daraus resultierenden interaktionsbezogenen Themen der Überprüfung (Abschnitt 3.2) Besorgnis, Sorge In der neuen Ära der VR-Fortbewegung können Ähnlichkeiten zwischen ihnen und der zuvor etablierten konzeptuellen Arbeit des Feldes gezogen werden. Taxonomie von Bowman et al. [15] führte die Komponenten des virtuellen Reisens ein (Richtung, Geschwindigkeit und Eingabebedingungen). Der VRmotion-Typ hat gemeinsame Eigenschaften mit der Komponente der Eingabebedingungen, dh der Art und Weise, wie die Technik die VR-Bewegung spezifiziert. In einer erweiterten Version des Frameworks von Bowman et al. [16] wurde die Größe der Umgebung als signifikant für die Leistung der VR-Fortbewegungstechnik angesehen, eine Eigenschaft, die im Thema des VR-Interaktionsraums dargestellt wird. Arns 'Arbeit [17] zur Erweiterung der Taxonomie von Bowman et al. und zur Einführung des Konzepts der physischen und virtuellen Interaktion in Bezug auf die Rotation der virtuellen Umgebung und die Übersetzung des Standpunkts des Benutzers werden gemeinsame Elemente mit dem Thema Interaktionstyp vorgestellt. Natürlich haben die resultierenden interaktionsbezogenen Themen nur gemeinsame Wurzeln mit den oben genannten konzeptuellen Arbeiten, nicht nur aufgrund ihrer unterschiedlichen methodischen Ansätze (wobei die aktuelle Arbeit eine Literaturübersicht ist und diese Taxonomien und Rahmenbedingungen sind), sondern auch, weil diese Arbeiten übernommen wurden Ort vor Jahrzehnten; Seitdem hat sich die VR-Fortbewegung erheblich verändert und weiterentwickelt. Trotzdem ist der Interaktionskern der VR-Fortbewegung erhalten geblieben, und in dieser Studie wurden drei wichtige Elemente identifiziert, die den Weg für weitere konzeptionelle Beiträge ebnen (Abschnitt 4.3).

4.2. Forschungsthemen

Die Überprüfung der Forschungsthemen ergab einen starken Fokus auf Benutzerfreundlichkeit bei der VR-Fortbewegung. Die Untersuchung der Benutzererfahrung und der Benutzerwahrnehmung beim Navigieren in VR-Umgebungen scheint jedoch übersehen zu werden. Im Allgemeinen zeigen die Ergebnisse einen systemzentrierten statt eines benutzerzentrierten Forschungsansatzes, wenn es um die Untersuchung von VR-Fortbewegungsproblemen geht. Die Forschungsthemen Benutzerfreundlichkeit und technische Aspekte bieten einen systemzentrierten Forschungsansatz, bei dem die VR-Fortbewegungstechnologie selbst untersucht wird, während Benutzererfahrung und Benutzerwahrnehmung einen benutzerzentrierten Forschungsansatz bieten, bei dem untersucht wird, wie Benutzer die VR-Fortbewegungssysteme erleben . Im Rahmen dieser Kategorisierung verfolgten 14 Studien einen systemzentrierten Forschungsansatz. sieben Studien waren benutzerzentriert; und 15 folgten einem gemischten Ansatz, bei dem beide kombiniert wurden. Die meisten Studien waren gemischt, Sie konzentrieren ihre Forschung sowohl auf die Technologie als auch auf den Benutzer des VR-Fortbewegungssystems. Wenn es jedoch um reine Systemzentrierung geht

Im Vergleich zu benutzerzentrierten Ansätzen ist es offensichtlich, dass der Hauptforschungsschwerpunkt auf dem VR-Fortbewegungssystem und der VR-Fortbewegungstechnologie liegt, die den VR-Fortbewegungsbenutzer überschatten. Aus dieser Übersicht könnte man schließen, dass die Technologie rund um VR-Fortbewegungstechniken angemessen untersucht wurde und in diesen Jahren gereift ist. Als zukünftiger Vorschlag könnte ein Outside-In-Ansatz gewählt werden, bei dem der Fokus von der Technologie auf den Benutzer verlagert und seine Erfahrungen mit der VR-Fortbewegung noch weiter empirisch untersucht werden.

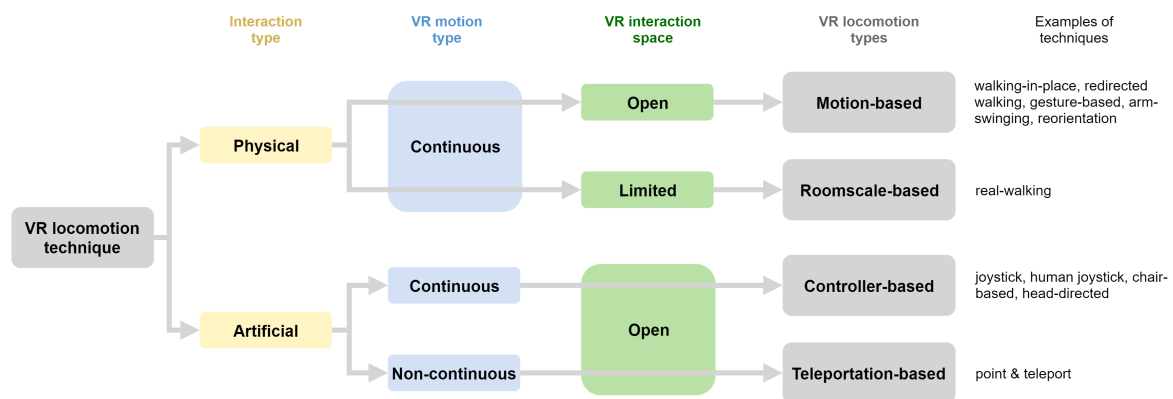
Eine weitere forschungsbezogene Beobachtung betrifft die Anzahl der vergleichenden empirischen Studien, die überprüft wurden. Die Hälfte der überprüften empirischen Studien (18 von 36) war vergleichend. Nach der Zahl zu urteilen und sie dahingehend zu untersuchen, was sie für das Feld bedeutet, könnte es ein Argument geben, das „halb leer oder halb voll“ ist. Wenn diese Beobachtung jedoch mit dem Bedarf an benutzerorientierterer Forschung verbunden ist, würde eine künftige Zunahme der Anzahl vergleichender empirischer Studien möglicherweise das Feld stärken und es den Forschern ermöglichen, verschiedene Formen der VR-Fortbewegung und ihre Auswirkungen auf Benutzer zu untersuchen gleichzeitig.

4.3. VR-Fortbewegungstypologie

Die Ergebnisse der Literaturrecherche ermöglichten die Klassifizierung der VR-Fortbewegungstechniken, die durch empirische Studien gestützt werden, die seit der VR-Wiederbelebung durchgeführt wurden. Die Dokumentation der Interaktionsaspekte der Techniken führte zur Entwicklung der Klassifizierungskategorien, dh Interaktionstyp, VR-Bewegungstyp und VR-Interaktionsraum. Folglich wurden die dokumentierten VR-Fortbewegungstechniken den Klassifizierungskategorien zugeordnet, wodurch vier verschiedene VR-Fortbewegungstypen erstellt wurden, die in Abbildung dargestellt sind 3 ::

- .. Bewegungs basiert: Die VR-Fortbewegungstechniken dieses Typs verwenden irgendeine Art von physischer Bewegung, um Interaktion zu ermöglichen, während sie kontinuierliche Bewegung in offenen VR-Räumen unterstützen. Dieser VR-Fortbewegungstyp umfasst Techniken wie In-Place-Gehen, umgeleitetes Gehen, Armschwingen, gestenbasierte Fortbewegung und Neuorientierung.
- .. Raumskalenbasiert: Dieser VR-Fortbewegungstyp nutzt physische Bewegung, um Interaktion zu ermöglichen, und unterstützt kontinuierliche Bewegungen (wie beim bewegungs-basierten Typ). Die Interaktion findet jedoch in VR-Umgebungen statt, deren Größe durch die Größe der realen Umgebung begrenzt ist. Die Nomenklatur für diesen Fortbewegungstyp stammt aus der VR-Technologie im Raummaßstab, die diese Interaktionsmerkmale darstellt [67]. Die Real-Walking-Fortbewegungstechnik fällt unter diesen Typ. Controller-basiert: Bei diesem VR-Fortbewegungstyp werden Controller verwendet, um den Benutzer künstlich in der VR-Umgebung zu bewegen. Der VR-Interaktionsraum ist offen und die Bewegung ist kontinuierlich. Dieser Typ umfasst Techniken wie Joystick-basierte, menschliche Joysticks, stuhl-basierte und kopfgesteuerte Fortbewegung.
- .. Teleportationsbasiert: Die VR-Fortbewegungstechniken dieses Typs nutzen künstliche Interaktionen in offenen VR-Räumen mit nicht kontinuierlicher Bewegung, da der virtuelle Blickwinkel des Benutzers durch visuelle „Sprünge“ sofort an eine vordefinierte Position teleportiert wird. Point and Teleport ist eine VR-Fortbewegungstechnik, die unter diesen Typ fällt.

Die vorgeschlagene Typologie schafft es, vier verschiedene Arten der VR-Fortbewegung darzustellen. Die bewegungs-basierte Fortbewegung unterscheidet sich hinsichtlich des VR-Interaktionsraums von der raumskalierten, während sich die steuerungs-basierte Fortbewegung hinsichtlich des VR-Bewegungstyps von der teleportations-basierten unterscheidet. Bewegungs-basierte und raumskalenbasierte Fortbewegung unterscheiden sich von steuerungs-basierter und teleportations-basierter Fortbewegung hinsichtlich ihres Interaktionstyps. Darüber hinaus zeigte die Analyse der überprüften VR-Fortbewegungstechniken, dass Techniken mit physischer Interaktion ausschließlich kontinuierliche VR-Bewegung zeigten, während künstliche Techniken ausschließlich die Navigation in offenen, unbegrenzten VR-Umgebungen erleichterten. Natürlich könnte dieses Merkmal der vorgeschlagenen Typologie in zukünftigen Versionen der Überprüfung überarbeitet werden.



Figur 3. Die VR-Fortbewegungstypologie.

Die vorgeschlagene Typologie kann ein nützliches Werkzeug für Forscher und Benutzer sein, die die Merkmale einer VR-Fortbewegungstechnik anhand einer standardisierten Beschreibung präsentieren und beschreiben möchten, die eine Technik klar von einer anderen unterscheidet. Die Tatsache, dass die Typologie aus den überprüften und untersuchten Fortbewegungstechniken der letzten drei Jahre stammt, verleiht den vorgeschlagenen VR-Fortbewegungstypen einen aktuellen Charakter. Diese Typen können als gemeinsame Grundlage für Forscher von HCI und VR und die Öffentlichkeit dienen, die diese Systeme verwenden, um die Interaktionsaspekte und -funktionalitäten zu kommunizieren, die zuvor schwer zu beschreiben und zu klassifizieren waren, und so die sozialen Auswirkungen des Feldes zu verbessern. Gleichzeitig wurde die vorgeschlagene VR-Fortbewegungstypologie zusammen mit der systematischen Literaturrecherche kann die Problemlösungskapazität der HCI-Forschung im VR-Bereich positiv beeinflussen. Beide Arbeiten sind Teil der konzeptionellen Arbeit, die im HCI-in-VR-Bereich seit der VR-Wiederbelebung dringend benötigt wird. Sie befassen sich mit der Organisation des vorhandenen Wissens und der Schaffung von Konzepten, die die Kommunikation zwischen Forschungshypothesen und konstruktiver Arbeit erleichtern können, d. H. , Designs [3].

4.4. Studienbeschränkungen

Die Verschiedenartigkeit der verschiedenen VR-Fortbewegungstechniken und die damit verbundenen empirischen Studien stellten Herausforderungen dar und führten zu einer Reihe von Kompromissen und Annahmen, die auch als Einschränkungen dieser Literaturübersicht angesehen werden konnten.

Erstens kann eine VR-Fortbewegungstechnik zwei oder mehr Fortbewegungstechniken integrieren, um die Navigation zu erleichtern. Zum Beispiel zeigen und teleportieren [12] verwendet eine gestenbasierte Interaktion, um zu zeigen, wohin der Benutzer gehen möchte, und die Hauptbewegung erfolgt durch Teleportation. Natürlich beinhalten diese Arten von Integrationen eine dominante Interaktionsmetapher. In dieser Übersicht wurden die VR-Fortbewegungstechniken, die Elemente aus anderen Techniken integrieren, anhand ihrer dominanten Interaktionsaspekte analysiert. In dem oben genannten Beispiel wurden Punkt und Teleport trotz seiner gestenbasierten Interaktionsaspekte als teleportationsbasierte Technik kategorisiert.

Ein zweiter Kompromiss betrifft die Analyse von Forschungsthemen. Die Kategorisierung einer Studie als Benutzerfreundlichkeit, Benutzererfahrung, Benutzerwahrnehmung oder technische Studie erfolgte nach einer Booleschen Logik, ohne zu untersuchen, inwieweit diese Themen behandelt wurden. Zum Beispiel, selbst wenn in einer Studie nur ein Aspekt der Benutzererfahrung untersucht wurde (z. B. das Gefühl der VR-Präsenz eines Benutzers [46]) zusammen mit einer Reihe von Usability-Problemen wurde die Studie sowohl als User Experience- als auch als Usability-Forschungsthema registriert. Natürlich wäre es schwierig, wenn nicht unmöglich oder ungünstig, zu quantifizieren, inwieweit Forschungsthemen behandelt werden. Der verfolgte boolesche Ansatz könnte jedoch als Einschränkung dieser systematischen Literaturrecherche angesehen werden.

Eine weitere Einschränkung betrifft den Normalisierungsprozess, der bei der Gestaltung der Forschungsthemen stattfinden musste. Die Themen befinden sich auf einer hohen Beschreibungsebene und decken die Forschung aus einer breiten Perspektive ab, dh ob es sich um Benutzerfreundlichkeit, Benutzererfahrung usw. handelt. Der Hauptgrund dafür ist, dass sich die Mehrheit der Studien während der Analyse auf die allgemeine Benutzerfreundlichkeit konzentrierte oder verschiedene Formen

der Benutzererfahrung. Selbst wenn sich einige Studien mit bestimmten Forschungsthemen befassen und auf einer niedrigeren, fokussierteren Ebene handeln (z. B. Verringerung der unbeabsichtigten Positionsdrift während der Fortbewegung vor Ort [35 , 37]), die Tatsache, dass viel mehr Studien Themen auf einer höheren Ebene bewerteten (z. B. [42]) leitete die Überprüfungsanalyse von Forschungsthemen, die auf einem normalisierten, hohen Niveau durchgeführt werden sollten, so dass alle Studien gleichermaßen abgedeckt werden.

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der überprüften empirischen Studien im Rahmen der Forschungsthemen nicht in die Überprüfung einbezogen. Die Logik hinter dieser Entscheidung war, dass die Studienergebnisse die Verlagerung von den VR-Fortbewegungstechniken und ihren Interaktionsaspekten zu den Studien selbst und ihren Merkmalen (Stichprobengröße, Methodik, Studiendesign usw.) vollständig verlagern würden, während dies viel erfordern würde komplexerer Normalisierungsprozess, so dass alle Ergebnisse vergleichbar sind. Zweifellos kann eine künftige Ausweitung der Überprüfung in diese Richtung gehen und die Qualität der Forschung auf diesem Gebiet eingehend untersuchen.

Schließlich basiert die Datenbankabfrage der Überprüfung auf einem vordefinierten Satz von Suchbegriffen. Die definierte Suchstrategie entspricht den etablierten Verfahren zur systematischen Literaturrecherche [26], Aufschlüsselung und Beantwortung der Forschungsfragen bei gleichzeitiger Gewährleistung der Reproduzierbarkeit der Suche. Da VR jedoch ein dynamisches technisches und Forschungsfeld ist, können vordefinierte Sätze von Suchbegriffen möglicherweise nicht die Anzahl der Werke abdecken, die eine neue oder nicht etablierte Terminologie verwenden.

5. Schlussfolgerungen

Die vorgestellte systematische Literaturrecherche beleuchtet die neue Ära der VR-Fortbewegung und analysiert die neuesten VR-Fortbewegungstechniken und ihre empirischen Studien. Die Ergebnisse zeigten, dass nach dem Meilenstein der VR-Wiederbelebung der Schwerpunkt der VR-Fortbewegungsforschung auf der physischen Interaktion für die Navigation in offenen VR-Umgebungen mit kontinuierlicher Bewegung liegt. Dieses Format kann in zukünftigen Studien oder als Ausgangspunkt für die Adressierung und Erforschung der VR verwendet werden. Die weniger erforschten Bereiche des Feldes, z. B. die Erforschung künstlicher, teleportationsbasierter Techniken. Auf der Forschungsseite ergab die Literaturrecherche außerdem, dass benutzerzentriertere empirische Forschungsansätze erforderlich sind, möglicherweise unter vergleichenden Bedingungen.

Insgesamt liefert die vorgestellte Literaturübersicht Forschern und Entwicklern viele interaktionsbezogene Informationen zu den untersuchten VR-Fortbewegungstechniken, sodass sie ihre zukünftigen Entwürfe auf soliden theoretischen Kenntnissen aufbauen können. Diese Arbeit organisiert nicht nur das Feld und dokumentiert die Forschung zu diesem wichtigen VR-bezogenen Thema, sondern synthetisiert auch neues konzeptionelles Wissen, dh die vorgeschlagene Typologie von VR-Fortbewegungstechniken, die für Forscher und Benutzer von Nutzen sein können und als Grundpfeiler dienen, welche Interessenten mit ihren Meinungen und Beiträgen aufbauen können.

Zukünftige Arbeiten werden sich mit der Qualität der Forschung auf dem Gebiet der VR-Fortbewegung befassen und sich weiter auf die Merkmale der Studien konzentrieren (wie in Abschnitt angegeben 4.4). Darüber hinaus wird die vorgeschlagene Typologie auf der Grundlage künftiger Fortschritte aktualisiert, um die VR-Fortbewegungsforschung für Forscher und Benutzer zugänglich und nützlich zu machen.

Danksagung: Ich möchte Dimitra Chasanidou (Abteilung für Software- und Serviceinnovation, SINTEF Digital) für die Unterstützung bei der Literaturrecherche, als unabhängige Expertin und für wertvolles Feedback zu den untersuchten Themen danken. Diese Forschung wird vom norwegischen Forschungsrat über das Zentrum für Dienstleistungsinnovation finanziert.

Interessenkonflikte: Der Autor erklärt keinen Interessenkonflikt.

Verweise

1. Olszewski, K.; Lim, JJ; Saito, S.; Li, H. Hochwertige Gesichts- und Sprachanimation für VR-HMDs. *ACM Trans. Graph.* **2016**, *35*, 221.
2. Sun, HM; Li, SP; Zhu, YQ; Hsiao, B. Der Effekt der vom Benutzer wahrgenommenen Präsenz und Werbung konzentriert sich auf die Benutzerfreundlichkeit für die Interaktion in virtuellen Umgebungen. *Appl. Ergon.* **2015**, *50*, 126–132.
3. Boletsis, C.; Cedergren, JE; Kongsvik, S. HCI-Forschung in der virtuellen Realität: Eine Diskussion über das Lösen von Problemen. In den Proceedings der 11. Internationalen Konferenz über Schnittstellen und Mensch-Computer-Interaktion, Lissabon, Portugal, 21.-23. Juli 2017; S. 263–267.
4. Hilfert, T.; König, M. Kostengünstige Virtual-Reality-Umgebung für Engineering und Konstruktion. *Vis. Eng.* **2016**, *4*, 2.
5. Giuseppe, R.; Wiederhold, BK Der neue Beginn der virtuellen Realität im Gesundheitswesen: Medizinische Simulation und Erfahrungsschnittstelle. *Zucht. Health Technol. Informieren.* **2015**, *219*, 3–6.
6. Kim, A.; Darakjian, N.; Finley, JM Gehen in vollständig immersiven virtuellen Umgebungen: Eine Bewertung möglicher nachteiliger Auswirkungen bei älteren Erwachsenen und Personen mit Parkinson-Krankheit. *J. Neuroeng. Rehabilitation.* **2017**, *14*, 16.
7. Moreira, P.; de Oliveira, EC; Tori, R. Einfluss der immersiven Technologie auf das Lernen von Computergrafiken. In Proceedings des brasilianischen Symposiums über Computer in der Bildung, Uberlandia, MG, Brasilien, 24.-27. Oktober 2016; S. 410–419.
8. Reinert, B.; Kopf, J.; Ritschel, T.; Cuervo, E.; Chu, D.; Seidel, HP Proxy-gesteuertes bildbasiertes Rendern für mobile Geräte. *Comput. Graph. Forum* **2016**, *35*, 353–362. Wang, H.; Mahmud, MS; Fang, H.; Wang, C. *Drahtlose Gesundheit*; Springer: Berlin, Deutschland, 2016.
- 9.
10. Smith, PA Verwenden kommerzieller Virtual-Reality-Spiele zum Prototypen seriöser Spiele und Anwendungen. In den Proceedings der 9. Internationalen Konferenz über virtuelle, erweiterte und gemischte Realität, Vancouver, BC, Kanada, 9. bis 14. Juli 2017; Springer: Berlin, Deutschland, 2017; S. 359–368.
11. Zhang, X.; Gračanin, D.; Matković, K. Verwenden verknüpfter Daten für die interaktive Integration von 3D-Webinhalten. In den Proceedings der 19. Internationalen ACM-Konferenz zu 3DWeb Technologies, Vancouver, BC, Kanada, 8.-10. August 2014; ACM: New York, NY, USA, 2014; p. 147.
12. Bozgeyikli, E.; Raij, A.; Katkooi, S.; Dubey, R. Point & Teleport-Fortbewegungstechnik für die virtuelle Realität. In den Proceedings des jährlichen Symposiums über Computer-Mensch-Interaktion im Spiel, Austin, TX, USA, 16.-19. Oktober 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 205–216.
13. Hale, KS; Stanney, KM *Handbuch für virtuelle Umgebungen: Design, Implementierung und Anwendungen*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014.
14. Bowman, D.; Kruijff, E.; LaViola, JJ, Jr.; Poupyrev, IP *3D-Benutzeroberflächen: Theorie und Praxis, CourseSmart eTextbook*; Addison-Wesley: Boston, MA, USA, 2004.
15. Bowman, DA; Koller, D.; Hodges, LF Reisen in immersiven virtuellen Umgebungen: Eine Bewertung der Blickwinkel-Bewegungssteuerungstechniken. In Proceedings des IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, Albuquerque, NM, USA, 1.-5. März 1997; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 1997; S. 45–52. Bowman, DA; Koller, D.; Hodges, LF Amethodology zur Bewertung von Reisetechneiken für immersive virtuelle Umgebungen. *Virtuelle Realität.* **1998**, *3*, 120–131. Arns, LL *Eine neue Taxonomie für die Fortbewegung in virtuellen Umgebungen*; Iowa State University: Ames, IA, USA, 2002.
- 17.
18. Ferracani, A.; Pezzatini, D.; Bianchini, J.; Biscini, G.; Del Bimbo, A. Fortbewegung durch natürliche Gesten für immersive virtuelle Umgebungen. In den Proceedings des 1. Internationalen Workshops zu alternativen Multimedia-Realitäten, Amsterdam, Niederlande, 16. Oktober 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 21–24. Wilson, PT; Kalescky, W.; MacLaughlin, A.; Williams, B. VR-Fortbewegung: Gehen> Gehen an Ort und Stelle
19. > Arm schwingen. In den Proceedings der ACM SIGGRAPH-Konferenz zum Virtual-Reality-Kontinuum und seinen Anwendungen in der Industrie - Band 1, Zhuhai, China, 3. bis 4. Dezember 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 243–249.
20. Fernandes, AS; Feiner, SK Bekämpfung der VR-Krankheit durch subtile dynamische Sichtfeldmodifikation. In den Proceedings des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen, Greenville, SC, USA, 19.-20. März 2016; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016; S. 201–210.

21. Ward, M.; Azuma, R.; Bennett, R.; Gottschalk, S.; Fuchs, H. Ein demonstrierter optischer Tracker mit skalierbarem Arbeitsbereich für am Kopf montierte Anzeigesysteme. In Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, San Diego, Kalifornien, USA, 10.-11. Dezember 1990; ACM: New York, NY, USA, 1990; S. 43–52.
22. Bruder, G.; Steinicke, F. Dreifache Bewegungswahrnehmung bei immersiven Walkthroughs. In den Proceedings des ACM-Symposiums für Virtual Reality-Software und -Technologie, Edinburgh, Großbritannien, 11.-13. November 2014; ACM: New York, NY, USA, 2014; S. 177–185.
23. Bozgeyikli, E.; Bozgeyikli, L.; Raij, A.; Katkooi, S.; Alqasemi, R.; Dubey, R. Interaktionstechniken für die virtuelle Realität für Personen mit Autismus SpectrumDisorder: Überlegungen zum Design und vorläufige Ergebnisse. In den Proceedings der Internationalen Konferenz über Mensch-Computer-Interaktion, Toronto, ON, Kanada, 17.-22. Juli 2016; Springer: Berlin, Deutschland, 2016; S. 127–137.
24. Reddit - Liste der VR-Fortbewegungsmethoden. Online verfügbar: https://www.reddit.com/r/Vive/wiki/locomotion_methods (Zugriff am 29. Juli 2017).
25. Reddit - Was ist Ihre Lieblingsform der Fortbewegung in VR? Online verfügbar: https://www.reddit.com/r/Vive/comment/4rj357/what_is_your_favourite_form_of_locomotion_in_vr/ (Zugriff am 29. Juli 2017). Kitchenham, B. *Verfahren zur Durchführung systematischer Überprüfungen*; Technischer Bericht TR / SE-0401; Keele University: Newcastle upon Tyne, Großbritannien; National ICT Australia Ltd.: Sydney, Australien, 2004.
26. Brereton, P.; Kitchenham, BA; Budgen, D.; Turner, M.; Khalil, M. Lehren aus der Anwendung des systematischen Literaturrechercheprozesses im Bereich Software Engineering. *J. Syst. Software* **2007**, *80*, 571–583. Beecham, S.; Baddoo, N.; Hall, T.; Robinson, H.; Sharp, H. Motivation im Software Engineering: Eine systematische Literaturrecherche. *Inf. Software Technol.* **2008**, *50*, 860–878.
27. Falagas, ME; Pitsouni, EI; Malietzis, GA; Pappas, G. Vergleich von PubMed, Scopus, Web of Science und Google Scholar: Stärken und Schwächen. *FASEB J.* **2008**, *22*, 338–342.
28. Jacso, P. Wie wir vielleicht einen Suchvergleich der Hauptfunktionen des Web of Science, Scopus und der zitierbasierten und zitiervverbesserten Datenbanken von Google Scholar durchführen können. *Curr. Sci.* **2005**, *89*, 1537–1547.
29. Vom Brocke, J.; Simons, A.; Niehaves, B.; Riemer, K.; Plattfaut, R.; Cleven, A. Rekonstruktion des Riesen: Über die Bedeutung von Strenge bei der Dokumentation des Literaturrechercheprozesses. In den Proceedings der Europäischen Konferenz über Informationssysteme, Verona, Italien, 8.-10. Juni 2009; S. 2206–2217.
30. Webster, J.; Watson, RT Analyse der Vergangenheit, um sich auf die Zukunft vorzubereiten: Verfassen einer Literaturübersicht. *MIS Q.* **2002**, *26*, 13–23.
31. Grechkin, TY; Plumert, JM; Kearney, JK Dynamische Leistungen in verkörperten interaktiven Systemen: Die Rolle der Anzeige und der Fortbewegungsart. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* **2014**, *20*, 596–605.
32. Skopp, NA; Smolenski, DJ; Metzger-Abamukong, MJ; Rizzo, AA; Reger, GM Eine Pilotstudie der VirtuSphere als Verbesserung der virtuellen Realität. *Int. J. Hum.-Comput. Interagieren.* **2014**, *30*, 24–31.
33. Nilsson, NC; Serafi n, S.; Nordahl, R. Ein Vergleich verschiedener Methoden zur Reduzierung der unbeabsichtigten Positionsdrift, die mit der Fortbewegung vor Ort einhergeht. In Proceedings des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen, Minneapolis, MN, USA, 29.-30. März 2014; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2014; S. 103–110. Nilsson, NC; Serafi n, S.; Nordahl, R. Festlegung des Bereichs wahrnehmungsmäßig natürlicher visueller Gehgeschwindigkeiten für die virtuelle Fortbewegung vor Ort. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* **2014**, *20*, 569–578.
34. Nilsson, NC; Serafi n, S.; Nordahl, R. Ein Vergleich von vier verschiedenen Ansätzen zur Reduzierung unbeabsichtigter Positionsdrift während der Fortbewegung vor Ort. In Proceedings of the IEEE Virtual Reality, Minneapolis, MN, USA, 29. März bis 2. April 2014; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2014; S. 1–2.
35. Caggianese, G.; Gallo, L.; Neroni, P. Entwurf und vorläufige Bewertung von Freihandreisetechniken für tragbare immersive Virtual-Reality-Systeme mit egozentrischer Abtastung. In den Proceedings der Internationalen Konferenz über Augmented und Virtual Reality, Lecce, Italien, 31. August bis 3. September 2015; Springer: Berlin, Deutschland, 2015; S. 399–408.
36. Harris, A.; Nguyen, K.; Wilson, PT; Jackoski, M.; Williams, B. Menschlicher Joystick: Wii-Neigung zur Übersetzung in großen virtuellen Umgebungen. In den Proceedings der ACM SIGGRAPH International Conference zum Virtual-Reality-Kontinuum und seinen Anwendungen in der Industrie, Shenzhen, China, 30. November bis 2. Dezember 2014; ACM: New York, NY, USA, 2014; S. 231–234.
37. Nescher, T.; Huang, YY; Kunz, A. Planung von Umleitungstechniken für ein optimales freies Gehen mithilfe der modellprädiktiven Steuerung. In Proceedings des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen, Minneapolis, MN, USA, 29.-30. März 2014; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2014; S. 111–118.

41. Nabiyouni, M.; Scerbo, S.; DeVito, V.; Smolen, S.; Starrin, P.; Bowman, D. A. Entwurf und Bewertung einer visuellen Akklimatisierungshilfe für ein naturnahes Fortbewegungsgerät. In Proceedings des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen, Arles, Frankreich, 23. bis 24. März 2015; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2015; S. 11–14.
42. Nabiyouni, M.; Saktheeswaran, A.; Bowman, D.A.; Karanth, A. Vergleich der Leistung natürlicher, naturnaher und nicht natürlicher Fortbewegungstechniken in der virtuellen Realität. In Proceedings des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen, Arles, Frankreich, 23. bis 24. März 2015; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2015; S. 3–10. Bruder, G.; Lubas, P.; Steinicke, F. Kognitive Ressourcenanforderungen des umgeleiteten Gehens. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* **2015**, *21*, 539–544.
43. Schmidt, D.; Kovacs, R.; Mehta, V.; Umapathi, U.; Köhler, S.; Cheng, L.P.; Baudisch, P. Level-Ups: Motorisierte Stelzen, die Treppenstufen in der virtuellen Realität simulieren. In den Proceedings der 33. jährlichen ACM-Konferenz über Human Factors in Computersystemen, Seoul, Korea, 18.–23. April 2015; ACM: New York, NY, USA, 2015; S. 2157–2160.
44. Kruijff, E.; Riecke, B.; Trekowski, C.; Kitson, A. Das Neigen des Oberkörpers kann die Selbstbewegungswahrnehmung in virtuellen Umgebungen beeinflussen. In den Proceedings des 3. ACM Symposium on Spatial User Interaction, Los Angeles, CA, USA, 8.–9. August 2015; ACM: New York, NY, USA, 2015; S. 103–112.
45. De la Rubia, E.; Diaz-Estrella, A. Natürliche Fortbewegung basierend auf fußmontierten Trägheitssensoren in einem drahtlosen Virtual-Reality-System. *Präsenz Teleoper. Virtuelle Umgebung*. **2015**, *24*, 298–321.
46. Zank, M.; Kunz, A. Verwendung von Fortbewegungsmodellen zur Schätzung von Laufzielen in immersiven virtuellen Umgebungen. In den Proceedings der Internationalen Konferenz über Cyberwelten, Visby, Schweden, 7.–9. Oktober 2015; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2015; S. 229–236.
47. Langbehn, E.; Eichler, T.; Ghose, S.; von Luck, K.; Bruder, G.; Steinicke, F. Bewertung einer omnidirektionalen Benutzeroberfläche zum Gehen an Ort und Stelle mit virtueller Fortbewegungsgeschwindigkeit, skaliert durch den Vorwärtsneigungswinkel. In den Proceedings des GI-Workshops zu virtueller und erweiterter Realität, Sankt Augustin, 10.–11. September 2015; S. 149–160.
48. McCullough, M.; Xu, H.; Michelson, J.; Jackoski, M.; Pease, W.; Cobb, W.; Kalescky, W.; Ladd, J.; Williams, B. Myo Arm: Schwingen, um eine VE zu erkunden. In Proceedings des ACM SIGGRAPH Symposiums zur angewandten Wahrnehmung, Tübingen, 13.–14. September 2015; ACM: New York, NY, USA, 2015; S. 107–113. Borrego, A.; Latorre, J.; Llorens, R.; Alcañiz, M.; Noé, E. Machbarkeit eines wandelnden Virtual-Reality-Systems für die Rehabilitation: objektive und subjektive Parameter. *J. Neuroeng. Rehabilitation*. **2016**, *13*, 68.
49. Zank, M.; Kunz, A. Eye Tracking zur Vorhersage der Fortbewegung beim umgeleiteten Gehen. In den Proceedings des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen, Greenville, SC, USA, 19.–20. März 2016; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016; S. 49–58.
50. Tregillus, S.; Folmer, E. Vr-Schritt: In-Place-Walking mit Trägheitserfassung für die Freisprechnavigation in mobilen VR-Umgebungen. In den Proceedings der CHI-Konferenz über Human Factors in Computersystemen, San Jose, CA, USA, 7. bis 12. Mai 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 1250–1255.
51. Sun, Q.; Wei, L.Y.; Kaufman, A. Abbildung der virtuellen und physischen Realität. *ACM Trans. Graph. (TOG)* **2016**, *35*, doi: 10.1145 / 2897824.2925883.
52. Bozgeyikli, E.; Raji, A.; Katkooi, S.; Dubey, R. Fortbewegung in der virtuellen Realität für Menschen mit Autismus-Spektrum-Störung. In den Proceedings des Symposiums zur räumlichen Benutzerinteraktion, Tokio, Japan, 15.–16. Oktober 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 33–42.
53. Kruijff, E.; Marquardt, A.; Trepkowski, C.; Lindeman, R.W.; Hinkenjann, A.; Maiero, J.; Riecke, seien Sie auf den Beinen!: Verbessern Sie die Vektion in lehnbasierten Schnittstellen durch multisensorische Stimuli. In Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction, Tokio, Japan, 15.–16. Oktober 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 149–158.
54. Nishi, A.; Hoshino, K.; Kajimoto, H. Begradigung des Gehwegs mithilfe der umgeleiteten Gehttechnik. In Proceedings of the ACM SIGGRAPH, Anaheim, CA, USA, 24.–28. Juli 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; p. 61.
55. Argelaguet, F.; Maignant, M. GiAnt: Stereoskopisch konforme Mehrskalennavigation in VEs. In den Proceedings der ACM-Konferenz zu Virtual Reality-Software und -Technologie, München, 2.–4. November 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 269–277.
56. Cardoso, J. Vergleich von Geste, Gamepad und blickbasierter Fortbewegung für VR-Welten. In den Proceedings der ACM-Konferenz zu Virtual Reality-Software und -Technologie, München, 2.–4. November 2016; ACM: New York, NY, USA, 2016; S. 319–320.

59. Paris, RA; McNamara, TP; Rieser, JJ; Bodenheimer, B. Ein Vergleich von Methoden zur Navigation und Wegfindung in großen virtuellen Umgebungen beim Gehen. In Proceedings of the IEEE Virtual Reality, Los Angeles, Kalifornien, USA, 18. bis 22. März 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; S. 261–262.
60. Xu, M.; Murcia-López, M.; Steed, A. Fehler beim Speichern des Objekts in virtuellen und realen Umgebungen. In Proceedings of the IEEE Virtual Reality, Los Angeles, Kalifornien, USA, 18. bis 22. März 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; S. 315–316.
61. Fisher, JA; Garg, A.; Singh, KP; Wang, W. Entwerfen von absichtlich unmöglichen Räumen in Erzählungen der virtuellen Realität: Eine Fallstudie. In Proceedings of the IEEE Virtual Reality, Los Angeles, Kalifornien, USA, 18. bis 22. März 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; S. 379–380.
62. Kitson, A.; Hashemian, AM; Stepanova, ER; Kruijff, E.; Riecke, BE Vergleich von Lean-basierten Motion-Cueing-Schnittstellen für die Fortbewegung in der virtuellen Realität. In den Proceedings des IEEE-Symposiums für 3DUser-Schnittstellen, Los Angeles, CA, USA, 18.-19. März 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; S. 73–82.
63. Kim, JS; Gracanin, D.; Matkovic, K.; Quek, FK Die Auswirkungen von Finger-Walking in Place (FWIP) auf den räumlichen Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen. *Lect. Anmerkungen Comput. Sci.* **2010**, *6133*, 56–67.
64. Wright, P.; Blythe, M. User Experience Research als Interdisziplin: Auf dem Weg zu einem UX-Manifest. In den Proceedings des BHCI '07 Workshops zu einem UX-Manifest, Lancaster, Großbritannien, 3.-7. September 2007; S. 65–70.
65. Bargas-Avila, JA; Hornbæk, K. Alter Wein in neuen Flaschen oder neue Herausforderungen: Eine kritische Analyse empirischer Studien zur Benutzererfahrung. In den Proceedings der SIGCHI-Konferenz über Human Factors in Computersystemen, Vancouver, BC, Kanada, 7.-12. Mai 2011; ACM: New York, NY, USA, 2011; S. 2689–2698.
66. Van Veen, HA; Distler, HK; Braun, SJ; Bühlhoff, HH Navigieren durch eine virtuelle Stadt: Verwenden von Virtual-Reality-Technologie zur Untersuchung menschlichen Handelns und Wahrnehmens. *Futur. Gener. Comput. Syst.* **1998**, *14*, 231–242. Langbehn, E.; Lubos, P.; Bruder, G.;
67. Steinicke, F. Anwendung des umgeleiteten Gehens in VR im Raummaßstab. In Proceedings der IEEE Virtual Reality (VR), Los Angeles, CA, USA, 18. bis 22. März 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; S. 449–450.



© 2017 vom Autor. Lizenznehmer MDPI, Basel, Schweiz. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution (CC BY) -Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) verbreitet wird.