

Scale & Walk: Evaluation von skalierungsbasierten Interaktionstechniken zur natürlichen Fortbewegung in VR

Yannic Boysen¹, Malte Husung¹, Timo Mantei¹, Lisa-Maria Müller¹, Joshua Schimmelpfennig¹, Lukas Uzolas¹, Eike Langbehn¹

Human-Computer Interaction, Universität Hamburg¹

5boysen@informatik.uni-hamburg.de, 5husung@informatik.uni-hamburg.de,
5mantei@informatik.uni-hamburg.de, 5lmuelle@informatik.uni-hamburg.de,
5schimme@informatik.uni-hamburg.de, mcmci@informatik.uni-hamburg.de,
langbehn@informatik.uni-hamburg.de

Zusammenfassung

Virtual Reality Headsets, wie z.B. die HTC Vive, ermöglichen es dem Benutzer, sich in der virtuellen Welt durch reale Bewegungen fortzubewegen. Dies ist allerdings nur begrenzt anwendbar, da der begehbare reale Raum meist deutlich kleiner ist als der virtuelle Raum. Skalierungstechniken ermöglichen es, weite Distanzen in der virtuellen Welt zurückzulegen, indem die virtuelle Größe des Benutzers manipuliert wird. In dieser Arbeit präsentieren wir ein Experiment, in dem wir zwei Skalierungstechniken im Gegensatz zu beschleunigtem Laufen anhand von Usability, Präsenzgefühl, Motion Sickness und räumlichem Verständnis vergleichen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass automatisches Skalieren in seiner jetzigen Form signifikant schlechter in Bezug auf Usability und Motion Sickness abschneidet als beschleunigtes Laufen und selbstbestimmtes Skalieren. Selbstbestimmtes Skalieren stellt aber eine gleichwertige Alternative zum beschleunigten Laufen dar.

1 Einleitung

Die Diskrepanz zwischen großen zu explorierenden virtuellen Welten und dem begrenzten dazu verfügbaren realen Raum ist weiterhin ein Problem in Virtual Reality (VR).

Rein virtuelle Fortbewegungstechniken wie Joystick oder Teleportation (Bozgeyikli u. a., 2016) führen zu einem niedrigeren Präsenzgefühl (Slater u. a., 1995; Usoh, Arthur, u. a., 1999) oder zu räumlicher Desorientierung (Doug A. Bowman u. a., 1999; Langbehn, Lubos, u. a., 2018). Während auch an Hardware-Lösungen für natürliches Gehen in VR gearbeitet wird (z.B. Schwaiger u. a., 2007), bieten Fortbewegungstechniken wie Redirected Walking (Langbehn und Steinicke, 2018; Suma u. a., 2012), Arm Swinging (Pausch u. a., 1995) oder Hand-held Miniatures (Pausch u. a., 1995) aufgrund der deutlich geringeren Kosten meist breitere Anwendungsmöglichkeiten.

Diese Techniken dürfen nur minimale negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden haben, um für möglichst viele Menschen einsetzbar zu sein. Weiterhin ist es von Vorteil, wenn die Techniken dem Benutzer trotzdem die problemlose Orientierung in der virtuellen Welt ermöglichen und das Präsenzgefühl erhöhen. Zuletzt müssen die Techniken natürlich das Zurücklegen möglichst großer Strecken bewerkstelligen.

Ausgehend von diesen Anforderungen haben wir skalierungsbasierte Interaktionstechniken zur natürlichen Fortbewegung in Virtual Reality entwickelt. Im Gegensatz zu Redirected Walking wird hier statt des Laufwegs die Größe des Benutzers manipuliert. Diese Skalierung der Größe des Benutzers ermöglicht das Bewältigen größerer Strecken, lässt den Benutzer aber trotzdem das Zurücklegen der gesamten Strecke kontinuierlich erleben, d.h. er erhält visuelles, vestibuläres und propriozeptives Feedback. In diesem Paper präsentieren wir ein Experiment, welches zwei verschiedene Skalierungstechniken im Vergleich zu einer Kontrollbedingung evaluiert.

2 Related Work

Doug A Bowman u. a., 1997 präsentierten verschiedene Fortbewegungstechniken für VR und ordneten diese in eine Taxonomie ein. Die Navigation durch Multi-Scale Umgebungen, d.h. virtuelle Welten, die auf mehreren Skalierungsstufen erkundet werden können, wurde von LaViola Jr u. a., 2001 untersucht. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Fortbewegung ohne Nutzung der Hände möglich ist. Die 3D-Interaktionstechnik *scaling-then-traveling* wurde von Zhang, 2009 eingeführt und erlaubt Benutzern, ihre Bewegungsgeschwindigkeit und -genauigkeit in der virtuellen Welt interaktiv anzupassen, indem sie die Größe ihres Avatares verändern. Nach Zhang erhöht dies, vor allem bei Explorationsaufgaben, die Navigationseffizienz. Die zweite von Zhang untersuchte Interaktionsmethode, das *scaling-as-traveling*, zeigt, dass darauf geachtet werden muss, die Interaktion für den Benutzer nachvollziehbar und leicht bedienbar zu gestalten. Interrante u. a., 2007 untersuchten das beschleunigte Laufen als Fortbewegungsart in VR. Dabei wird die natürliche Laufgeschwindigkeit des Benutzers um einen Faktor verstärkt, was zu einer höheren virtuellen Geschwindigkeit führt. Unsere Vergleichsbedingung (siehe Kapitel 3) ist an diese Art der Fortbewegung angelehnt.

Soweit wir wissen, gibt es bisher keine Arbeit, die Skalierung und natürliches Gehen in VR kombiniert hat. Daher haben wir in dieser Arbeit Zhangs Technik scaling-then-traveling im VR-Kontext untersucht und um eine weitere Skalierungstechnik erweitert.

3 Techniken

Wir unterscheiden zwei verschiedene Skalierungstechniken: das automatische und das selbstbestimmte Skalieren. Beim selbstbestimmten Skalieren kann der Benutzer seine virtuelle Größe eigenständig durch Benutzung eines Hand-Controllers bestimmen. Dies gibt ihm große Kontrolle, entkoppelt Fortbewegung und Skalierung und lässt sich in jedem Szenario anwenden. Beim automatischen Skalieren wird die virtuelle Größe automatisch während der Fortbewegung zu einem Ziel hin bestimmt. Dies passiert durch eine mathematische Funktion. Dadurch muss der Benutzer sich nicht aktiv auf die Navigation konzentrieren. Allerdings muss das Ziel bereits bekannt sein. Dies könnte, ähnlich wie beim Teleportieren, durch eine Selektion des Ziels per Controller gelöst werden. Die Kontrollbedingung im Experiment ist beschleunigtes Laufen nach Interante u. a., 2007, bei der die Fortbewegungsgeschwindigkeit in Zielrichtung verstärkt wird. Wir haben uns für diese Technik entschieden, da sie ebenso wie die Skalierungstechniken auf natürlichem Gehen und kontinuierlichem visuellen Feedback basiert.

In einer Vorstudie haben wir verschiedene Skalierungsfunktionen für das selbstbestimmte und automatische Skalieren getestet. Skalierungsfunktionen beschreiben die Form, in der der Benutzer in Abhängigkeit von der Zeit oder Distanz wächst und schrumpft. Anhand der Kriterien Unwohlsein, Präsenzgefühl und Usability bestimmten wir jeweils die besten Funktionen für jede Skalierungstechnik. Beim selbstbestimmten Skalieren schnitt eine asymmetrische intervallbasierte Sigmoidfunktion am besten ab. Bei der automatischen Skalierung wurde eine Parabelfunktion der Form: $f(x) = \max(a * x^2 + b * x + c, c)$ bevorzugt, wobei c die virtuelle Startgröße ist und a sowie b in Abhängigkeit von der zu überwindenden virtuellen Distanz bzw. der realen Distanz bis zum Ende des Tracking Space berechnet werden.

4 Experiment

In diesem Experiment evaluieren wir die drei Techniken hinsichtlich Präsenzgefühl, Usability, Motion Sickness und räumlichem Verständnis. Wir definieren die folgenden Hypothesen:

- H₁ Das räumliche Verständnis ist bei automatischer und selbstbestimmter Skalierung genauer als beim beschleunigten Laufen.
- H₂ Die Motion Sickness ist bei selbstbestimmter Skalierung niedriger als bei den anderen beiden Techniken.



(a)

(b)

Abbildung 1: Die virtuelle Welt aus der Vogelperspektive (a) und der Raum, in dem das Experiment stattgefunden hat (b). Die blaue Linie repräsentiert den Tracking Space, in dem sich die Versuchsperson bewegen kann.

H₃ Die Usability ist bei automatischer und selbstbestimmter Skalierung höher als beim beschleunigten Laufen.

4.1 Versuchspersonen

An dem Experiment haben insgesamt 28 Versuchspersonen teilgenommen. Eine Versuchsperson wurde in der Auswertung aufgrund von Änderungen im Versuchsablauf nicht beachtet. Von den Versuchspersonen waren 11 weiblich und 16 männlich. Die Versuchspersonen waren zwischen 16 und 49 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 23.15 Jahren. Die Versuchspersonen waren überwiegend Studierende und haben für ihre Teilnahme Versuchspersonenstunden bekommen. Alle Versuchspersonen hatten eine normale oder korrigierte Sehfähigkeit. Acht Personen trugen während des Experiments eine Brille, zwei trugen Kontaktlinsen. 22 Personen hatten bereits Erfahrungen mit VR. Die meisten Versuchspersonen hatten Erfahrungen mit 3D-Computerspielen, 12 spielen mindestens einmal die Woche und 8 nie. Die Gesamtzeit des Experiments pro Versuchsperson lag im Schnitt bei einer Stunde.

4.2 Materialien

Die Versuchsteilnehmer trugen während des Experiments ein HTC Vive HMD mit einer Auflösung von 1080x1200 Pixeln pro Auge, einem Field of View von ca. 110° und einer Bildwiederholrate von 90hz. Die Größe des Raumes (siehe Abbildung 1 (b)), in dem sich die Versuchspersonen bewegen konnten, betrug 4x4m. Für die Interaktion in der virtuellen Welt wurde ein HTC Vive Controller genutzt. Die virtuelle Welt wurde mit Unity 3D Version 2017.2.0f3 gerendert. Diese zeigte ein Stadtzenario (siehe Abbildung 1 (a)), in dem sich die Versuchspersonen während des Experiments bewegten. Für die Pointer, die zur Zielsetzung in der virtuellen Welt genutzt wurden, wurde das Unity Plugin VRTK¹ verwendet.

¹<https://vrtoolkit.readme.io>

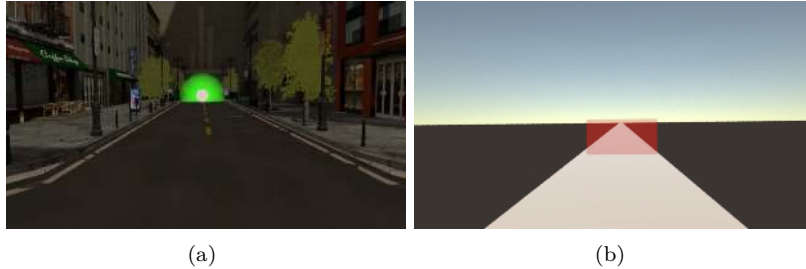


Abbildung 2: Das Fortbewegungsziel im Stadtszenario wurde während des Experiments grün markiert (a). Nachdem das Ziel erreicht wurde, musste die Versuchsperson in einer anderen virtuellen Welt mithilfe einer transparenten Wand die virtuell zurückgelegte Distanz in dem Stadtszenario einschätzen (b).

4.3 Methoden

Für das Experiment wurde ein within-subject Studiendesign gewählt. Jeder Teilnehmer nutzte alle drei Techniken. Der Aufbau des Experiments bestand aus drei Versuchsböcken, pro Technik ein Block. Die Blöcke wurden pseudo-randomisiert, sodass die Techniken von den Teilnehmern in unterschiedlicher Reihenfolge durchlaufen wurden, aber jede Reihenfolge gleich oft vorkam. Um die Motion Sickness zu messen, wurde der Simulator Sickness Questionnaire (Kennedy u. a., 1993) verwendet. Die Versuchsteilnehmer haben den Fragebogen jeweils vor und nach dem ersten Block ausgefüllt, um die Motion Sickness der ersten Technik zu messen. Da die Teilnehmer nach dem ersten Block unter Umständen schon unter Motion Sickness leiden, wurde für den zweiten und dritten Block kein SSQ abgefragt. Somit entsprach das Experiment in diesem Aspekt einem between-subject Design.

In der ersten Phase eines Blocks starteten die Versuchsteilnehmer auf einer Kreuzung in der Mitte des Stadtszenarios. Auf der Straße wurde dem Teilnehmer ein Ziel in einer von fünf Distanzen präsentiert (siehe Abbildung 2 (a)). Beim automatischen Skalieren und beim beschleunigten Laufen musste die Versuchsperson lediglich zum Ziel laufen. Beim selbstbestimmten Skalieren musste sie sich mit dem Controller auf die maximale Größe skalieren, zum Ziel laufen und sich wieder auf die Ausgangsgröße zurück skalieren. Die Maximalgröße wurde immer so gewählt, dass die Versuchsperson im realen Raum immer den kompletten Tracking-Space durchqueren musste, um das Ziel zu erreichen. Nachdem das Ziel erreicht wurde, wurde die Stadtszene ausgeblendet (siehe Abbildung 2 (b)). Mithilfe des Controllers schätzte die Versuchsperson die zurückgelegte Distanz ein. Dies wurde als Maß für das räumliche Verständnis genutzt. Nach der Distanzeinschätzung wurde die Stadtszene wieder eingeblendet und das nächste Ziel war zu sehen. Pro Block wurden 2 mal 5 verschiedene Distanzen durchlaufen. Um sicherzustellen, dass die Teilnehmer die Aufgabe verstanden haben, gab es vor den Durchläufen drei Testdurchläufe. Nach den 10 Durchläufen wurde die Versuchsperson mittels eines Dialogfeldes innerhalb der virtuellen Welt nach der Verschlechterung ihres Befindens auf einer Skala von 0 bis 6 befragt.

| | automatisch | selbstbestimmt | beschleunigt |
|----|-------------|----------------|--------------|
| M | 4.31 | 5.14 | 4.64 |
| SD | 1.07 | 1.04 | 0.77 |

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen für die SUS-Presence Scores

| | automatisch | selbstbestimmt | beschleunigt |
|----|-------------|----------------|--------------|
| M | 67.59 | 78.61 | 76.85 |
| SD | 15.65 | 13.14 | 17.47 |

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Werte des System Usability Scale Questionnaire

In der zweiten Phase des Blocks explorierten die Teilnehmer die Stadt für 2 Minuten mit der jeweiligen Technik. Währenddessen wurde mit der Think-Aloud Methode qualitatives Feedback erhoben. Nach der zweiten Phase füllten die Teilnehmer den System Usability Scale Questionnaire (Brooke u. a., 1996) und den Slater Usosh Steed Presence (SUS-Presence) Questionnaire (Usosh, Catena, u. a., 2000) aus.

Nachdem alle drei Blöcke absolviert wurden, füllten die Versuchsteilnehmer einen abschließenden Fragebogen zur Erfassung der demografischen Daten aus.

4.4 Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen des SUS-Presence Questionnaire (Usosh, Catena, u. a., 2000). Der Shapiro-Wilk Test zeigte für diese Werte, dass die Normalverteilungsannahme nicht verletzt ist. Die Ergebnisse wurden mit einer ANOVA bei einem 5% Signifikanzniveau analysiert. Hier zeigte sich zwischen den Techniken kein signifikanter Unterschied bezüglich des Präsenzgefühls ($F = 3.365$, $p = .0703$).

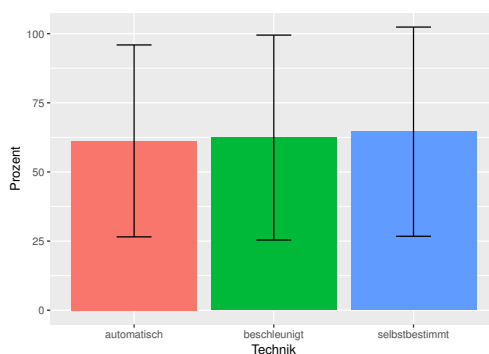


Abbildung 3: Die geschätzten zurückgelegten Distanzen in Prozent

| | automatisch | selbstbestimmt | beschleunigt |
|----|-------------|----------------|--------------|
| M | 8.727 | 5.818 | 10.804 |
| SD | 8.569 | 7.735 | 26.143 |

Tabelle 3: Gerundete Mittelwerte und Standardabweichungen des Simulator Sickness Questionnaire

Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen des System Usability Scale Questionnaire (Brooke u. a., 1996). Für diese Werte zeigte der Shapiro-Wilk Test, dass die Normalverteilungsannahme verletzt ist ($p < .0001$). Daraufhin wurden die Ergebnisse mit dem Friedman Test zu einem Signifikanzniveau von 5% analysiert, wodurch ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Usability gefunden wurde ($df = 2$, $\chi^2 = 14.06$, $p < .0009$). Der einseitige Wilcoxon Test ergab mit einem 5% Signifikanzniveau, dass das automatische Skalieren einen signifikant niedrigeren Usability Score als das beschleunigte Laufen ($p < .004$) und das selbstbestimmte Skalieren ($p < .0003$) hat. Letztere Techniken unterscheiden sich in ihren Usability Scores nicht signifikant voneinander ($p = .2092$).

Die geschätzten Distanzen wurden für die Analyse zunächst aufbereitet und normalisiert, sodass die relativen Fehler von Versuchspersonen in Prozent verglichen werden konnten. Bei der Analyse der eingeschätzten Distanzen wurde mit dem Shapiro-Wilk Test eine Verletzung der Normalverteilungsannahme festgestellt ($p < .0001$, $p < .0001$, $p < .0001$). Aufgrund dessen wurde dieser Teil mit einem beidseitigen Friedman Rank-Sum Test analysiert, wobei kein signifikanter Unterschied gefunden wurde ($\chi^2 = 2.7857$, $df = 2$, $p = .2484$). Die Mittelwerte und Standardabweichungen zeigen, dass die Distanzen überwiegend unterschätzt wurden (siehe Abbildung 3).

Bei der Auswertung des Simulator Sickness Questionnaire (Kennedy u. a., 1993) wurde mit dem Shapiro-Wilk Test keine Verletzung der Normalverteilungsannahme festgestellt ($p = .3261$, $p = .2325$, $p = .1256$), sodass eine Anova mit einem 5% Signifikanzniveau verwendet werden konnte. Hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Techniken gefunden ($p = .519$). Die Mittelwerte und Standardabweichungen finden sich in Tabelle 3.

Auch bei der Bewertung der Verschlechterung des Wohlbefindens nach jeder Technik konnte mit dem Shapiro-Wilk Test eine Verletzung der Normalverteilungsannahme festgestellt werden ($p < .0001$). Der darauffolgende Friedman Rank-Sum Test zeigte einen signifikanten Unterschied ($\chi^2 = 9.6562$, $df = 2$, $p < .009$). Ein anschließender einseitiger Wilcoxon Signed-Rank Test ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen dem automatischen und dem selbstbestimmten Skalieren ($V = 121$, $p = .05869$) und zwischen dem beschleunigten Laufen und dem selbstbestimmten Skalieren ($V = 23.5$, $p = .8234$). Die Verschlechterung beim automatischen Skalieren ist signifikant größer als beim beschleunigten Laufen ($V = 121$, $p < .003$).

Im qualitativen Feedback gaben die Versuchsteilnehmer ihre bevorzugte Technik an. 78.6% der Teilnehmer gaben das selbstbestimmte Skalieren an, 21.4% das beschleunigte

Laufen. Das automatische Skalieren wurde von keiner Versuchsperson genannt.

Die Auswertung der Think-Aloud Phase hat ergeben, dass viele Teilnehmer das selbstbestimmte Skalieren als angenehm empfunden haben, da sie mehr Kontrolle über die Skalierung hatten. Das automatische Skalieren wurde aufgrund der fehlenden Kontrolle als unangenehm eingeschätzt. Des Weiteren wurde das Herunterskalieren mit dem Gefühl des freien Falls assoziiert; vor allem in der letzten Phase des Skalierens ist dies besonders aufgefallen. Die Größenveränderung erregte oft Unwohlsein. Die Beschleunigung bei der Kontrollbedingung wurde oft als ungewohnt beschrieben. Trotzdem wurde das Beschleunigen, im Gegensatz zum Skalieren der anderen beiden Methoden, als natürlicher beschrieben, da es mit Autofahren vergleichbar sei.

5 Diskussion

Bei den Techniken zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Präsenzgefühls. Um eine definitive Aussagen zu treffen, ist daher eine nähere Untersuchung dieses Aspekts nötig.

Hinsichtlich der Usability ist das automatische Skalieren signifikant schlechter als die anderen beiden Techniken. Dieser Teil der Hypothese H_3 kann nicht belegt werden. Der niedrige Usability-Score kann dadurch bedingt sein, dass das nicht selbst kontrollierte Wachstum als ungewohnt und unangenehm empfunden wird. Die Usability des selbstbestimmten Skalierens unterscheidet sich nicht signifikant von der Kontrollbedingung, dem beschleunigten Laufen. Die höheren Scores der beiden Techniken im Vergleich zur automatischen Skalierung sind auf die größere Kontrolle beim selbstbestimmten Skalieren und die alltagsnähere Manipulation der Geschwindigkeit beim beschleunigten Laufen zurückzuführen (Versuchspersonen gaben als Beispiel Autofahren an). Der Usability-Score des selbstbestimmten Laufens ist nicht wie in H_3 angenommen größer als der des beschleunigten Laufens.

Die beobachtete Unterschätzung der Distanzen zeigt sich in VR häufig (Langbehn, Raupp, u. a., 2016). Bei der Einschätzung der Distanzen zeigt sich zwischen den Techniken kein signifikanter Unterschied. Die Hypothese H_1 kann nicht belegt werden. Die große Streuung der Werte könnte durch interindividuelle Unterschiede bei Distanzeinschätzungen oder durch die Implementierung der Distanzeinschätzung zu begründen sein. In weiteren Studien könnte eine präzisere Technik zur Einschätzung von großen Distanzen entwickelt und getestet werden. Eine weitere Art, das räumliche Verständnis zu messen, ist die des Cognitive Map Building. Weiterführende Forschung könnte diesen Aspekt genauer untersuchen.

Es finden sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Motion Sickness. H_2 kann nicht belegt werden. Dies kann auf die geringe Zahl der Daten zurückgeführt werden, da der Simulator Sickness Questionnaire nur im ersten Block eines Versuchsdurchlaufs erhoben wurde. Auch die hohe Standardabweichung der Werte kann dadurch erklärt werden.

Das Wohlbefinden hat sich beim automatischen Skalieren signifikant stärker verschlechtert als beim beschleunigten Laufen. Dies kann auf die fehlende Kontrolle bei der automatischen Größenskalierung zurückgeführt werden. Zwischen dem selbstbestimmten Skalieren und dem automatischen Skalieren besteht kein signifikanter Unterschied.

Das qualitative Feedback hat gezeigt, dass das selbstbestimmte Skalieren von der großen Mehrheit favorisiert wird. Dieses Ergebnis findet sich in den quantitativen Daten nicht wieder. Die Versuchspersonen bevorzugten beim selbstbestimmten Skalieren vor allem die Möglichkeit, die Stadt genauer erkunden zu können, einen Überblick zu bekommen und gaben an, mit dieser Technik mehr Spaß zu haben. Das Unwohlsein im letzten Abschnitt des Herunterskalierens könnte durch eine angepasste Skalierungsfunktion verbessert werden.

Aus der vorangegangenen Diskussion vermuten wir, dass Kontrollmangel und Größenveränderung Effekte sind, die das Wohlbefinden negativ beeinflussen. Beim automatischen Skalieren interagieren beide Effekte miteinander. Dies könnte die Verschlechterung des Wohlbefindens erklären. Bei den anderen Techniken tritt jeweils nur einer dieser Effekte auf. Es könnte allerdings beim automatischen Skalieren auch ein Lerneffekt einsetzen, der die negativen Folgen dieser Technik abschwächt. Weiterführende Studien sollten dies untersuchen.

6 Fazit

In dieser Arbeit wurde ein Experiment zu verschiedenen Skalierungstechniken in einer virtuellen Welt durchgeführt. Dabei wurden die Methoden hinsichtlich folgender Kriterien evaluiert: Usability, Präsenzgefühl, Motion Sickness und räumliches Verständnis. Zusammenfassend legen die Ergebnisse nahe, dass das automatische Skalieren in der jetzigen Form schlechter abschneidet als das selbstbestimmte Skalieren und die Kontrollbedingung. Die Ergebnisse könnten mit einer Gewöhnungsphase oder anderen mathematischen Funktionen zur Skalierung positiver ausfallen. Das selbstbestimmte Skalieren stellt aber eine gleichwertige Alternative zum beschleunigten Laufen dar.

Literaturverzeichnis

- Bowman, D. A. [Doug A.], Davis, E. T., Hodges, L. F., & Badre, A. N. (1999). Maintaining Spatial Orientation During Travel in an Immersive Virtual Environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(6), 618–631.
- Bowman, D. A. [Doug A.], Koller, D., & Hodges, L. F. (1997). Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques. In *Virtual Reality Annual International Symposium, 1997., IEEE 1997* (S. 45–52). IEEE.

-
- Bozgeyikli, E., Raji, A., Katkooari, S., & Dubey, R. (2016). Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality. In *Proceedings of ACM Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI Play)* (S. 205–216).
- Brooke, J. u. a. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4–7.
- Interrante, V., Ries, B., & Anderson, L. (2007). Seven league boots: A new metaphor for augmented locomotion through moderately large scale immersive virtual environments. In *3D User Interfaces, 2007. 3DUI'07. IEEE Symposium on*. IEEE.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203–220.
- Langbehn, E., Lubos, P., & Steinicke, F. (2018). Evaluation of Locomotion Techniques for Room-Scale VR: Joystick, Teleportation, and Redirected Walking. In *Proceedings of the Virtual Reality International Conference (VRIC)*.
- Langbehn, E., Raupp, T., Bruder, G., Steinicke, F., Bolte, B., & Lappe, M. (2016). Visual blur in immersive virtual environments: Does depth of field or motion blur affect distance and speed estimation? In *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology* (S. 241–250). ACM.
- Langbehn, E. & Steinicke, F. (2018). Redirected Walking in Virtual Reality. In N. C. Nilsson (Hrsg.), *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*. Springer International Publishing.
- LaViola Jr, J. J., Feliz, D. A., Keefe, D. F., & Zeleznik, R. C. (2001). Hands-free multi-scale navigation in virtual environments. In *Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics* (S. 9–15). ACM.
- Pausch, R., Burnette, T., Brockway, D., & Weiblen, M. E. (1995). Navigation and locomotion in virtual worlds via flight into hand-held miniatures. In *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (S. 399–400). ACM.
- Schwaiger, M., Thümmel, T., & Ulbrich, H. (2007). Cyberwalk: Implementation of a ball bearing platform for humans. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (S. 926–935). Springer.
- Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1995). Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 2(3), 201–219.
- Suma, E. A., Bruder, G., Steinicke, F., Krum, D. M., & Bolas, M. (2012). A Taxonomy for Deploying Redirection Techniques in Immersive Virtual Environments. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality (VR)* (S. 43–46).
- Usoh, M., Arthur, K., Whitton, M. C., Bastos, R., Steed, A., Slater, M., & Brooks, Jr., F. P. (1999). Walking > Walking-in-Place > Flying, in Virtual Environments. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH* (S. 359–364).
- Usoh, M., Catena, E., Arman, S., & Slater, M. (2000). Using presence questionnaires in reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 9(5), 497–503.
- Zhang, X. L. (2009). Multiscale traveling: crossing the boundary between space and scale. *Virtual reality*, 13(2), 101.

Autoren



Boysen, Yannic

Yannic Boysen studiert Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Hamburg im 6. Bachelorsemester. Seit 2017 ist er als App-Tester in einem Logistik Startup tätig und interessiert sich im Studium besonders für aktuelle MCI Themen sowie Machine Learning.



Husung, Malte

Malte Husung studiert im 6. Bachelorsemester Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Hamburg. Von 2016 bis 2017 war er als Tutor für Softwareentwicklung an der Universität Hamburg tätig.



Mantei, Timo

Timo Mantei studiert im 6. Bachelorsemester Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Hamburg. Er ist derzeit als Tutor für Softwareentwicklung an der Universität Hamburg tätig. Besonders interessiert er sich für Virtual Reality und Mobile Computing.



Müller, Lisa-Maria

Lisa-Maria Müller studiert im 6. Bachelorsemester Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Hamburg. Im zweiten Jahr ihres Studiums arbeitete sie an der Universität Hamburg als Tutorin für Softwareentwicklung. Im Herbst 2017 absolvierte sie ein zweimonatiges Auslandspraktikum im Bereich Webentwicklung in Neuseeland. Seit Mai 2018 ist Frau Müller als Werkstudentin in einem Unternehmen für Softwareentwicklung im Bereich Product & Service und Webentwicklung tätig.



Schimmelpfennig, Joshua

Joshua Schimmelpfennig studiert im 6. Bachelorsemester Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Hamburg. Seit August 2017 arbeitet er als studentischer Angestellter in der Bibliothek des Fachbereichs Informatik. Besonders interessant findet er Virtual Reality und Brain-Computer-Interfaces.



Uzolas, Lukas

Lukas Uzolas studiert Mensch-Computer-Interaktion im 6. Bachelorsemester an der Universität Hamburg. Zur Zeit arbeitet er als Software-Entwickler und interessiert sich privat für alles, was mit dem Webentwicklung zu tun hat.



Langbehn, Eike

Eike Langbehn studierte Informatik an der Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg und der Universität Hamburg. Er arbeitete einige Jahre als Software-Entwickler, u.a. an digitalen Spielen. Seit Januar 2015 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand in der Arbeitsgruppe Human-Computer Interaction der Universität Hamburg. Seine Forschung konzentriert sich auf wahrnehmungs-inspirierte Fortbewegungstechniken für Virtual Reality, insbesondere Redirected Walking.