

Universität Bremen

Fachbereich 3: Mathematik und Informatik

Bachelorarbeit

VRestionnaires:
Untersuchung der Usablity von In-VR-Fragebögen

Pitt Michelmann

Matrikel-Nr. 4191491

2. März 2019

1. Gutachter: Prof. Dr. Rainer Malaka
2. Gutachter: Dr. René Weller
Betreuer: Dmitry Alexandrovsky, Susanne Putze

Pitt Michelmann

VRestionnaires:

Untersuchung der Usablity von In-VR-Fragebögen

Bachelorarbeit, Fachbereich 3: Mathematik und Informatik

Universität Bremen, März 2019

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Bremen, den 2. März 2019

_____

Pitt Michelmann

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jeden bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Susanne Putze und Dmitry Alexandrovsky, die meine Bachelorarbeit betreut haben. Für die hilfreichen Anregungen, die konstruktive Kritik und dafür, dass sie mich immer auf dem richtigen Kurs gehalten haben, möchte ich mich herzlich bedanken.

Ich bedanke mich bei der Arbeitsgruppe Digitale Medien für die Bereitstellung der Hardware und Örtlichkeiten. Außerdem danke ich allen Mitgliedern der AG, die mir mit Rat zur zur Seite gestanden haben.

Ein besonderer Dank gilt allen Teilnehmern meiner Expertenevaluation, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Meint Dank gilt ihrer Informationsbereitschaft und ihren interessanten Beiträgen und Antworten auf meine Fragen.

Ich möchte mich bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht, immer an mich geglaubt und stets moralisch unterstützt haben.

Ich danke dem wunderbaren Kreis von Freunden, der mich umgibt und mich durch helle wie dunkle Tage stets treu begleitet. Ihr macht das Leben wirklich lebenswert.

Ich danke 'The Prime Thanatos', der mit seinem YouTube-Channel den Soundtrack für den größten Teil der Programmierung und der schriftlichen Ausarbeitung für diese Arbeit gestellt hat.

Ich danke den Nachtwächtern des MZH-Gebäudes, die es ermöglicht haben, jeden Tag bis spät nachts die Räumlichkeiten zu nutzen.

Pitt Michelmann
Bremen, 2. März 2019

Abstract

Standardisierte Fragebögen sind eines der wichtigsten Werkzeuge von Virtual Reality (VR)-Forschern um entwickelte Systeme zu evaluieren. Eine Analyse aktueller Studien, sowie ein Online-Umfrage unter 67 VR-Forschern zeigte, dass es keine einheitlichen Standards der Fragebogenpräsentation gibt und dieses Gebiet weitgehend unerforscht ist. Aufbauend auf diesen Ergebnissen entwickelten ein Fragebogenerstellungtool, welches die Erstellung und Einbindung von integrierten VR-Fragebögen ermöglicht. Dieses soll den Ablauf und Datenfluss von VR-Studien vereinfachen. Außerdem könnten integrierte VR-Fragebögen potenziell Auswirkungen auf die Ergebnisse von VR-Studien haben, in denen sie verwendet werden. Wir implementierten gängige, der Fachliteratur und aktuellen Studien entnommene, Designparadigmen der Interaktion und Platzierung. In einer Expertenevaluation mit 10 Teilnehmern verglichen wir die unterschiedlichen Konditionen miteinander und bewerteten die allgemeine Usability der Fragebögen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Konditionen einen großen Einfluss auf die Usability haben. Weitergehend treffen wir Aussagen über die Eignung verschiedener Ausprägungen für integrierte VR-Fragebögen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung **1**

2 Verwandte Arbeiten **3**

2.1 Stand der Technik . . . 3

2.2 Bestehende Forschung . . . 5

3 Vorstudien **9**

3.1 Literaturstudie . . . 9

3.2 Umfrage unter Experten . . . 11

3.3 Zusammenfassung . . . 15

4 Design und Implementierung **17**

4.1 Anforderungen . . . 17

4.2 Design . . . 18

4.3 Implementierung . . . 27

4.4 Zusammenfassung . . . 29

5 Expertenevaluation **31**

5.1 Design der Evaluation . . . 31

5.2 Ablauf . . . 32

5.3 Teilnehmer . . . 36

5.4 Ergebnisse . . . 36

5.5 Auswertung und Interpretation . . . 47

5.6 Diskussion . . . 51

6 Fazit und Ausblick **53**

A Tabellen **55**

A.1 Veröffentlichungen der Literaturstudie . . . 55

A.2 Fragenkatalog der Online-Umfrage . . . 58

A.3 In-VR-Fragebögen der Evaluation . . . 60

A.4 Demographie-Fragebogen der Evaluation . . . 62

A.5 System Usability Scale . . . 63

B Appendix **65**
B.1 Abbildungsverzeichnis 65
B.2 Tabellenverzeichnis 66
B.3 Literatur 69
B.4 Internetquellen 71
B.5 Veröffentlichungen der Literaturstudie 72
B.6 Liste der Abkürzungen 76

Kapitel 1

Einführung

Die Verwendung von VR ist heute in vielen Forschungsgebieten etabliert. VR kommt beispielsweise als Forschungs- und Entwicklungswerkzeug im Bereich Navigation, Reiz-Reaktions-Forschung, körperliches Training, Bildung, Simulation von Arbeitsumgebungen oder Konfrontationstherapie zum Einsatz (Kuliga et al. 2015; Putze et al. o.D.). Eine Haupteigenschaft von VR ist die Vermittlung von *Präsenz* durch *Immersion* (Witmer et al. 1998; LaViola et al. 2017). Der Grad an *Immersion* wird bestimmt durch die sensorische Information, die auf den Nutzer einwirkt. Der Begriff *Präzenz* beschreibt das, durch Immersion erzeugte, subjektive Gefühl der Nutzer, sich in der virtuellen Umgebung zu befinden und daran teilzuhaben, während sie sich physisch an einem anderen Ort befinden (Witmer et al. 1998; Jerald 2015). Die Untersuchung von Präsenz ist daher ein wichtiger Aspekt der VR-Forschung. Die am weitesten verbreitete Methode zur Untersuchung von Präsenz ist die Verwendung von standardisierten Fragebögen (Witmer et al. 1998; LaViola et al. 2017, S. 461). Diese Fragebögen wurden entwickelt, um eine verlässliche, konsistente und verifizierte Erfassung subjektiver Parameter zu ermöglichen. Um Fragebögen zu beantworten, die auf Papier oder einem anderen, digitalen Medium präsentiert werden, ist es nötig, dass die Nutzer die VR verlassen. Bei diesem Vorgang kommt es zu einem sogenannten Break-in-Presence (BIP), einem Bruch in der Präsenz der Nutzer. Der Wechsel von virtueller in 'echte' Realität und die damit verbundenen Sinneseindrücke stellen eine Ablenkung dar. (Slater et al. 2000; Schwind et al. 2019). Zudem benötigt das An- und Ablegen der VR-Ausrüstung, sowie die Orientierung beim Eintreten und Verlassen der VR zusätzliche Zeit. In vielen Studien werden mehrere Konditionen und Aufgaben nacheinander ausgeführt und bewertet.

Eine neuere Entwicklung in der Fragebogenpräsentation ist die Verwendung von integrierten VR-Fragebögen. Diese ermöglichen den Nutzern die Beantwortung von Fragebögen innerhalb der virtuellen Umgebung und reduzieren die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von BIPs. Zusätzlich vermeiden sie durch das An- und Ablegen der VR-Systeme entstehende Verzögerungen und Ablenkungen. Schwind et al. 2019 untersuchten die Auswirkungen der Benutzung von integrierten VR-Fragebögen und kamen zu dem Schluss, dass diese für die Vermeidung von BIPs und Ablenkungen, sowie zum Einsparen von Zeit gut geeignet sind (Schwind et al. 2019).

Um den aktuellen Stand der Fragebögenpräsentation in VR-Studien zu erfassen, führten wir eine Vorstudie durch, bestehend aus einer Untersuchung aktueller Veröffentlichungen zum Thema VR-Forschung, gefolgt von einer Online-Umfrage unter Experten, mit dem Ergebnis, dass viele Forscher schon mit integrierten Fragebögen experimentiert haben, diese in der praktischen Anwendung aber unterrepräsentiert sind. Genannte Gründe sind unter anderem Zweifel an der Usability und zu hoher Implementierungsaufwand. Zusätzlich ließ sich kein allgemeiner Standard für die Fragebogenpräsentation in VR-Studien ermitteln.

In dieser Arbeit stellen wir die Implementierung eines Fragebogentools für VR vor, welches eine einfache Erstellung und Einbindung integrierter VR-Fragebögen ermöglicht. Zu integrierende Fragebögen können durch die Anwender in einer Textdatei beschrieben und daraus automatisch erstellt werden. Das Tool exportiert die gegebenen Antworten und Logdaten der Benutzung. Dadurch lässt sich der Datenfluss von VR-Benutzerstudien vereinfachen und zentralisieren. Zusätzlich bietet das Tool verschiedene, in der Literatur empfohlene Methoden der Platzierung des Fragebogens und der Interaktion mit dem Fragebogen. Wir führten eine Expertenevaluation durch, um die Usability der mit dem Tool erstellten Fragebögen zu überprüfen und qualitatives Feedback zu der Implementierung zu erhalten. In den Ergebnissen der Evaluation konnten wir signifikante Unterschiede in der Usability der verschiedenen implementierten Interaktions- und Kontextmethoden erkennen. Das Tool und die gewonnenen Erkenntnisse aus der Evaluation können als Anhaltspunkt und Inspiration für zukünftige VR-Forschung dienen.

In Kapitel 2 klären wir zunächst grundlegende Praktiken und Begriffe der Bereiche 3D-Umgebungen und VR-Benutzerstudien. Weiterhin werden in Kapitel 2 bereits bestehende Forschungsansätze auf dem Gebiet integrierter VR-Fragebögen vorgestellt und von dieser Arbeit abgegrenzt. In Kapitel 3 untersuchen wir aktuelle Forschungspraktiken im Bereich Virtual Reality. In Kapitel 4 wird das entwickelte Fragebogentool vorgestellt. In Kapitel 5 untersuchen wir die Usability und den Nutzen des Tools und diskutieren die Ergebnisse.

Kapitel 2

Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel bieten wir einen Überblick über allgemeine Praktiken und Designparadigmen der Erstellung von Inhalten für 3D-Umgebungen und erörtern die für diese Arbeit relevanten Aspekte. Im Anschluss präsentieren wir bereits bestehende Forschung auf dem Gebiet integrierter VR-Fragebögen und grenzen diese von der Fragestellung dieser Arbeit ab.

2.1 Stand der Technik

2.1.1 Interaktionsvorgänge in 3D Umgebungen

Die grundsätzlichen Interaktionsvorgänge in 3D-Umgebungen lassen sich in drei Kategorien einteilen: *Navigation*, *Selektion und Manipulation* und *System Control* (LaViola et al. 2017).
Für diese Arbeit relevant sind hiervon *Selektion und Manipulation* und *System Control*.

Selektion und Manipulation

Nach LaViola et al. 2017 ist Selektion der Vorgang des Akquirierens und Identifizierens bestimmter Objekte aus einer Sammlung von verfügbaren Objekten. Die Entsprechung in der realen Welt wäre das Aufheben eines Objektes mit der Hand. Selektionsvorgänge sind oft gekoppelt an Manipulationsvorgänge. Diese dienen dazu, Position, Rotation, Größe und Form der selektierten Objekte zu verändern (LaViola et al. 2017).

Die Interaktionsmöglichkeiten hängen stark von der genutzten Hardware ab. Diese können gerade im Bereich der Forschung stark variieren. Sie reichen von Interaktion mit Keyboard und Maus

über das Tracking von Körperteilen bis zu Sprachsteuerung (LaViola et al. 2017). Aktuelle kommerzielle VR-Systeme nutzen überwiegend sogenannte 6-Degrees-of-Freedom (6-DoF)-Controller. Diese werden in den Händen gehalten und die Bewegungen und Drehungen von dem System verfolgt, was eine freie Bewegung im Raum zulässt. D. A. Bowman 2005 und Hinckley et al. 1994 identifizieren die Verwendung eines Laserpointers als die am weitest verbreitete Direktmanipulationstechnik in immersiven virtuellen Umgebungen unter Verwendung von 6-DoF-Geräten (D. A. Bowman 2005; Hinckley et al. 1994).

System Control

System Control Vorgänge ändern Modus oder Status des Systems oder fordern das System auf, eine bestimmte Funktion auszuführen. Andere Interaktionsvorgänge wie Selektion, Manipulation und Navigation können Teil von System Control sein. Bei anderen Vorgängen kann der Benutzer häufig spezifizieren, was gemacht werden soll und wie. System Control-Vorgänge erlauben meistens nur die Spezifizierung davon, was gemacht werden soll, während das Wie allein von dem System geregelt wird. Im Bereich von Desktop-PCs werden System Control-Vorgänge meist über die Verwendung von 2D-User Interfaces unter Verwendung der traditionellen WIMP-Interaktion (Windows, Icons, Mouse, Pointer) realisiert. LaViola et al. 2017 weisen darauf hin, dass es noch keine allgemeingültigen Standards für 3D-User Interfaces gibt. Die derzeit am weitesten verbreitete System Control-Technik in 3D ist die Adaption von 2D-Menüs (LaViola et al. 2017, S. 387). Dabei werden die allgemein etablierten Richtlinien des 2D-Menü-Designs übernommen und in 3D-Umgebungen eingearbeitet. Beispiele hierfür sind Pop-Up-Menüs, schwebende Menüs und Toolbars. Vorteil von 2D Menüs ist, dass Nutzer mit den grundlegenden Regeln der Menüinteraktion meist bereits vertraut sind.

Weitere Möglichkeiten der Implementierung von System Control-Schnittstellen beinhalten die Verwendung von 3D-Objekten als Menü-Einträge oder den Verzicht auf eine grafische Darstellung zu Gunsten von Gesten- oder Sprachsteuerung des Systems (Kim et al. 2000; D. A. Bowman et al. 1999; LaViola et al. 2017).

Adaptierte 2D-Menüs

Als verbreitetste Form der System Control-Realisierung, möchten wir die Anwendung adaptierter 2D-Menüs gerne weiter ausführen.

Inzwischen gibt es viele verschiedene Wege, 2D-Menüs in 3D-Umgebungen zu adaptieren. Als einfache schwebende rechteckige Fläche, angelehnt an die Desktop-PC-Fenster-Metapher, als Ringmenü oder Einbindung in die Umgebung (zB. virtueller Monitor). Abbildungen 2.1 und

2.2 zeigen zwei Designs von adaptierten 2D-Menüs. Teylingen et al. 1997 implementierten ein Menü als schwebende Fläche im Raum. D. Bowman et al. 2001 entwarfen das TULIP-Menü. Mit speziellen VR-Handschuhen konnten an den Fingern platzierte Menüeinträge durch Berührung ausgewählt werden.

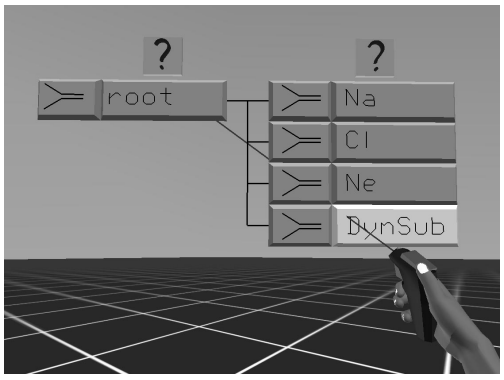


Abbildung 2.1 Floating Menu von Teylingen et al. 1997

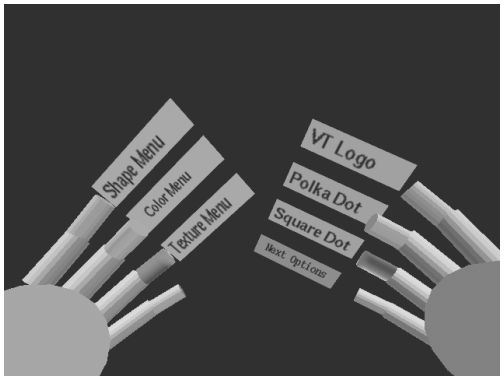


Abbildung 2.2 Tulip Menu von D. Bowman et al. 2001

Wie in Kapitel 2.1.1 erläutert, ist Pointing eine der verbreitetsten Manipulationsformen in VR. Neuere Studien schlagen die Verwendung von Touch-Interfaces für die Interaktion VR-Menüs vor (Prachyabrued et al. 2011; Gebhardt et al. 2014; Vemavarapu et al. 2013). Es wird argumentiert, dass diese in Menü-Selektionsverfahren schneller und genauer funktionieren können. Mit Hilfe des Touchpads lassen sich Menüs in verschiedene Richtungen sequentiell navigieren. Diese Steuerung ist angelehnt an die traditionelle Menü-Navigation in 3D Spielen mit Gamepad-Steuerung.

LaViola et al. 2017 nennen mehrere Möglichkeiten, 2D-Menüs in der virtuellen Umgebung zu platzieren. Diese beinhalten schwebende Plazierung im Raum, feste, die virtuelle Umgebung überlagernde, Platzierung im Sichtfenster oder das Anhängen an die Hand oder andere Objekte in der virtuellen Umgebung (LaViola et al. 2017, S. 388).

2.2 Bestehende Forschung

Frommel et al. 2015 untersuchten die Einbindung von Fragebögen in 3D-Umgebungen in Spielen. Sie stellten die Hypothese auf, dass integrierte Fragebögen eine höhere Präsenz erreichen, wenn sie auf möglichst natürliche Weise in die Umgebung eingearbeitet werden. Sie entwickelten ein Rennspiel und zwei Methoden der Fragebogeneinbindung während des Spielens. Eine Methode war die Pausierung des Spiels und eine einfache Einblendung eines Fragebogens angelehnt an die Form eines einfachen Papierfragebogens. Die andere Methode beinhaltete die Einarbeitung der

Fragebogenbearbeitung in das Spielkonzept. In Abbildung 2.3 ist zu sehen, wie Antworten auf eine präsentierte Frage durch Steuern des Fahrzeuges auf verschiedene Fahrspuren realisiert wurde. Der integrierte Fragebogen war eine Abwandlung des *Immersive Tendencies Questionnaire* (ITQ) von Witmer et al. 1998 zur Untersuchung des Vergnügens mit zwei zusätzlichen Fragen zum emotionalen Befinden. Die Probanden wurden jeweils einer der Methoden zugeordnet. Nach Abschluss des Durchlaufs füllten die Probanden den *Presence Questionnaire* (PQ) von Witmer et al. 1998 zur Untersuchung der Präsenz in Papierform aus.

Eine Auswertung der Ergebnisse zeigte eine deutlich höheres Vergnügen der Teilnehmer in der Kondition des in das Spiel integrierten Fragebogens. Auch die nachträglich gemessene gefühlte Präsenz war bei dieser Kondition deutlich höher.



Quelle: Frommel et al. 2015

Abbildung 2.3 Integrierter Fragebogen von Frommel et al. 2015

Schwind et al. haben drei Studien veröffentlicht, in denen sie integrierte VR-Fragebögen verwendeten. Die ersten beiden Studien behandelten die Darstellung von Avatar-Händen in VR (Schwind et al. 2017b; Schwind et al. 2017a; Schwind et al. 2019).
In *"Where is Pinky?"* untersuchten sie die Auswirkung der Anzahl von dargestellten Fingern an der virtuellen Avatar-Hand auf die Präsenz und den empfundenen Realismus. In *"These are not my Hands!"* untersuchten sie die Auswirkung verschiedener grafischen Darstellungen inklusive geschlechterspezifischer Darstellung von virtuellen Avatar-Händen auf Präsenz und empfundenen Realismus. Um den Effekt der verschiedenen Darstellungen nicht zu unterbrechen, entwickelten sie einen integrierten Fragebogen, der in einer nachgebauten Umgebung des Testraumes situiert

war. Der Fragebogen wurde auf einem virtuellen Computerbildschirm präsentiert und die Fragen wurden jeweils einzeln angezeigt (Schwind et al. 2017a; Schwind et al. 2017b).

Aufbauend auf ihre vorherigen Studien, untersuchten Schwind et al. dieses Jahr die Auswirkungen von Fragebogenpräsentation in der Virtual Reality auf die Präsenz. Dazu entwickelten sie zwei virtuelle Umgebungen, in denen die Probanden ein Ego-Shooter-Szenario absolvieren sollten. Eine Umgebung war grafisch möglichst realistisch gestaltet und eine weitere bestand nur aus abstrakten Formen wie Würfeln, Quadern und Flächen. Nach Ausführung der Aufgabe in einer der Umgebungen füllten die Probanden einen von drei Präsenz-Standardfragebögen entweder außerhalb oder innerhalb der VR aus. Dabei wurde in eine virtuelle Umgebung gewechselt, die einen Nachbau des Testraumes darstellte und die Fragebögen auf einem virtuellen Bildschirm präsentierte (Abbildung 2.4). Die Fragen wurden einzeln nacheinander präsentiert. Dieser Vorgang wurde mit der zweiten Realismus-Kondition wiederholt. Abschließend füllten die Probanden einen NASA-TLX-Fragebogen mit explizitem Bezug auf die vorherigen Fragebogenpräsentionen aus, der den Aufwand der jeweiligen Methoden ermitteln sollte.

Schwind et al. kamen zu dem Schluss, dass die Art der Fragebogenpräsentation weder Einfluss auf die Ergebnisse der Präsenz-Fragebögen hatte, noch auf den empfunden Aufwand der Bearbeitung (Schwind et al. 2019).



Quelle: Schwind et al. 2019

Abbildung 2.4 Integrierter Fragebogen von Schwind et al. 2019

Während andere Studien mit individuell erstellten integrierten VR-Fragebögen meist die Auswirkung auf Präsenz untersuchen, beschäftigt sich diese Arbeit mit der generellen Verwendung von integrierten VR-Fragebögen und versucht, Anhaltspunkte für VR-Forscher für die Fragebogenpräsentation zu ermitteln oder vorzuschlagen. Wir bieten den Ansatz für eine einfache, möglichst universell anwendbare Methode, integrierte VR-Fragebögen zu erstellen und in bestehende Projekte einzubinden. Außerdem untersuchen wir mehrere Methoden der Interaktion und Platzierung und schließen darauf auf die Verwendbarkeit dieser Methoden für integrierte VR-Fragebögen.

Kapitel 3

Vorstudien

In diesem Kapitel untersuchen wir den Stand und Praktiken der Fragebogenverwendung in aktuellen Benutzerstudien. Wir führten zunächst eine Recherche der aktuellen wissenschaftlichen Veröffentlichungen durch. Um die darin gewonnenen Erkenntnisse zu verifizieren und um einen direkteren Einblick in Fragebogenverwendung in der Praxis zu bekommen, führten wir eine Online-Umfrage unter VR-Forschern durch.

3.1 Literaturstudie

3.1.1 Studiendesign

Um den aktuellen Stand des Fragebogeneinsatzes in Virtual Reality-Studien zu erfassen, führten wir eine Literaturstudie durch, in der wissenschaftliche Veröffentlichungen auf deren Erwähnung und Anwendung von Fragebögen bei Benutzerstudien analysiert wurden. Die Studien wurden ermittelt aus den Proceedings einschlägiger Konferenzreihen (ACM CHI, ACM CHI Play, ACM VRST und IEEE VR) zum Thema Mensch-Computer-Interaktion und VR-Forschung und -Entwicklung der Jahre 2016-2018. Es wurden diejenigen Studien ausgewählt, die die Benutzung von VR-Systemen, sowie die Durchführung einer Evaluation in Form einer empirischen Benutzerstudie erwähnen.

Insgesamt wurden 48 Veröffentlichungen (Tabelle A.1) analysiert. Untersucht wurde die generelle Verwendung von Fragebögen, die Art der Fragen, eventuell verwendete oder zugrunde liegende Standardfragebögen, die Art der Präsentation, ob Fragebögen zwischen mehreren Tasks präsentiert wurden, sowie die Teilnehmerzahl.

3.1.2 Ergebnisse

Von 48 Veröffentlichungen erwähnten 45 die Verwendung von Fragebögen. 39 Veröffentlichungen verwendeten Fragebögen mit Likert-Skalen, drei die Verwendung von Rangordnungen und drei die Verwendung von offenen Fragen. In acht Veröffentlichungen fehlte die Erwähnung der verwendeten Fragetypen.

26 Veröffentlichungen verwendeten Standard-Fragebögen oder adaptierten Fragen aus diesen. Die am Häufigsten erwähnten Fragebögen waren: Simulation Sickness Questionnaire (SSQ) (Kennedy et al. 1993) (7), Presence Questionnaire (PQ) (Witmer et al. 1998) (5) und Igroup Presence Questionnaire (IPQ) (Witmer et al. 1998) (5). Unter anderem wurden außerdem die Fragebögen Group Environment Questionnaire (GEQ) (Carron et al. 1985), Player Experience of Need Satisfaction (PENS) (Rigby et al. 2007), Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) (Crawford et al. 2004) und NASA Task Load Index (TLX) (Hart et al. 1988) verwendet. 26 Veröffentlichungen berichteten die Verwendung individuell gestalteter Fragebögen. Fünf Veröffentlichungen erwähnten die verwendeten Fragebögen nicht.

Nur 10 von 48 Veröffentlichungen erwähnten die Art der Fragebogenpräsentation. Fünf Veröffentlichungen erwähnten eine verbale Abarbeitung der Fragebögen, zwei die Präsentation auf einem separaten PC, zwei die Präsentation in der Virtual Reality und eine nutzte sowohl Präsentation am PC, als auch ein verbales Interview.

3.1.3 Zusammenfassung

Die Literaturstudie gewährt einen groben Überblick über die Verwendung von Fragebögen in VR. Es lässt sich erkennen, dass die Verwendung von Likert-Skalen eine hohe Verbreitung hat. Über die Hälfte der Veröffentlichungen geben an, Standard-Fragebögen zu verwenden. Da nur knapp über ein Fünftel der Veröffentlichungen die Art der Fragebogenpräsentation angibt, kann man über die Verbreitung der verschiedenen Präsentationsarten keine allgemeinen Schlüsse ziehen. In dieser Stichprobe haben sich jedoch zumindest zwei Veröffentlichungen gefunden, die die Verwendung integrierter Fragebögen erwähnt.

Um die aus der Literaturstudie gewonnenen Erkenntnisse zu verifizieren und die Dokumentationslücken der Fragebogenerstellung und -präsentation zu schließen, führten wir eine Online-Expertenumfrage unter VR-Forschern durch. Diese sollte den aktuellen Stand in der VR-Forschung besser und direkter widerspiegeln.

3.2 Umfrage unter Experten

3.2.1 Umfrage Design

In Zusammenarbeit mit den Betreuern dieser Arbeit haben wir eine Online-Expertenumfrage für VR-Forscher erstellt, welche allgemeine Vorgehensweisen von VR-Studien, sowie Erfahrungen und Umgang mit Virtual Reality-Fragebögen erfassen sollte. Die gestellten Fragen lassen sich in fünf Kategorien einteilen: Demographie, allgemeine Forschungspraktiken, VR-Forschungspraktiken und In-VR-Fragebogenerfahrung oder keine In-VR-Fragebogenerfahrung (je nach Angabe) (kompletter Fragenkatalog in A.2). Die Umfrage haben wir als Online-Formular erstellt und über das Internet verbreitet. Ein Teil der Verbreitung realisierten wir per Email an die Autoren der Papers der vorherigen Literaturstudie. Weitere Teilnehmer erreichten wir über Social Media. Die Umfrage konnte in einem Zeitraum von sechs Wochen im Juli und August 2018 beantwortet werden (Putze et al. o.D.).

An der Studie haben 74 Experten teilgenommen. Die Auswertung führten wir zusammen mit den Betreuern durch. Wir sortierten vier Teilnehmer aus, die in den letzten 24 Stunden keine VR-Forschung betrieben haben und drei weitere, die angaben, generell keine Fragebögen zu benutzen, was die ausgewerteten Antworten auf 67 reduziert.

3.2.2 Auswertung

Demographie

An der Umfrage haben Experten aus 13 Ländern teilgenommen (Fragen-ID: Q3). 20 Teilnehmer kamen aus Deutschland, jeweils neun aus den USA und aus Portugal, und jeweils vier aus Frankreich und Dänemark. Auf die Frage nach dem beruflichen Stand (Q2) gaben die Teilnehmer folgende Positionen an: 22 Doktoranden, 16 Professoren, 10 Studenten ohne Abschluss und acht Post-Docs (Abbildung 3.1). Die restlichen Teilnehmer gaben an, individuelle Antworten wie Masterstudent oder Versuchsingenieur. Auf einer Likert-Skala von 0-5 bewerteten die Teilnehmer ihre Erfahrungen in Benutzerstudiendesign (Q4) mit M=3.76, SD=1.18. Nach der Frage der durchgeführten Benutzerstudien im Bereich Virtual Reality in den letzten 24 Monaten (Q9) gaben 56 Teilnehmer an, 1-5 Studien durchgeführt zu haben. Acht gaben an, 6-10 durchgeführt zu haben und drei mehr als 10.

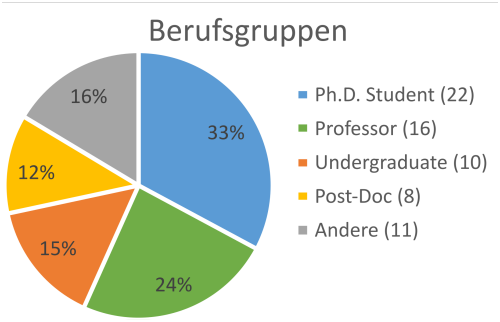


Abbildung 3.1 *Q2:* Which position do you hold?

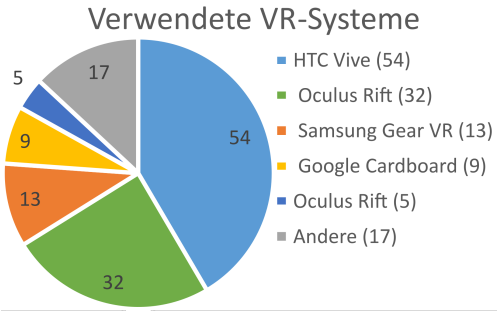


Abbildung 3.2 *Q10:* Which VR systems did you use for your research during the last 24 months?

VR-Forschungspraktiken

Das unter den Teilnehmern meistgenutzte VR-System ist die *HTC Vive* (55), gefolgt von *Occulus Rift* (37) (Q10). Außerdem wurden mobile Systeme für die Benutzung mit einem Smartphone verwendet (*Samsung Gear VR* (15) und *Google Cardboard*). Nur vier Teilnehmer gaben an, keine HTC Vive oder Occulus Rift für ihre Studien zu verwenden (Abbildung 3.2).

Auf die Frage, welche Art der Fragebogenpräsentation die Teilnehmer hauptrangig nutzen würden (Q13), antworteten 29 mit Präsentation auf einem separaten Bildschirm (z.B. PC, Tablet, Mobile Geräte), 21 mit Präsentation in Form eines Papier-Fragebogens und sechs gaben an, in VR eingebettete Fragebögen zu verwenden. Die restlichen neun Teilnehmer gaben an entweder mehrere Arten zu benutzen, oder dass die Wahl der Fragebögen stark von dem Studiendesign abhinge (Abbildung 3.3).

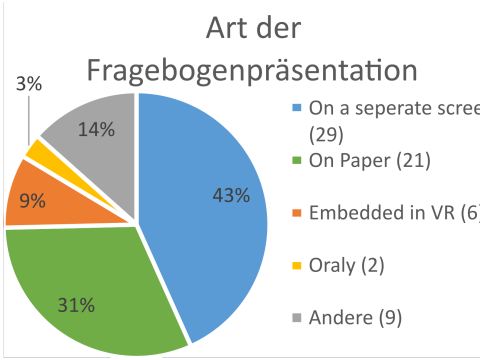


Abbildung 3.3 *Q13:* How do you usually present questionnaires in VR studies?

Die Teilnehmer gaben an, vorwiegend validierte Standard-Fragebögen zu benutzen (Q14). Nur

sieben Teilnehmer gaben an, in den letzten 24 Monaten ausschließlich individuelle Fragebögen zu benutzen. Allerdings gaben 31 Teilnehmer an, auch mit individuellen Fragebögen zu arbeiten. Die am häufigsten erwähnten Standardfragebögen waren: SSQ (39), PQ (32), NASA-TLX (23) und System Usability Scale (SUS) (17) (Abbildung 3.4).

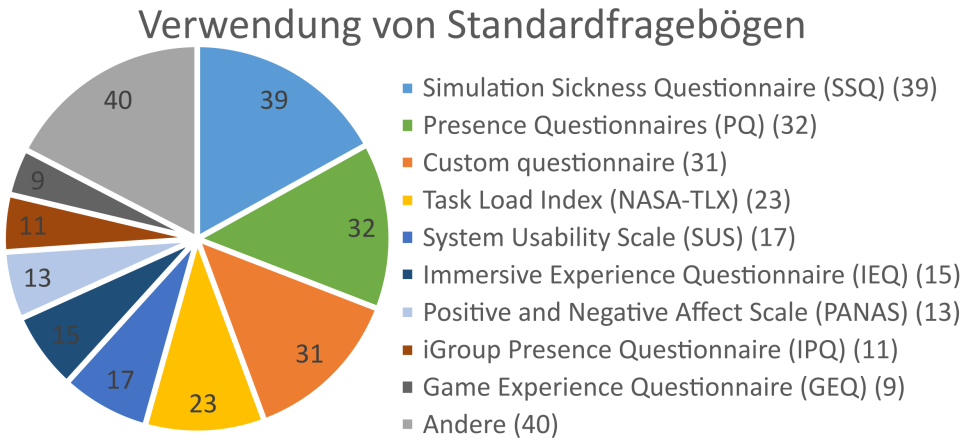


Abbildung 3.4 *Q14:* Which questionnaires did you use in your VR studies during the last 24 months?

Die daran angelehnte Frage, welche Fragetypen in den benutzten Fragebögen verwendet werden (Q15), beantworteten die Teilnehmer wie folgt: 60 Teilnehmer gaben an, skalierte Fragen zu benutzen. 42 nutzen offene Fragen, 33 Multiple Choice-Fragen, 29 Ja- oder Nein-Fragen und 18 Single Choice-Fragen (Abbildung 3.5).

Der größte Teil der Teilnehmer (56.7%) hat noch keine in Virtual Reality eingebetteten Fragebögen benutzt (Q18). 25 Teilnehmer gaben an, schon komplett interaktive Fragebögen in VR benutzt zu haben (Fragebogenpräsentation und -beantwortung in VR). Fünf Teilnehmer berichteten die Verwendung von visueller Präsentation von Fragebögen in VR, aber mündliche Beantwortung (Abbildung 3.6).

Auf einer Likert-Skala von 0 bis 6 werteten die Teilnehmer die Nützlichkeit integrierter VR-Fragebögen mit M=2.97, SD=1.58.

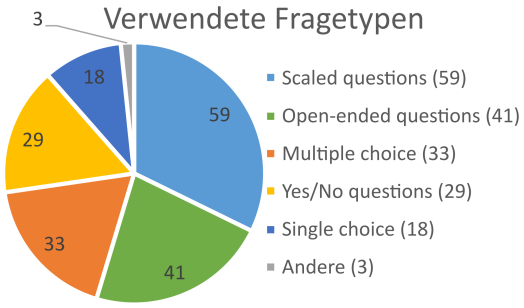


Abbildung 3.5 *Q15:* Which types of questions did you use in your questionnaires in VR studies during the last 24 months?

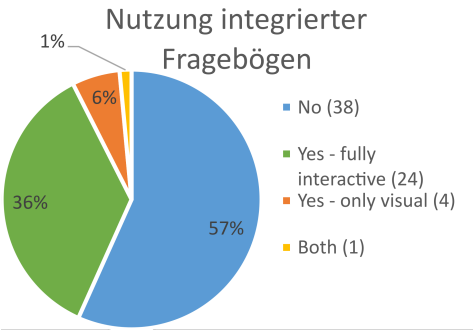


Abbildung 3.6 *Q18:* Have you ever embedded questionnaires in your VR environment?

Nutzer von In-VR-Fragebögen

Von den 29 Teilnehmer, die angaben integrierte VR-Fragebögen zu benutzen, beschrieben 25 ihr Design ausführlicher (Q19). 14 Teilnehmer präsentierten die Fragebögen als schwebende Fläche in Welt. Vier gaben an, ein 2D-User-Interface zu benutzen, welches vermutlich die virtuelle Umgebung überlagerte und fest an das Sichtfenster gekoppelt war. Vier Teilnehmer antworteten, dass sie immer nur eine Frage zur Zeit präsentierten. Die meisten Teilnehmer (14) berichteten, keine Schwierigkeiten bei der Benutzung integrierter VR-Fragebögen durch die Probanden beobachtet zu haben. Acht Teilnehmer berichteten, dass die Usability (4) und die Dauer der Beantwortung (4) die hauptsächlichen Schwierigkeiten darstellten (Putze et al. o.D.).

Nutzer regulärer Fragebögen

Teilnehmer, die angaben, noch keine integrierten VR-Fragebögen benutzt zu haben, wurden gebeten, Gründe dafür anzugeben (Q21). 19 gaben an, diese für nicht nützlich zu halten. 12 Teilnehmer gaben technische Schwierigkeiten oder hohen Zeitaufwand für die Erstellung an. Sechs Teilnehmer erwähnten Usability Probleme und ein Teilnehmer nannte alle diese Gründe. Auf die Bitte, ihre Meinungen weiter zu erläutern, antworteten die Teilnehmer, dass die Bereitschaft, Fragen zu beantworten gehemmt wäre, da Interaktion mit User Interfaces in VR frustrierender wäre und länger dauern würde, als die Interaktion mit Desktopsystemen. Vor allem bei Texteingaben sahen sie ein großes Problem. Erwähnt wurde auch ein möglicher Einfluss auf die Ergebnisse der Fragebögen, da Probanden dazu tendieren könnten, die am einfachsten auswählbare Antwort zu präferieren. Sowohl ein längerer Zeitaufwand für die Implementation, als auch eine längere Tra-

gezeit der Head-Mounted-Displays (HMDs) wurde als Problem genannt, da bei längeren Studien das Tragen des HMDs anstrengend und unangenehm werden kann (Putze et al. o.D.).

3.3 Zusammenfassung

Während die vorhergehende Literaturstudie wenig Aufschluss über die Verwendung integrierter VR-Fragebögen gegeben hat, konnte die Expertenumfrage eine recht hohe Verbreitung der Benutzung integrierter VR-Fragebögen zeigen. 43.3% der Teilnehmer gab an, integrierte VR-Fragebögen benutzt zu haben. Insgesamt konnte allerdings kein allgemeiner Standard in der Fragebogenpräsentation ermittelt werden. Einige Experten äußerten Vorbehalte gegenüber der Verwendung integrierter VR-Fragebögen. Genannte Gründe hierfür waren unter anderem Implementationsaufwand, Usabilityprobleme und möglicher Einfluss auf die Ergebnisse der Fragebögen.

Kapitel 4

Design und Implementierung

Die Vorstudien haben gezeigt, dass grundlegendes Interesse an integrierten VR-Fragebögen in der Forschung besteht. Eingehend auf die genannten Bedenken der VR-Forscher entwickelten wir die Idee eines Fragebogenerstellungstools für integrierte VR-Fragebögen. Dieses soll technische Probleme und Zeitaufwand bei der Implementierung eigener integrierter VR-Fragebögen umgehen, sowie eine Zentralisierung des Datenflusses von VR-Studien realisieren.

4.1 Anforderungen

Aus den Ergebnissen der Vorstudie und den Empfehlungen der Fachliteratur für das Design von VR-Interaktion erstellten wir eine Liste an Anforderungen, die ein VR-Fragebogenerstellungstool erfüllen sollte.

Das Tool soll eine einfache Einbindbarkeit in bestehende VR-Projekte und -Umgebungen ermöglichen. Eine unkomplizierte Erstellung individueller Fragebögen soll möglich sein. Es soll die gängigsten Fragetypen unterstützen. Aufgrund der Heterogenität heutiger VR-Studien, sowie dem Fehlen eindeutiger Designstandards in der VR-Entwicklung, soll es mehrere Interaktionsmöglichkeiten und mehrere Kontextvarianten unterstützen. Durch die Einbindung in ein Projekt soll es den Datenfluss von VR-Studien vereinfachen und zentralisieren.

4.2 Design

4.2.1 Fragebogen

Die Recherche der Fachliteratur und der verwandten Arbeiten hat ergeben, dass die Adaption von 2D-Menüs die verbreitetste Form der VR-Menü-Integration ist. Es gibt viele verschiedene Formen der 2D-Menü-Adaption. Für die Implementierung des Tools entschieden wir uns, die Papierfragebogenmetapher als Designgrundlage zu verwenden und somit gleichzeitig die, von Desktop-PCs gewohnte, Menüstruktur zu übernehmen.

4.2.2 Fragebogenerstellung durch JSON

Die Fragebogenerstellung erfolgt textuell in Form einer JavaScript Object Notation (JSON)-Datei. In dieser JSON-Datei kann der Anwender Fragetyp, -ID und Antwortmöglichkeiten spezifizieren. Unterstützt werden die üblichen Fragebogen-Fragentypen Radio, Radiolist (Single und Multiple Choice), Slider und Dropdown-Menüs (Listing 4.1). Die erstellten JSON-Dateien sind einfach über den Inspektor oder per Skript dem Fragebogen-Tool zuzufügen. Hierbei entspricht jede JSON-Datei einer Fragebogenseite.

```
{
  "title":"Testionnaire A",
  "questions": [
      {"id": "TA1", "questiontype":"radiolist", "question":"Wer war der erste Mensch auf dem
          Mond?", "labels":["Neil Armstrong","Barack Obama","Madonna","O.J. Simpson"]},
      {"id": "TA2", "questiontype":"dropdown", "question":"Welcher Tag kommt nach Samstag?", "
          labels":["Montag","Mittwoch","Sonntag","Freitag"]},
      {"id": "TA3", "questiontype":"slider", "question":"Wie viele Tage hat eine Woche?", "
          minValue": 0, "maxValue": 10,"left":"0", "right":"10"},
      {"id": "TA4", "questiontype":"radio", "question":"Was beschreibt einen Elefanten am Besten
          ?", "numberButtons": 4, "labels":["dünn","dick","haarig","klein"]},
      {"id": "TA5", "questiontype":"radiolist", "question":"Welche Zahlen sind kleiner als 3?",
          "multipleChoice": true, "labels":["4","1","8","2","0"]}
         ]
}
```

Listing 4.1 Beispiel Fragebogen in JSON-Format

Ist der Fragebogen im JSON-Format erstellt und eingelesen und die gewünschten Konditionen ausgewählt, kann über Ausführen des Projektes die Erstellung des Fragebogens eingeleitet werden. Das Fragebogen-Tool liest hierbei aus der JSON-Datei den spezifizierten Fragetyp, instanziiert das entsprechende Fragenobjekt und füllt dieses mit dem, in der JSON-Datei spezifizierten, Inhalt.

Wurde ein Fragebogentitel angegeben, wird ein entsprechendes Textelement über dem Fragebogen eingefügt. Wurden mehrere JSON-Dateien eingelesen, wird pro Datei eine Seite erstellt und

am Ende jeder Seite zwei Buttons eingefügt, um zwischen den Seiten hin und her navigieren zu können.

4.2.3 Fragetypen und Parameter

Die Auswahl der unterstützen Fragetypen richtete sich nach den allgemeinen Standards der digitalen Fragebogenpräsentation, unter anderem vorgeschlagen von LimeSurvey (GmbH 2019) oder Google Forms (LLC 2019). Aufgrund standardmäßig eingeschränkter Eingabemodalitäten in Virtual Reality bei Benutzung von VR-Controllern wurden Freitextfelder nicht implementiert. Da der User von konventionellen Texteingabegeräten wie Tastatur abgeschnitten ist, ist Texteingabe in VR meist aufwendig und langwierig. SteamVR zum Beispiel realisiert Texteingabe durch eine virtuelle Tastatur, auf der man aufeinander folgende Buchstabenselektionen durchführt.

Radio

Radio steht für eine horizontale Aneinanderreihung von Radio-Buttons. Dies sind einfache Buttons, die sich entweder im ausgewählten oder im nicht ausgewählten Zustand befinden können. Nach Spezifizierung können hier jeweils nur ein Button (Single Choice) oder mehrere Buttons (Multiple Choice) gleichzeitig aktiviert sein (Listing 4.2, Abbildung 4.1).

Folgende Parameter können in der JSON-Datei übergeben werden:

```
{"id": ID der Frage (String), "questiontype": "radio", "question":
    Fragetext (String), "numberbuttons": Buttonanzahl (positives int),
abels": ["Label 1", "Label 2", "Label 3", ... , "Label n"] (String[]), "
    multipleChoice": true/false (bool)}
```

Listing 4.2 Parameter Fragetyp Radio in JSON-Format

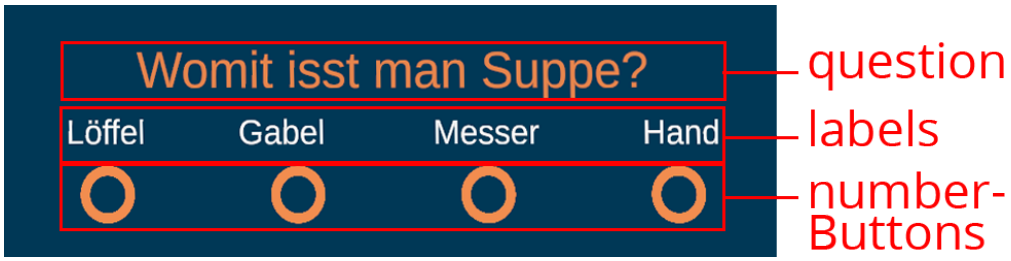


Abbildung 4.1 Design von Radio-Fragen

Radiolist

Eine Radiolist ist eine vertikale Aneinanderreihung von Radio-Buttons. Je nach Spezifizierung können hier jeweils nur ein Button (Single Choice) oder mehrere Buttons (Multiple Choice) gleichzeitig aktiviert sein. Buttons sind hier zwingend mit einem Label verknüpft (Listing 4.3, Abbildung 4.2).

```
{"id": ID der Frage (String), "questiontype": "radiolist", "question":
    Fragetext (String), "labels": ["Label 1", "Label 2", "Label 3", ... ,
    "Label n"] (String[]), "multipleChoice": true/false (bool)}
```

Listing 4.3 Parameter Fragetyp Radiolist in JSON-Format

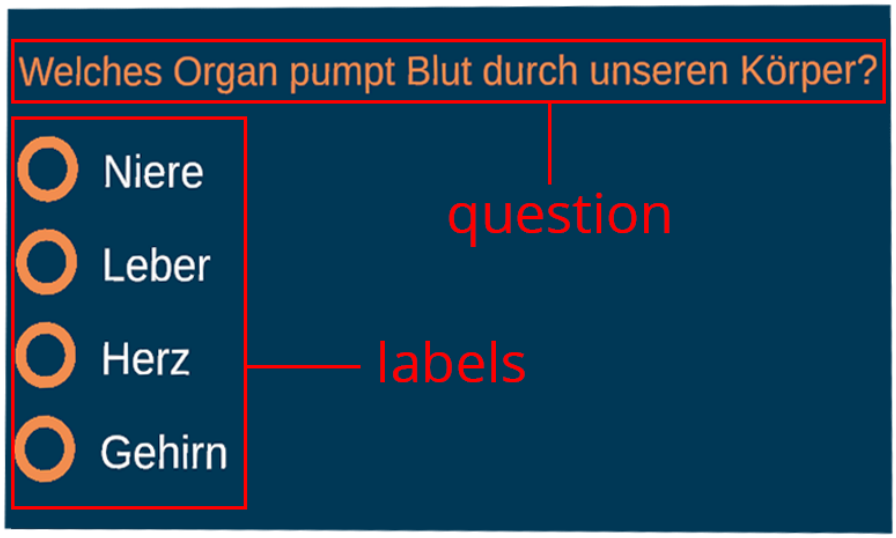


Abbildung 4.2 Design von Radiolist-Fragen

Slider

Slider sind verstellbare Schieberegler. In einem vorher angegebenen Intervall können durch Bewegen des Reglers Zahlenwerte eingestellt werden. Die untere Grenze des Intervalls befindet sich auf der linken, die obere auf der rechten Seite (Listing 4.4, Abbildung 4.3).

```
{"id": ID der Frage (String), "questiontype": "slider", "question":
    Fragetext (String), "minvalue": untere Grenze (int), "maxvalue": obere
     Grenze (int), "left": Label untere Grenze (String), "right": Label
    obere Grenze (String)}
```

Listing 4.4 Parameter Fragetyp Slider in JSON-Format

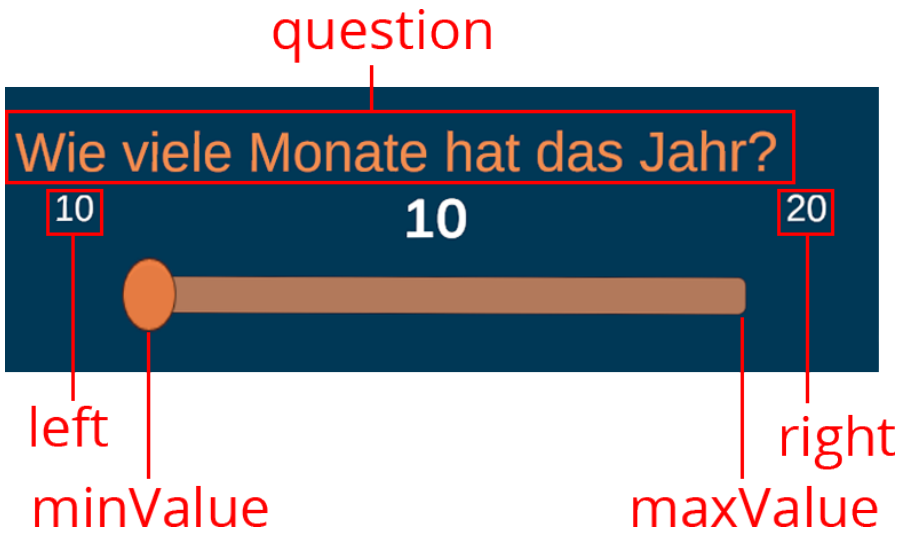


Abbildung 4.3 Design von Slider-Fragen

Dropdown-Menü

Dropdown-Menüs bestehen aus einem Button, welcher bei Betätigung eine Liste von Optionen ausklappt. Wird eine Option ausgewählt, klappt die Liste wieder ein und die ausgewählte Option wird auf dem Button angezeigt (Listing 4.5, Abbildung 4.4).

```
{"id": ID der Frage (String), "questiontype": "dropdown", "question":
    Fragetext (String), "labels": ["Label 1", "Label 2", "Label 3", ... ,
    "Label n"] (String[])}
```

Listing 4.5 Parameter Dropdown in JSON-Format

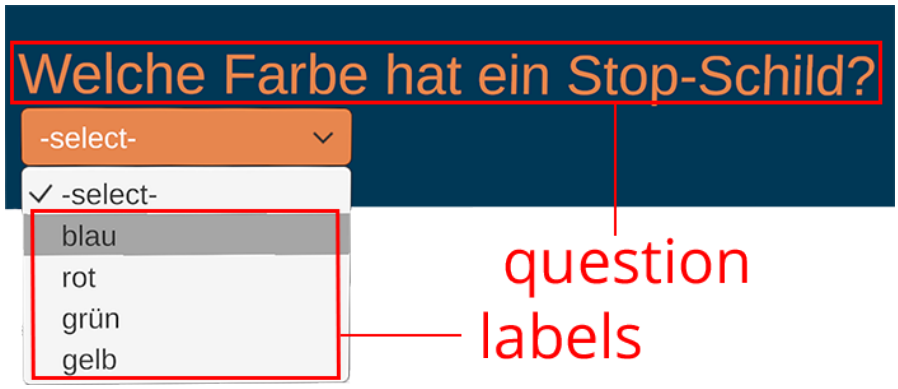


Abbildung 4.4 Design von Dropdown-Fragen

4.2.4 Interaktionsformen

Wir setzen die in Kapitel 2.1.1 vorgestellten, von der Fachliteratur und aktuellen Studien empfohlenen Interaktionsformen mit VR-Menüs um: die Verwendung von Laserpointern und die Steuerung mit Touchpad.

Der Laserpointer geht von der Spitze des Controllers aus und bildet eine Verlängerung des Griffes. Mit Hilfe dieses Laserpointers können die verschiedenen Bedienelemente wie Buttons, Slider und Dropdown-Menüs markiert werden (Abbildung 4.5). Durch Drücken des Controller-Abzuges werden diese Elemente dann aktiviert/ausgewählt.

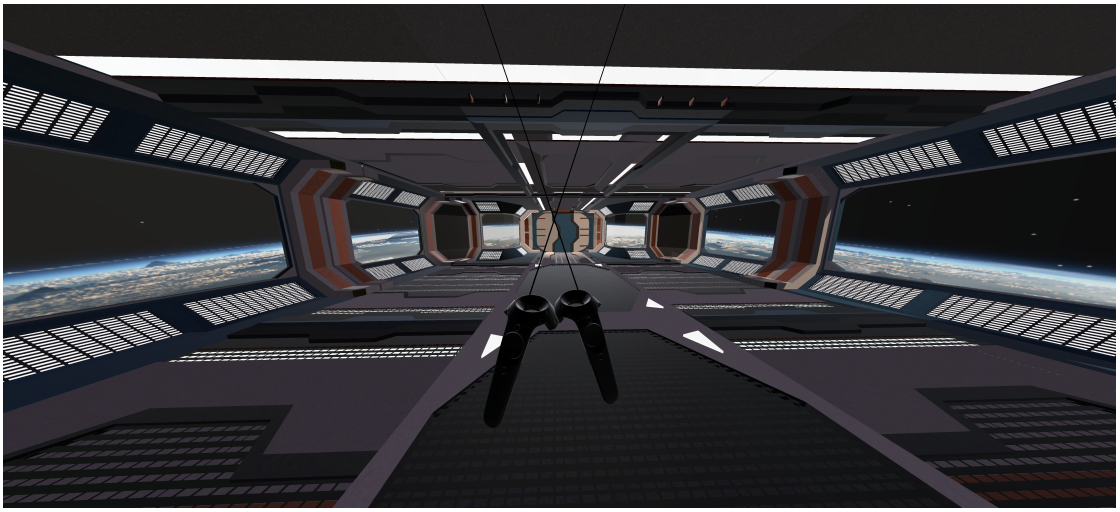


Abbildung 4.5 Laserpointer in der virtuellen Umgebung

Die Interaktion mit Hilfe des Touchpads funktioniert ähnlich einem Steuerkreuz eines Gamepads. Durch Drücken in den Randregionen des Touchpads werden 4 verschiedene Richtungen unterschieden: oben, unten, links und rechts. Das Drücken der Mitte des Touchpads funktioniert hier analog zum Betätigen des Abzugs. Die Navigation durch die verschiedenen Fragen wird hier über die 'Oben'- und 'Unten'-Richtungen vorgenommen, die Navigation durch die Antwortmöglichkeiten durch die 'Links'- und 'Rechts'-Richtungen (Abbildung 4.6).



Abbildung 4.6 Menünavigation mit Touchpad

4.2.5 Kontextformen

Wir setzen zwei, ebenfalls in Kapitel 2.1.1 erwähnte, von der Fachliteratur vorgeschlagene, Kontextformen der Menü-Präsentation in virtuellen Umgebungen um: die Positionierung des Fragebogens in der Welt und die Anheftung des Fragebogens an ein Körperteil - in diesem Falle die Bewegung der Hand.

In der Kontextform 'World' ist der Fragebogen an einer festen Position, frei im Raum schwebend in der Welt verankert (Abbildung 4.7).



Abbildung 4.7 Fragebogen in der Welt verankert

In der Kontextform 'Body' ist der Fragebogen leicht nach vorn versetzt und geneigt vor dem linken Controller platziert, so dass, wenn der Controller locker in der Hand gehalten wird, der Fragebogen senkrecht zum Boden steht. Der Fragebogen lässt sich mit fester, relativer Distanz und Rotation zu dem Controller mit diesem bewegen. Bei Paarung mit der Interaktionsform 'Pointer' ist der Laserpointer des linken Controllers ausgeschaltet und aus ergonomischen Gründen der Laserpointer des rechten, bedienenden Controllers um 45° nach unten geneigt, da man sonst auf die kürzere Distanz den bedienenden Arm in einem entsprechend unangenehmeren Winkel halten müsste (Abbildung 4.8).

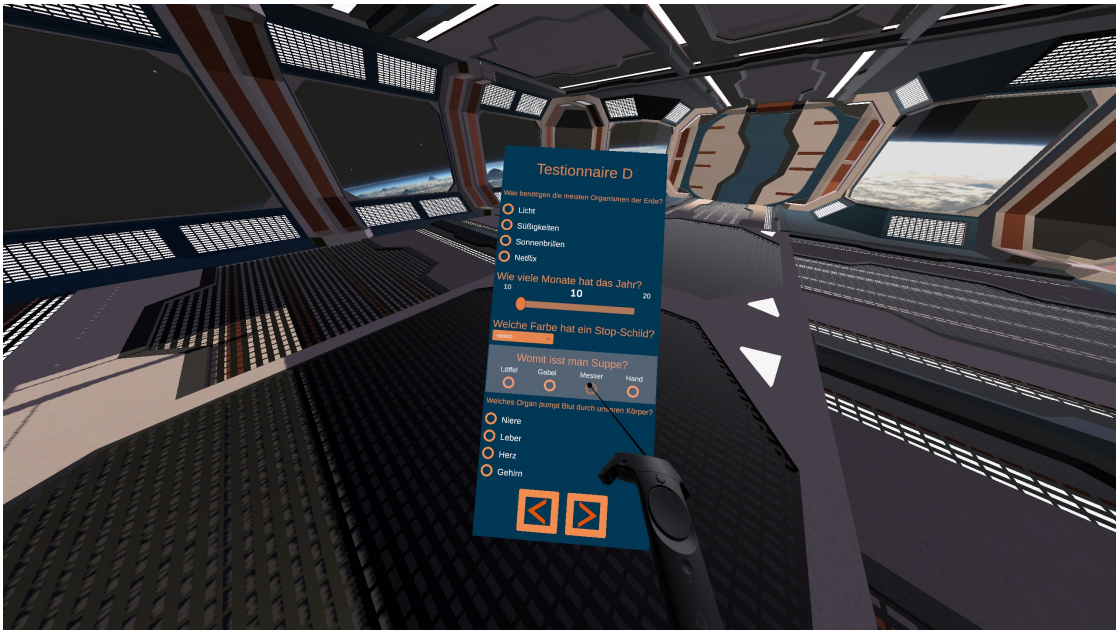


Abbildung 4.8 Fragebogen am Controller verankert mit Laserpointer

4.2.6 Ausgabe

Die Erfassung der gegebenen Antworten und der getätigten Interaktionen erfolgt automatisch nach Beenden der Fragebogeninstanz oder kann frühzeitig ausgelöst werden.

Die Antworten werden pro Seite textuell in einer JSON-Datei zusammengeführt. Die Logging-Daten werden über die gesamte Fragebogenbearbeitung erhoben und in einer CSV-Datei tabellarisch chronologisch aufgeführt.

4.2.6.1 Antworten

Die aus den Antworten erstellten JSON-Dateien werden in dem Ordner 'Assets/Resources/Output/' gespeichert. Der Dateiname kann entweder vorher bestimmt werden oder wird automatisch aus dem Titel des Fragebogens generiert. Angelehnt an die JSON-Formatierung der Fragebogenerstellungsdateien werden die in Listing 4.6 gezeigten Attribute ausgegeben.

```
{"id": ID der Frage (String), "questiontype": Typ der Frage (String),
nswered", true/false (bool), ...
```

Listing 4.6 Attribute der Antworten in JSON-Format

Radio:

```
...,"labels": ursprüngliche Labels der Buttons (String[]), "value": Index
    des ausgewählten Buttons (int), "multipleChoice": true/false (bool)}
```

Radiolist:

```
..., "label": [gegebene Antwort/en] (String[]), "multipleChoice": true/
    false (bool)}
```

Slider:

```
..., "value": eingestellter Sliderwert (float), "multipleChoice": true/
    false (bool)}
```

Dropdown:

```
..., "label": ausgewählte Antwort (String)}
```

4.2.6.2 Logging-Daten

Die erfassten Logging-Daten werden ebenfalls in dem Ordner 'Assets/Resources/Output/' gespeichert. Der Name der jeweiligen CSV-Datei besteht aus dem String 'log', dem aktuellen Datum, sowie der präzisen Uhrzeit der Erstellung. In Tabelle 4.1 sind die erfassten Ereignisse aufgelistet.

Tabelle 4.1 Liste der erfassten Ereignisse

Selection	Markierung (durch Zeigen des Pointers oder Navigieren mit dem Touchpad) klickbarer Elemente (Buttons, Slider, Dropdown(-Optionen))
QuestionChange	Markierungswechsel zwischen Fragen
TriggerClick	Betätigen des Controller-Abzuges
PadClick	Klick in der Touchpad-Mitte
SliderChange	Einmalige Sliderwertänderung
SliderChangeStart	Beginn einer Sliderbewegung durch Laserpointer
SliderChangeEnd	Ende einer Sliderbewegung durch Laserpointer

In Tabelle 4.2 sind die erfassten Informationen aufgelistet. Tabelle 4.3 zeigt ein Beispiel für einen Logeintrag.

Tabelle 4.2 Liste der erfassten Informationen

Context (String)	gewählter Kontext (Body oder World)
Interaction (String)	gewählte Interaktionsform (Touchpad oder Laserpointer)
EventNumber (Integer)	ID des Ereignisses - durchgehend nummeriert
Time (String)	Zeitstempel im Format ”mm:ss:SSS”
EventType (String)	Art des ausgelösten Ereignisses
selected QuestionType (String)	der derzeit markierte Fragetyp
selected QuestionID (String)	ID der derzeit markierten Frage
OptionNo (Integer)	Index der derzeit markierten Antwort
OptionText (String)	das Label der derzeit markierten Antwort
Page (Integer)	die aktuelle Fragebogenseite

Tabelle 4.3 Beispiel für einen Logeintrag

Context	Interaction	#	Time	EventType	selected QuestionType	selected QuestionID	OptionNo	OptionText	Page
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
World	Laserpointer	13	00:08:477	Selection	Dropdown	TC1	4	Nase	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

4.3 Implementierung

Das Tool ist entwickelt mit und für Unity (v.2018.1.0f2)[1], die verbreitetste multiplattform Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für Computerspiele und VR/AR-Anwendungen (Ritter et al. 2015). Wir verwendeten zudem die HTC Vive, welche als eines der besten, derzeitig frei erwerblichen VR-Systeme gehandelt wird (Vergara et al. 2017). Die HTC Vive besitzt über SteamVR (v.1.2.7)[2] und dem, von OpenVR SDK von Valve zur Verfügung stehende, Unity-SteamVR-Plugin (v.1.2.3)[3], eine gute Einbindung in Unity. Zusätzlich wurde das TextMeshPro-Plugin

[1]Unity: *https://unity3d.com/* (abgerufen am 26.02.2019)
[2]SteamVR: *https://steamcommunity.com/steamvr* (abgerufen am 26.02.2019)
[3]SteamVR-Plugin: *https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647* (abgerufen am 26.02.2019)

(v1.0.54)[4] in Unity verwendet, welches eine hochauflösende Darstellung von Texten ermöglicht.

4.3.1 Instanziierung des Fragebogens

Unity bietet die Möglichkeit, sogenannte *Prefabs* zu erstellen. Dies sind vorgefertigte Objekte, die unter anderem wiederum eine Hierarchie von Objekten darstellen, mit Skripten und Parametereinstellung versehen, oder Darstellungseigenschaften besitzen können. Für das Fragebogentool wurden Prefabs verwendet, die die User Interface (UI)-Struktur und das Aussehen des Fragebogens vorgeben.

Der Fragebogen kann als vorgefertigtes Prefab in der Unity-Szene platziert werden. Das Prefab beinhaltet eine leere Fragenliste, sowie alle nötigen Skripte für die Erstellung von Fragebögen aus JSON-Dateien.

Das JSON-Dateiformat ermöglicht es, Datenobjekte mit Attribut-Wert-Paaren und Array-Datentypen in textueller Form zu beschreiben. Die Unity Engine bietet mit der Klasse JsonUtility Methoden zur Serialisierung und Deserialisierung von JSON-Dateien. Damit lassen sich aus JSON-Dateien Objekte mit Attributen erstellen. In unserem Instanziierungsskript wird aus einer JSON-Datei ein Fragebogenobjekt erstellt, welches ein Array von Fragenobjekten als Attribut besitzt. Über dieses Array wird iteriert und die Fragenobjekte je nach Fragetyp weiterbehandelt. Für jeden Fragetyp gibt es ein vorgefertigtes Unity-Prefab, welches das Design des Fragetyps vorgibt. Jedem Prefab ist ein individuelles Skript angehängt, welches für die korrekte Verarbeitung der Frageattribute zuständig ist. Wird eine Frage eingelesen, wird das entsprechende Prefab instanziiert und das Frageobjekt an die Instanziierungsmethode weitergegeben. Diese Methode liest die Spezifikationen der Frage aus den Attributen und füllt das Prefab mit den entsprechenden Informationen. Hierbei werden Textfelder gefüllt, Buttons aus weiteren Prefabs initialisiert und eingefügt, Sliderintervalle festgelegt und hierarchische Verknüpfungen etabliert. Weitere Daten wie zum Beispiel die Frage-ID werden direkt in den, an die Prefabs angehängten, Skripten als Attribut gespeichert.

Das instanziierte Prefab wird der Fragenliste des Fragebogen-Prefabs angehängt und dieser Vorgang für das nächste Fragenobjekt wiederholt.

4.3.2 Datenexport

Zum Auslesen der Daten iteriert ein Datenleseskript über alle vorhandenen Fragelisten (Seiten) und alle, in den jeweiligen Fragenlisten vorhandene Fragenobjekte und führt die darauf vorhande-

[4] TextMesh Pro: *https://assetstore.unity.com/packages/essentials/beta-projects/textmesh-pro-84126* (abgerufen am 26.02.2019)

nen Auslesemethoden aus. Diese finden auf den Frageobjekten die jeweils markierten Antworten, Antwortbeschriftung und Werte und erstellen daraus ein Antwortobjekt, welches an das Datenleseskript zurückgegeben wird. Dieses Antwortobjekt wird mit Hilfe der JsonUtility-Klasse serialisiert und dem Ausgabestring hinzugefügt.

Dieser Vorgang wird für alle in der Fragenliste vorhandenen Objekte wiederholt. Anschließend wird aus dem Ausgabestring eine JSON-Datei geschrieben und in dem Ordner 'Assets/Resources/Output/' gespeichert.

Sind mehrere Seiten instanziiert worden, wird für jede Seite eine eigene Datei angelegt.

4.3.3 Interaktion mit dem User Interfaces

Das unityeigene Input Module verwaltet die Eingaben gängiger Eingabesysteme wie Tastatur, Maus, Gamepads und Joysticks. Diese Eingaben werden innerhalb des Input Modules verarbeitet und in vorgegebene Aktionen umgesetzt. Bestes Beispiel hierfür ist die klassische First Person-Steuerung mit Mausbewegung zum Umgucken und den Tasten 'W' und 'S' zum Vorwärts- und Rückwärtsnavigieren, sowie 'A' und 'D' zum Seitwärtsnavigieren. Unity verbindet hier die Tasten mit Bewegungs- und Richtungsbefehlen. Das SteamVR Plugin bietet zwar eine rudimentäre Anbindung an das Input Module, unterstützt allerdings nicht die für unser Tool gewünschte UI-Interaktion mit Laserpointer und Touchpad. Daher war es nötig, eine eigene UI-Navigation, ein eigenes Input Module und einen eigenen Laserpointer zu implementieren.

Die implementierte UI-Navigation ermöglicht die Fragebogeninteraktion mit Laserpointer und Touchpad. Sie implementiert die Auswahl und Manipulation von UI-Buttons, -Slidern und Dropdown-Menüs.

4.4 Zusammenfassung

Das entwickelte Fragebogentool ermöglicht eine unkomplizierte Erstellung und Einbindung von anwenderdefinierten Fragebögen in virtuelle Umgebungen in der Spiele-Engine Unity. Es unterstützt die gängigen Fragetypen Radio, Radiolist, Slider und Dropdown. Es vereinfacht und zentralisiert den Datenfluss bei durchzuführenden VR-Studien, indem es Antworten automatisch erfasst und ausgiebt. Es bietet die Möglichkeit zwischen verschiedenen Interaktions- und Kontextformen zu wählen. Implementierte Interaktionsformen sind die Bedienung mit Laserpointer oder mit Touchpad. Es besteht die Möglichkeit, beide Interaktionsformen auf einmal zu benutzen.

Wählbare Kontextformen sind die feste Verankerung des Fragebogens im Raum oder Verankerung an einem Controller. Außerdem bietet es die Möglichkeit, automatisch alle Interaktionen mit den präsentierten Fragebögen zu dokumentieren.

Kapitel 5

Expertenevaluation

Eines der Hauptbedenken der in Kapitel 3.2 befragten Experten war die Usability integrierter VR-Fragebögen. Nach Abschluss der Implementierung des Tools führten wir eine Expertenevaluation durch. Diese dient dazu, die Usability der verschiedenen Konditionen zu erfassen, Designentscheidungen zu verifizieren und um etwaige Probleme, die die spätere Benutzung erschweren, aufzudecken. Mit Hilfe von Fragebögen wurde die jeweilige Usability ermittelt, und in einem anschließenden Interview wurden Design- und Funktionalitätsfragen geklärt, sowie Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge aufgenommen.

5.1 Design der Evaluation

Die Evaluation nutzte ein Within-Subject Design mit 2 unabhängigen Variablen. Interaktionsform und Kontext hatten jeweils zwei Konditionen. Feste Parameter waren die gestellten Aufgaben und der Ablauf der Aufgaben, Unabhängige Variablen die verschiedenen Formen der Interaktion und des Kontextes. Abhängige Variablen waren einerseits objektive Daten wie die Dauer des Fragebogens, die Fehlerrate der Antworten, Anzahl der Klicks und ausgelösten Events, sowie die Ergebnisse der SUS-Fragebögen als subjektive Daten.

Virtuelle Umgebung

Alle Durchläufe wurden in einer speziell für diese Evaluation erstellen virtuellen Umgebung durchgeführt. Diese stellte eine Science-Fiction-Raumstation im Orbit der Erde dar und wurde erstellt unter Zuhilfenahme des *Sci-Fi Styled Modular Pack* v1.1 (KARBOOSX 2018) und der Skybox aus dem Paket *Skybox Series Free* v4.2 (AVIONIX 2018) (Abbildung 5.1). Beide sind kostenlos erhältlich im Unity-Asset-Store.

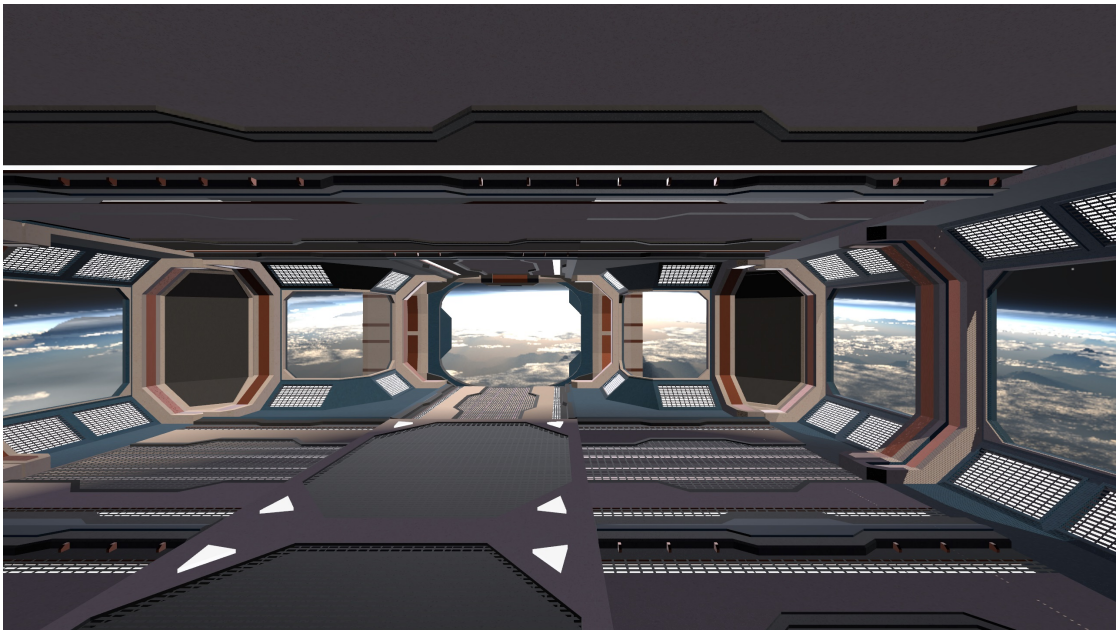
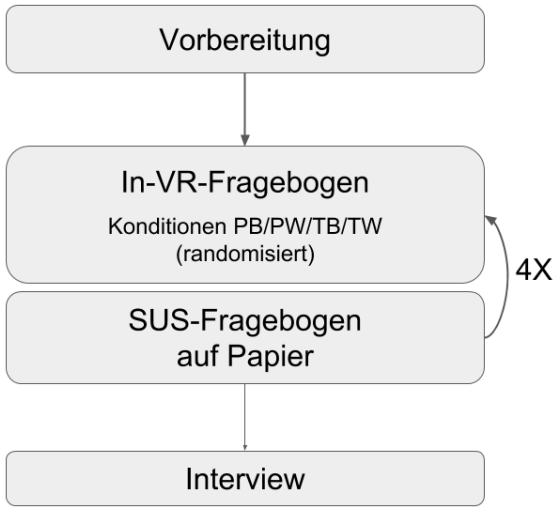


Abbildung 5.1 Erstellte virtuelle Umgebung mit Skybox

5.2 Ablauf

Der Ablauf der Evaluation lässt sich in drei Phasen einteilen (Abbildung 5.2). In der Vorbereitungsphase informierten wir die Probanden über den Ablauf der Evaluation, ließen sie einen Demographie-Fragebogen ausfüllen und wiesen sie in den allgemeinen Umgang mit dem VR-System ein. In der Versuchsdurchführungsphase wiesen wir den Probanden eine der vier Konditionen zu, erläuterten die jeweilige Bedienung der Fragebögen und ließen sie diese in der VR ausfüllen. Anschließend verließen die Probanden die VR wieder und füllten einen SUS-Fragebogen an einem seperaten Bildschirm aus. Dieser Vorgang wurde für jede der vier Konditionen wiederholt. In der Nachbesprechungsphase führten wir ein abschließendes Interview durch.



PB - Pointer & Body Attached
PW - Pointer & World
TB - Touch & Body Attached
TW - Touch & World

Abbildung 5.2 Ablauf der Expertenevaluation

5.2.1 Vorbereitung

Vor der Durchführung der Evaluation informierten wir die Probanden über den bevorstehenden Ablauf, präsentierten eine schriftliche Versuchsbeschreibung und baten darum, eine Einverständniserklärung zu unterschreiben. Danach füllten die Probanden einen Demographiefragebogen (Tabelle A.4) aus. Anschließend zeigten wir den Probanden die HTC Vive Controller und erklärten die Bedienung der Knöpfe und des Touchpads. Dann baten wir die Probanden, aufzustehen und sich auf eine, mit Klebeband markierte, Stelle auf dem Boden zu stellen. Wir reichten den Probanden die VR-Brille und halfen beim Einstellen der Befestigungsriemen. Sobald die Brille gut saß, reichten wir den Probanden die Controller, welche sie in der SteamVR-Standardumgebung, bestehend aus einem weißen, unendlichen Raum, sehen konnten.

5.2.2 Durchführung

Waren die Probanden bereit, starteten wir das Unity-Projekt mit einem der vier verschiedenen Konditionspaare: Pointer-World (Interaktion mit Laserpointer, fest in der Welt verankerter Fragebogen), Touchpad-World (Interaktion mit Touchpad, fest in der Welt verankerter Fragebogen),

Pointer-Body (Interaktion mit Laserpointer, Fragebogen in relativer Position und Rotation zu linkem Controller) und Touchpad-Body (Interaktion mit Touchpad, Fragebogen in relativer Position und Rotation zu linkem Controller). Jeder Fragebogen begann jeweils mit einer 'Willkommen'-Seite, welche die Probanden aufforderte, auf den darauf platzierten Button zu klicken um zu beginnen. Mit Klick auf diesen Button wechselte die Seite zu dem Ersten von vier Fragebögen. Jeder Fragebogen beinhaltete eine der fünf Fragetypen zur Beantwortung: Radio, Radiolist, Dropdown, Slider und Multiple Choice Radiolist (mehrere wählbare und richtige Antwortmöglichkeiten). Die beinhalteten Fragen waren leicht zu beantwortende Allgemeinwissenfragen wie „Wie viele Finger hat eine Hand?“ oder „Womit isst man Suppe“ (Antwortmöglichkeiten „Messer“, „Gabel“, „Löffel“, „Hand“) (kompletter Fragenkatalog in Tabelle A.3). Diese Fragen haben wir so gewählt, dass jeder Proband in der Lage war, die Fragen richtig zu beantworten. Etwaige Fehler konnten so nicht auf Unwissenheit beruhen und potenziell Rückschlüsse auf Fehler im Design des Fragebogens oder der Interaktionsformen geben. Aufgrund der offensichtlichen Einfachheit der Fragen, hielten wir die Probanden an, diese möglichst ernsthaft zu beantworten. Unter den Fragen befanden sich zwei Buttons, die jeweils nach links oder nach rechts wiesen und entweder zur 'Willkommen'-Seite oder zu der 'Ende des Fragebogens'-Seite umschalteten. Auf Letzterer wurden die Probanden aufgefordert, die Brille abzunehmen.

An diesem Punkt nahmen wir den Probanden erst die Controller ab und danach die Brille. Anschließend forderten wir die Probanden auf, an dem vorherigen Platz eine System Usability Scale in einem Online-Formular auszufüllen (kompletter Fragebogen in Tabelle A.5). Anschließend wiederholten wir den Versuchsaufbau mit dem zweiten, dritten und vierten Fragebogen und den restlichen drei Konditionspaaren. Die Kombinationen der Konditionspaare und die Verteilung der Kombinationen auf die Teilnehmer haben wir vorher randomisiert.

Neben den SUS-Ergebnissen haben wir pro Teilnehmer und Kondition sowohl die Antworten, als auch Logging-Daten erfasst und gespeichert.

5.2.3 Nachbesprechung

Nach dem letzten Durchlauf und Ausfüllen des letzten SUS-Fragebogens begann das Interview. Dieses zeichneten wir als Tonaufnahme auf. Wir zeigten den Teilnehmern ein einfaches Diagramm, welches die vier verschiedenen Konditionen noch einmal verbildlichte (Abbildung 5.3). Wir baten die Teilnehmer nun, die Konditionen in eine Rangfolge von eins (beste Kondition) bis vier (schlechteste Kondition) zu bringen und ihre Einstufung jeweils in Bezug zu den verschiedenen Konditionen zu begründen. Anschließend fragten wir die Teilnehmer, ob ihnen noch weitere sinnvolle Interaktionsmöglichkeiten für In-VR-Fragebögen einfielen.

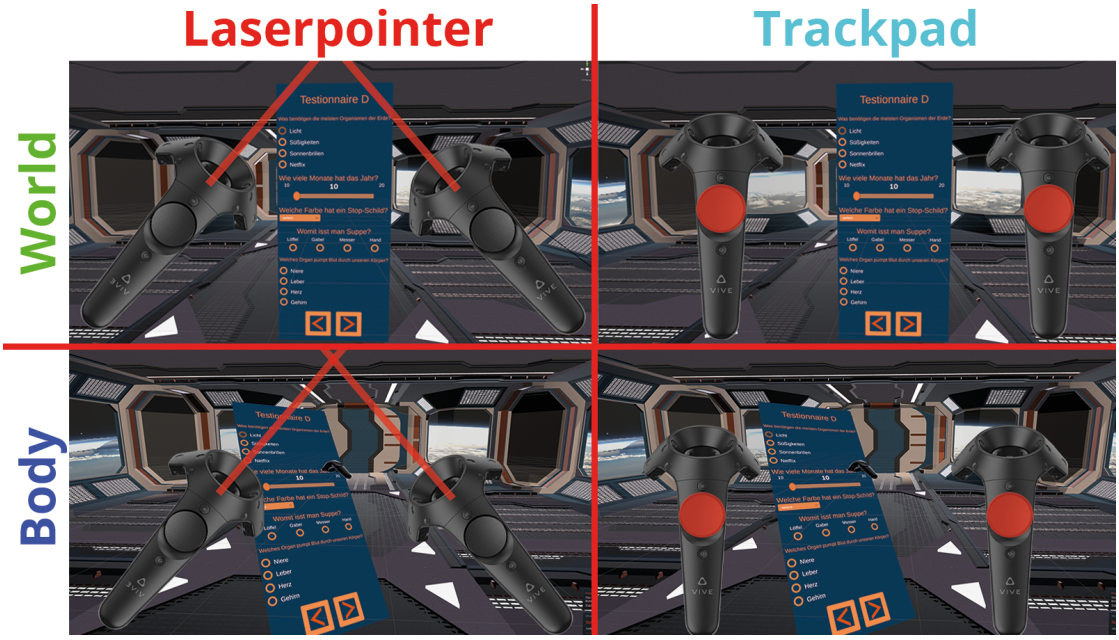


Abbildung 5.3 Veranschaulichung der Konditionen

Als nächstes erläuterten wir den Teilnehmern mit Hilfe eines weiteren vereinfachten Diagramms (Abbildung 5.4) die Architektur und damit verbundene Funktionen des Unity-Fragebogentools, wie JSON-Ein- und -Ausgabe, Auswahl der Konditionen und Logging.

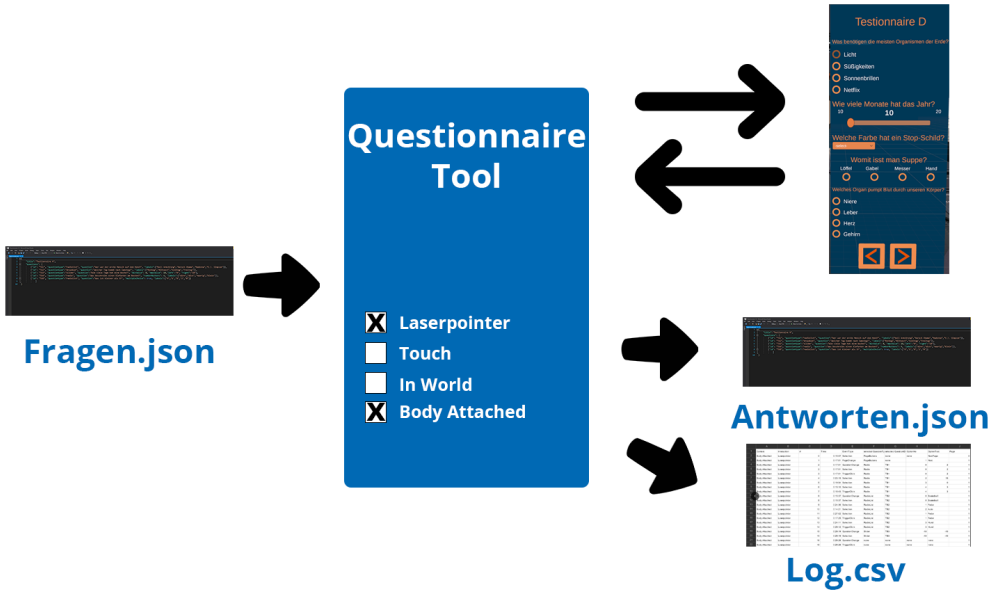


Abbildung 5.4 Vereinfachter Aufbau des Tools

Wir fragten die Teilnehmer , ob sie das präsentierte Tool in ihrer (hypothetischen) VR-Forschung verwenden würden.

Weitergehend fragten wir, ob es noch weitere Funktionen gibt, die in das Tool integriert sein könnten oder ob es noch Änderungen oder Verbesserungen geben könnte. Abschließend ließen wir Raum für weitere Anmerkungen zu dem Tool oder generell zu In-VR-Fragebögen.

5.3 Teilnehmer

Insgesamt haben 10 Experten (alle männlich im Alter von 23-32, M=28.9, SD=2.9) an der Evaluation teilgenommen. Alle Teilnehmer gaben an, Erfahrung in der Entwicklung von Software zu haben und nahmen zum Zeitpunkt der Evaluation an einer Programmierveranstaltung mit dem Ziel, ein Computerspiel zu entwerfen und zu implementieren, teil. Acht der Teilnehmer hatten bereits einen akademischen Abschluss, ein Teilnehmer eine abgeschlossene Ausbildung und ein Teilnehmer Allgemeine Hochschulreife. Ihre Erfahrung mit VR-Systemen bewerteten die Teilnehmer auf einer Likert-Skala von 1-5 mit M=3.6, SD=0.843. Auf der gleichen Skala bewerteten die Teilnehmer ihre Erfahrung mit VR-Forschung als Entwickler oder Versuchsleiter mit M=2.3, SD=1,337. Vier Teilnehmer gaben an, regelmäßig (mindestens 1x die Woche) VR-Systeme zu benutzen.

5.4 Ergebnisse

Um herauszufinden, ob die Konditionen einen signifikanten Einfluss auf die objektive und subjektive Bewertung der Fragebögen haben, untersuchten wir die erhobenen Daten mit einer Analyse der Varianz (ANOVA) mit wiederholten Messungen. Diese zeigte für die jeweiligen abhängigen Variablen (Ergebnisse der Logs, SUS-Werte und Einstufung der Konditionen im Interview), ob signifikante Unterschiede zwischen den Daten vorliegen. War dies der Fall, untersuchten wir die Unterschiede mit einem Post-Hoc-Test mit Bonferroni-Korrektur, welcher zeigt, welche Konditionspaare signifikante Unterschiede aufzeigen. Zusätzlich führten wir einen Mauchly-Test auf Sphärizität durch um sicherzustellen, dass die Varianz der Differenz der Messpaare gleich ist. Anschließend gruppierten wir die Ergebnisse nach den abhängigen Variablen in Interaktions- und Kontextformen. Auf diesen Gruppen führten wir paarweise t-tests durch, um signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der abhängigen Variablen aufzudecken und den Einfluss der abhängigen Variablen auf die Ergebnisse bewerten zu können.

5.4.1 System Usability Scale

Die Analyse der Varianz der Ergebnisse der SUS-Fragebögen zeigen signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Konditionen ($F(3,27)=13.30$, $p<0.001$, $\eta^2=0.596$). Die Post-Hoc-Analyse zeigte, dass signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen TW und PW, TB und PW und TB und PB vorliegen (Tabelle 5.1). Der Test auf Sphärizität legte eine Normalverteilung der Daten nahe ($p=0.144$). Ein Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Konditionen zeigt, dass die Konditionen mit Laserpointer deutlich besser bewertet wurden als die Konditionen mit Touchpad (Tabelle 5.2, Abbildung 5.5). Außerdem konnten wir hieraus auch eine deutliche Tendenz zu besserer Bewertung der in der Welt verankerten Fragebögen erkennen.

Tabelle 5.1 Post Hoc Analyse der SUS-Konditionen

Konditionen		Mean Difference	SE	t	Cohen's d	p_{bonf}
PW	PB	12.25	5.034	2.433	0.770	0.227
	TW	27.00	5.783	4.669	1.476	0.007
	TB	39.00	6.585	5.923	1.873	0.001
PB	TW	14.75	8.575	1.720	0.544	0.717
	TB	26.75	4.987	5.364	1.696	0.003
TW	TB	12.00	7.807	1.537	0.486	0.952

Tabelle 5.2 Deskriptive Statistik der SUS-Ergebnisse nach Konditionen

Konditionen	Mean	SD	N
PW	91.25	8.995	10
PB	79.00	14.491	10
TW	64.25	24.096	10
TB	52.25	19.524	10

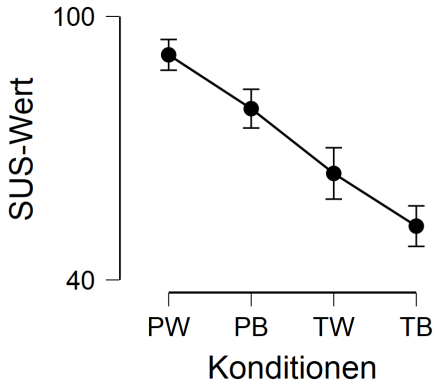


Abbildung 5.5 Plot der SUS-Ergebnisse nach Konditionen mit Standardfehler

Um diese Tendenzen weiter zu untersuchen, führten wir jeweils gepaarte t-Tests zur Gegenüber-

stellung der zwei Interaktionsformen und der zwei Kontextformen durch.

Bei dem Vergleich der Interaktionsformen zeigte die Gruppierung der Pointer-Konditionen einen deutlich höheren Durchschnittswert (M=85.13, SD=13.31) als die Gruppierung der Touch-Konditionen (M=58.25, SD=22.21) (Tabelle 5.3, Abbildung 5.6). Diesen Unterschied konnten wir als signifikant nachweisen (t(19)=7.231, p<0.001, d=1.617).

Tabelle 5.3 Deskriptive Statistik der SUS-Ergebnisse nach Interaktionsformen

Interaktion	N	Mean	SD	SE
Pointer	20	85.13	13.31	2.977
Touch	20	58.25	22.21	4.967

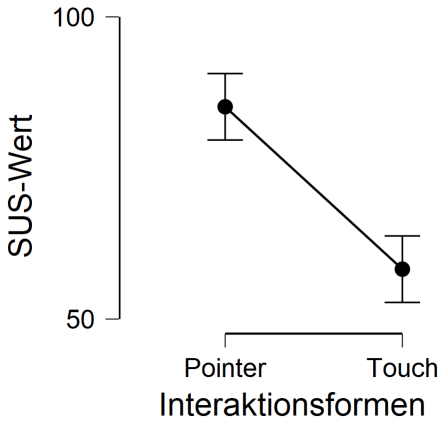


Abbildung 5.6 Plot der SUS-Ergebnisse nach Interaktionsformen mit Standardfehler

Bei dem Vergleich der Kontextformen zeigte die Gruppierung der World-Konditionen einen deutlich höheren Durchschnittswert (M=77.75, SD=22.48), als die Gruppierung der Body-Konditionen (M=66.63, SD=21.64) (Tabelle 5.4, Abbildung 5.7). Auch diesen Unterschied konnten wir als signifikant nachweisen (t(19)=2.682, p=0.015, d=0.600).

Tabelle 5.4 Deskriptive Statistik der SUS-Ergebnisse nach Kontextformen

Kontext	N	Mean	SD	SE
World	20	77.75	22.48	5.026
Body	20	65.63	21.64	4.839

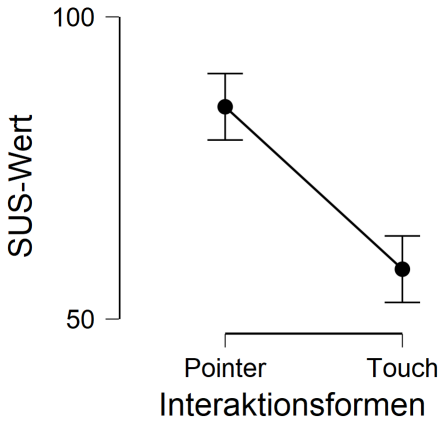


Abbildung 5.7 Plot der SUS-Ergebnisse nach Kontextformen mit Standardfehler

5.4.2 Logging

Um die gesammelten Logging-Daten auszuwerten, gruppierten wir diese nach Konditionen. Wir betrachteten die benötigte Zeit zum Ausfüllen pro Fragebogen, die ausgelösten Navigationsereignisse, sowie die getätigten Klicks.

5.4.2.1 Benötigte Zeit

Für die Auswertung der benötigten Zeit pro Kondition führten wir ebenfalls eine ANOVA durch. Auch hier zeigen die Ergebnisse signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen ($F(3,27)=14.99$, $p<0.001$, $\eta^2 = 0.625$). Eine Bonferroni Post-Hoc-Analyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen TW und PW, TB und PW und TB und PB (Tabelle 5.5). Der Test auf Sphärizität legte eine Normalverteilung der Daten nahe ($p=0.348$). Der Vergleich der Mittelwerte der jeweiligen Konditionen suggeriert, dass sowohl Pointer im Gegensatz zu Touch weniger Zeit beanspruchten, als auch World im Gegensatz zu Body (Tabelle 5.6, Abbildung 5.8).

Tabelle 5.5 Post Hoc Analyse der Zeit nach Konditionen

Konditionen		Mean Difference	SE	t	Cohen's d	p_{bonf}
PW	PB	-5164	7257	-0.712	-0.225	1.000
	TW	-23564	6069	-3.883	-1.228	0.022
	TB	-34907	5098	-6.848	-2.165	$< .001$
PB	TW	-18400	5979	-3.077	-0.973	0.079
	TB	-29743	4369	-6.808	-2.153	$< .001$
TW	TB	-11343	6321	-1.795	-0.568	0.638

Tabelle 5.6 Deskriptive Statistik der Zeit nach Konditionen in ms

Konditionen	Mean	SD	N
PW	36701	7707	10
PB	41865	20120	10
TW	60265	16753	10
TB	71608	14068	10

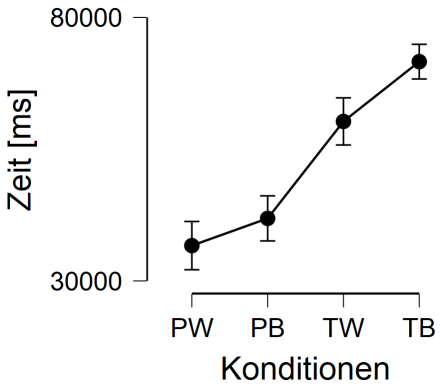


Abbildung 5.8 Plot der Zeit nach Konditionen mit Standardfehler in ms

Diese Suggestion überprüften wir abermals mit Hilfe von gepaarten t-Tests der Interaktionsformen und der Kontextformen.

Bei dem Vergleich der Interaktionsformen zeigten sich bei der Gruppierung der Pointer-Konditionen deutlich kürzere Zeiten (M=39283, SD=15063) als bei der Gruppierung der Touch-Konditionen (M=65937, SD=16142) (Tabelle 5.7, Abbildung 5.9). Diesen Unterschied konnten wir als signifikant nachweisen (t(19)=-7.189, p<0.001, d=-1.608).

Tabelle 5.7 Deskriptive Statistik der Zeit nach Interaktionsformen in ms

	N	Mean	SD	SE
Pointer	20	39283	15063	3368
Touch	20	65937	16142	3609

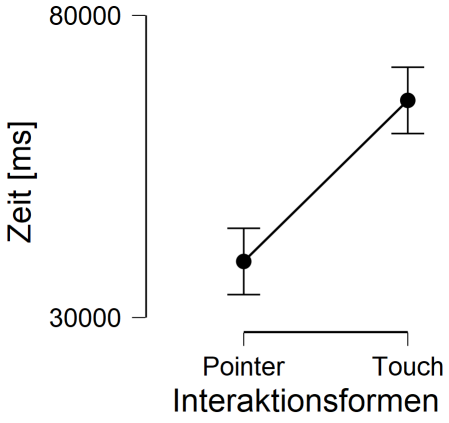


Abbildung 5.9 Plot der Zeit nach Interaktionsformen mit Standardfehler in ms

Bei dem Vergleich der Kontextformen zeigten sich längere Zeiten in der Gruppierung der World-Konditionen (M=48483, SD=17527), als bei der Gruppierung der Body-Konditionen (M=39283, SD=15063) (Tabelle 5.8, Abbildung 5.10). Diesen Unterschied konnten wir nicht als signifikant

nachweisen (t(19)=1.625, p=0.121, d=0.363).

Tabelle 5.8 Deskriptive Statistik der Zeit nach Kontextformen in ms

Kontext	N	Mean	SD	SE
World	20	77.75	22.48	5.026
Body	20	65.63	21.64	4.839

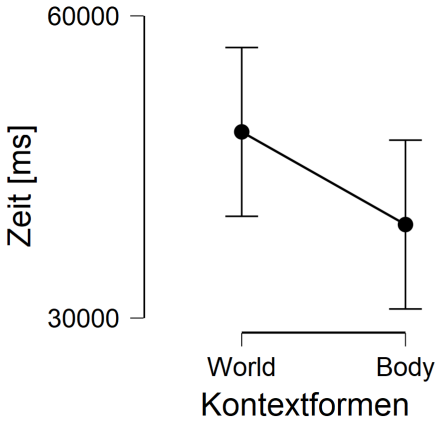


Abbildung 5.10 Plot der Zeit nach Kontextformen mit Standardfehler in ms

5.4.2.2 Ausgelöste Navigationsevents

Für die Auswertung der benötigten Zeit pro Kondition führten wir ebenfalls eine ANOVA auf den Konditionspaaren durch. Hier zeigten die Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen (F(3,27)=0.278, p=0.841, $\eta^2 = 0.030$) (Tabelle 5.9, Abbildung 5.11). Daher verzichteten wir auf eine weitere Untersuchung der Daten.

Tabelle 5.9 Deskriptive Statistik der ausgelösten Events nach Kondition mit Standardfehler

Konditionen	Mean	SD	N
TB	49.50	10.15	10
TW	50.50	10.72	10
PW	52.10	13.70	10
PB	56.60	36.48	10

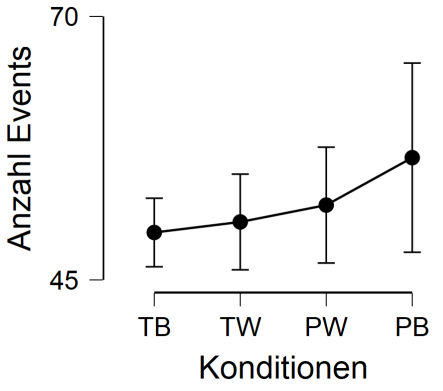


Abbildung 5.11 Plot der ausgelösten Events nach Kondition mit Standardfehler

5.4.2.3 Getätigte Klicks

Für die Auswertung der benötigten Zeit pro Kondition führten wir ebenfalls eine ANOVA auf den Konditionspaaren durch. Auch hier zeigen die Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen ($F(3,27)=0.159$, $p=0.923$, $\eta^2 = 0.017$) (Tabelle 5.10, Abbildung 5.12). Auf eine weitere Untersuchung der Daten verzichteten wir daher auch hier.

Tabelle 5.10 Deskriptive Statistik der getätigten Klicks nach Kondition mit Standardfehler

Konditionen	Mean	SD	N
TW	10.30	2.791	10
PB	10.40	3.062	10
PW	10.60	2.171	10
TB	11.00	3.742	10

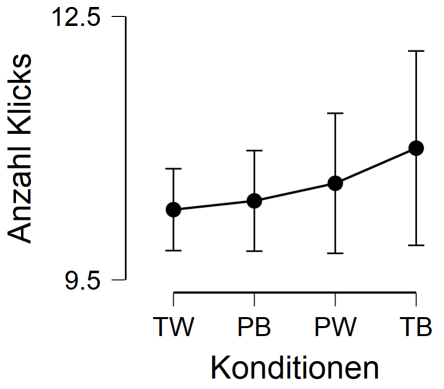


Abbildung 5.12 Plot der getätigten Klicks nach Kondition mit Standardfehler

5.4.3 Fragebogenantworten der Teilnehmer

Insgesamt beantworteten die Teilnehmer 19 von 200 Fragen falsch und eine Frage wurde nicht beantwortet. Neben der Auswahl der falschen Antwortmöglichkeit wurden ebenfalls das Auslassen weiterer, richtiger Antworten bei Multiple Choice-Fragen als falsch klassifiziert. Die Teilnehmer beantworteten jeweils zwei Fragen vom Typ Dropdown und Slider falsch, eine Frage vom Typ Radiolist und 14 Fragen vom Typ Multiple Choice. Hinzu kommt eine Frage vom Typ Radiolist, die nicht beantwortet wurde.

Bei fünf verschiedenen Fragetypen pro Kondition für vier verschiedene Konditionen pro Teilnehmer, ergeben sich bei 10 Teilnehmern insgesamt 40 Antworten pro Fragetyp. Das ergibt für die jeweiligen Fragetypen eine Fehlerquote von 5% für Dropdown und Slider, 2.5% für Radiolist und 35% für Multiple Choice.

Hierbei muss erwähnt werden, dass bei der Fragebogenerstellung versehentlich die Multiple Choice-Frage des letzten Fragebogens nur eine richtige Antwort besaß. Wertet man diese Frage

als einfache Radiolist, ergibt sich für Radiolist eine Fehlerquote von 2% und für Multiple Choice von 46.7%.

Nach Interaktions- und Kontextformen geordnet ergeben sich folgende Fehlerzahlen und -quoten: Pointer acht Fehler (8%), Touch 12 Fehler (12%), World 10 Fehler (8%), Body 10 Fehler (10%).

Insgesamt ergibt sich auf 200 gegebene Antworten unter Einbezug der nicht beantworteten Frage eine Fehlerquote von 10%. Schließt man die Fragen des Typs Multiple Choice aus und berücksichtigt die Wertung der 10 Multiple Choice Antworten des letzten Fragebogens als Radiolist, ergibt sich insgesamt eine Fehlerquote von 3.5%.

5.4.4 Interviews

5.4.4.1 Rangfolge

Für die Auswertung der gegebenen Rangfolgeneinstufung von Platz 1 (bester Bewertung) bis Platz 4 (schlechteste Bewertung) führten wir eine ANOVA auf den Konditionspaaren durch. Da der Mauchly-Test auf eine Verletzung der Sphärizität hinwies, verwendeten wir zur Berechnung des p-Wertes die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Freiheitsgrade und konnten so signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen feststellen ($F=(1.222,10.995)=18.11, p<0.001, \eta^2=0.668$) (Tabelle 5.11). Die Post-Hoc-Analyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen TW und PW, TB und PW und TB und PB (Tabelle 5.12). Ein erster Vergleich der Mittelwerte legte nahe, dass die Teilnehmer die Interaktionsform Pointer deutlich besser bewerteten, als die Interaktionsform Touch (Tabelle 5.13, Abbildung 5.13). Die Kontextform schien nicht relevant für die Bewertung.

Tabelle 5.11 Ergebnisse der ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur

	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2
Konditionen	None	33.40	3.000	11.133	18.11	< .001	0.668
	Greenhouse-Geisser	33.40	1.222	27.340	18.11	< .001	0.668
Residual	None	16.60	27.000	0.615			
	Greenhouse-Geisser	16.60	10.995	1.510			

Tabelle 5.12 Post Hoc Analyse der Rangfolge nach Konditionen

Konditionen		Mean Difference	SE	t	Cohen's d	p_{bonf}
PW	PB	-0.400	0.400	-1.000	-0.316	1.000
	TW	-1.900	0.180	-10.585	-3.347	< .001
	TB	-2.100	0.314	-6.678	-2.112	< .001
PB	TW	-1.500	0.500	-3.000	-0.949	0.090
	TB	-1.700	0.153	-11.129	-3.519	< .001
TW	TB	-0.200	0.416	-0.480	-0.152	1.000

Tabelle 5.13 Deskriptive Statistik der Rangfolge nach Konditionen

Konditionen	Mean	SD	N
PW	1.400	0.516	10
PB	1.800	0.789	10
TW	3.300	0.823	10
TB	3.500	0.527	10

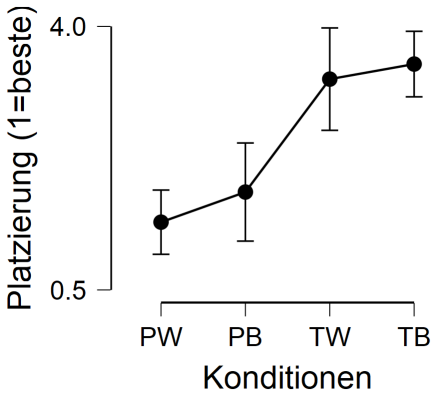


Abbildung 5.13 Plot der Rangfolge nach Konditionen mit Standardfehler

Um diesen ersten Eindruck zu bestätigen, führten wir auf den Interaktionsformen, sowie den Kontextformen jeweils gepaarte t-Tests durch.

Beim Vergleich der Interaktionsformen stellten wir eine Bevorzugung der Interaktionsform Pointer (M=1.6, SD=0.618) gegenüber der Interaktionsform Touch (M=3.4, SD=0.681) fest (Tabelle 5.14, Abbildung 5.14). Diesen Unterschied konnten wir als signifikant nachweisen (t(19)=-15.39, p<0.001, d=-3.441).

Tabelle 5.14 Deskriptive Statistik der Rangfolge nach Interaktionsform

Interaktion	N	Mean	SD	SE
Pointer	20	1.600	0.681	0.152
Touch	20	3.400	0.681	0.152

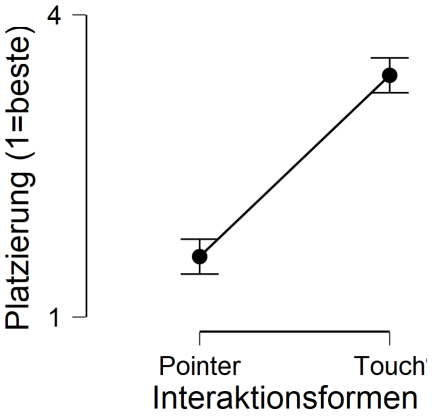


Abbildung 5.14 Plot der Rangfolge nach Interaktionsform mit Standardfehler

Beim Vergleich der Kontextformen zeigte sich eine minimale Präferenz der Kontextform World (M=2.35, SD=1.182) gegenüber der Kontextform Body (M=2.55, SD=1.099) (Tabelle 5.15, Abbildung 5.15). Diesen Unterschied konnten wir nicht als signifikant nachweisen (t(19)=1, p=0.330, d=-0.224).

Tabelle 5.15 Deskriptive Statistik der Rangfolge nach Kontextform

	N	Mean	SD	SE
World	20	2.350	1.182	0.264
Body	20	2.550	1.099	0.246

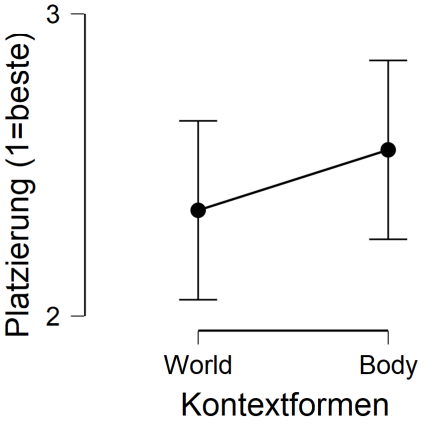


Abbildung 5.15 Plot der Rangfolge nach Kontextform mit Standardfehler

5.4.4.2 Anmerkungen zu den Konditionen

Interaktion

Sechs Teilnehmer merkten an, dass die Interaktion mit Laserpointer sehr intuitiv bzw. eine gewohnte Interaktionsform war. Dagegen erwähnten 9 von 10 Teilnehmern, dass die Interaktion mit dem Touchpad sehr unintuitiv/kompliziert war. Explizit bezeichneten die Teilnehmer die Anordnung der Steuerung bei der Interaktion mit Touchpad als verwirrend. Auch erwähnten mehrere Teilnehmer mangelndes Feedback der Tastendrücke. Drei Teilnehmer empfanden die Bedienung der Sliderelemente mit Touchpad als gut bzw. besser als bei Interaktion mit Laserpointer.

Kontext

Drei Teilnehmer empfanden die Möglichkeit des Kontextes Body, den Fragebogen zu bewegen und nach Bedarf zum besseren Lesen näher zu holen als angenehm. Dagegen empfanden vier weitere Teilnehmer die Bewegung des Fragebogens als störend oder verwirrend. Zwei Personen empfanden die Positionierung des Fragebogens als zu nah. Zu dem Kontext World wurde von einer Person angemerkt, dass der Umgang intuitiver war und von einer weiteren Person, dass die Möglichkeit, eine Hand bei der Bedienung zu entspannen, als präferabel empfunden wurde.

5.4.4.3 Verbesserungen

Vier Teilnehmer empfahlen eine Mechanik zur Vorauswahl der zu bearbeitenden Frage, um Übersichtlichkeit und Verwirrung in der Navigationsrichtung vorzubeugen. Vier weitere Teilnehmer empfahlen, die Markierung der Antworten zu invertieren und anstatt die derzeit ausgewählte Antwort auszugrauen, diese lieber farbig hervorzuheben und die restlichen Antworten auszugrauen. Weitere Verbesserungsvorschläge waren, mehr Freiraum zwischen den Fragen zu lassen, den Unterschied zwischen Single und Multiple Choice besser zu kennzeichnen, eine Animation zum Seitenwechsel einzubauen, den World-Fragebogen in Form eines Objektes in die virtuelle Umgebung einzubauen und als Feedback die Position des Fingers auf dem Touchpad in VR anzuzeigen, so wie es auch in den SteamVR-Standardumgebungen getan wird.

5.4.4.4 Weitere Interaktionsmöglichkeiten

Drei Teilnehmer schlugen als weitere Interaktionsmöglichkeit räumliche, greifbare Fragenobjekte vor, die mit dem Kontroller direkt berührt werden könnten. Zwei Teilnehmer schlugen eine mögli-

che Gestensteuerung vor, ein weiterer Teilnehmer eine mögliche Spracherkennung für Textfelder.

5.4.4.5 Verwendung des Tools in eigenen Studien

Alle Teilnehmer gaben an, dass sie ein funktionierendes und leicht einbindbares Fragebogentool in ihren Studien klassischeren Formen der Fragebogenpräsentation vorziehen würden. Gerade bei mehreren Task wäre diese Variante einfacher, schneller und mit weniger Aufwand verbunden.

5.5 Auswertung und Interpretation

5.5.1 SUS-Werte

5.5.1.1 Unterschiede

Die Auswertung der SUS-Scores hat deutliche Unterschiede zwischen den Konditionen aufgezeigt. Am besten abgeschnitten hat die Kondition Pointer-World (M=91.25, SD=8.995), gefolgt von Pointer-Body (M=79.00, SD=14.491). Mit etwas Abstand folgen die Konditionen Touch-World (M=64.25, SD=24.096) und Touch-Body (M=52.25, SD=19.524) als schlechtest bewertete Kondition. Die signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen TW und PW, TB und PW und TB und PB lassen bereits erkennen, dass eine Abhängigkeit der Signifikanz des Unterschiedes von der Interaktionsform besteht, da hier jeweils verschiedene Interaktionsformen verglichen werden. Die spätere Gegenüberstellung der Interaktionsformen mit Hilfe eines gepaarten t-Tests hat diese Hypothese bestätigt und gezeigt, dass die Interaktionsform Pointer (M=85, SD=13.31) deutlich besser bewertet wurde, als die Interaktionsform Touch (M=58.25, SD=22.21).

Der gepaarte t-Test der Kontextformen stellte signifikante Unterschiede zwischen den Kontexten fest und hat gezeigt, dass der Kontext World (M=77.75, SD=22.48) besser bewertet wurde, als der Kontext Body (M=65.63, SD=21.64).

Insgesamt konnten wir zeigen, dass die subjektive Bewertung der Fragebögen mehr von der Interaktionsform, als von der Kontextform beeinflusst wurden. Dies spiegelt sich vor allem in den Effektstärken der paarweisen t-Tests wieder, welche bei dem Vergleich der Interaktionsformen im Durchschnitt deutlich höher ausfallen als die Effektstärken der Kontextvergleiche (Tabelle 5.16).

Tabelle 5.16 Effektstärken der gepaarten t-Tests nach Interaktion oder Kontext und abhängigen Variablen

Abhängige Variablen	$\|d_{Interaktionsvergleich}\|$	$\|d_{Konditionsvergleich}\|$
SUS-Werte	1.617	0.600
Zeit	1.608	0.363
Rangfolge	3.441	0.224
Durchschnitt	2.222	0.396

5.5.1.2 SUS-Ergebnisse

Für die Interpretation der SUS-Werte bietet Bangor 2009 eine Einstufung in Akzeptanzklassen, Schulnoten und adjektivisch (Abbildung 5.16).

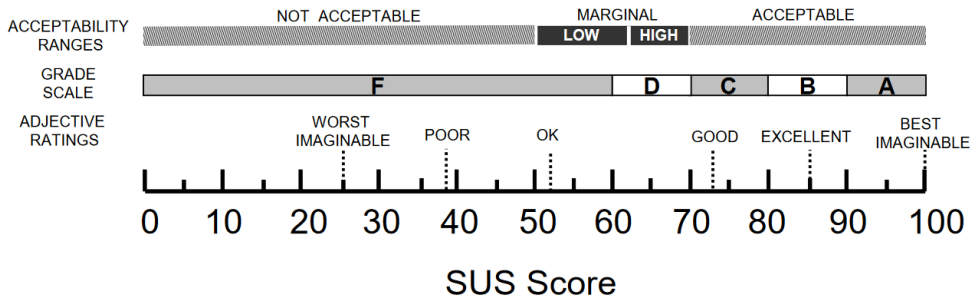


Abbildung 5.16 Kategorisierung von SUS-Scores nach Bangor 2009

Betrachtet wir nun die SUS-Werte der Interaktionsformen, erkennen wir daraus eine gute bis exzellente Usability der Pointer-Interaktion (M=85). Die Touch-Interaktion (M=58.25) zeigt eine niedrig grenzwertige Akzeptanz auf und wird nach Bangor 2009 als 'OK' eingestuft. Bei den Kontextformen wird dem World-Kontext (M=77.75) eine gute Usability zugeordnet. Die Usability des Body-Kontextes (M=65.63) wird als 'OK' bis gut eingeordnet und befindet sich in der hohen marginalen Akzeptanzklasse.

Den besten SUS-Wert erreichte die Kondition Pointer-World mit durchschnittlich 91.25 Punkten, was sich als exzellente Usability bewerten lässt.

5.5.2 Logs

Zeit

Auch die Auswertung der benötigten Zeit zur Beantwortung der Fragebögen hat deutliche Unterschiede zwischen den Konditionen aufgezeigt. Auch hier hat die Kondition Pointer-World (M=36701, SD=7707) am Besten abgeschnitten, gefolgt von der Kondition Pointer-Body (M= 41865, SD=20120). Mit etwas größerem Abstand folgen die Konditionen Touch-World (M=60265, SD=16753) und Touch-Body (M=71608, SD=14068), mit der schlechtesten Zeit. Die als signifikant und hoch signifikant erkannten Unterschiede durch die ANOVA zwischen den Konditionen TW und PB, TB und PW und TB und PB lassen auch hier eine Abhängigkeit der Signifikanz von der Intaraktionsform erkennen. Der daraufhin auf den Interaktionsformen ausgeführte gepaarte t-Test bestätigte eine hohe Signifikanz zwischen den Interaktionsformen, wobei die Interaktionsform Pointer (M=39283, SD=15063) im Schnitt 1.7 mal so schnell ausgeführt wurde, wie die Interaktionsform Touch (M=65937, SD=15063).

Für die Zeit konnte zwischen den Kontextformen keine Signifikanz der Unterschiede zwischen dem Kontext World (M=48483, SD=17527) und dem Kontext Body (M=39283, SD=15063) nachgewiesen werden. Allerdings ist zu erwähnen, dass im Schnitt für den Kontext Body ca. 9 Sekunden mehr benötigt wurden.

Insgesamt lässt sich hieraus erkennen, dass die benötigte Zeit stark abhängig von der Interaktionsform ist, wobei die Interaktion mit Laserpointer sehr deutlich besser abschneidet, als die Interaktion mit Touchpad.

Ausgelöste Ereignisse

Die auf den ausgelösten Ereignissen pro Kondition durchgeführte ANOVA konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen nachweisen. Im Schnitt hat die Kondition TB (M=49.5, SD=10.15) am wenigsten Ereignisse ausgelöst, dicht gefolgt von den Konditionen TW (M=50.5, SD=10.72) und PW (M=52.1, SD=13.7). In geringfügig größerem Abstand hat die Kondition PB (M=56.6, SD=36.48) am meisten Ereignisse ausgelöst. Zu erwähnen ist, dass diese Kondition auch die höchste Standardabweichung hatte.

Insgesamt schneidet die Interaktionsformen Touch geringfügig besser ab, als die Interaktionsform Pointer.

Getätigte Klicks

Die auf den getätigten Klicks pro Kondition durchgeführte ANOVA konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konditionen nachweisen. Im Durchschnitt haben alle Konditionen vereint 10.575 Klicks benötigt. Die Unterschiede zwischen den durchschnittlich getätigten Klicks pro Kondition befinden sich in einem 0.7-Klicks großem Intervall und sind bei der Menge der Teilnehmer daher zu vernachlässigen.

Es kann angenommen werden, dass die Konditionen keinen Einfluss auf die Anzahl der getätigten Klicks hat.

5.5.3 Antworten

Die Auswertung der Antworten hat eine sehr hohe Fehlerquote für Fragen des Typs Multiple Choice gezeigt. Die hohe Fehlerquote bei der Beantwortung der Multiple Choice-Fragen lässt sich darauf zurückführen, dass diese optisch nicht von den Single Choice-Fragen abgegrenzt wurden. Dies wurde auch in den darauf folgenden Interviews erwähnt (siehe Kapitel 5.4.4.3) Ein gängiges Design zur Abgrenzung von Single und Multiple Choice wäre die Darstellung von Multiple Choice-Buttons als eckige Buttons GmbH 2019, LLC 2019. In zukünftigen Iterationen sollte eine entsprechende Änderung des Designs vorgenommen werden.

Die Auswertung nach Interaktions- und Kontextform hat gezeigt, dass bei der Interaktionsform Touch 4% mehr Fehler gemacht wurden, als bei der Interaktionsform Pointer. Bei der Kontextform Body wurden 2% mehr Fehler gemacht, als bei dem Kontext World. Beide Unterschiede sind sehr gering und haben in Anbetracht der geringen Stichprobe eine zu vernachlässigende Bedeutung.

5.5.4 Interviews

Rangfolge

Die Auswertung der gegebenen Rangfolgen der Konditionen hat hoch signifikante Unterschiede zwischen den Interaktionsformen nachgewiesen. Die Interaktionsform Pointer (M=1.6, SD= 0.681) wurde im Schnitt fast zwei Rangplätze höher eingestuft, als die Interaktionsform Touch (M=3.4, SD=0.681).

Anmerkungen

Die meisten Teilnehmer empfanden die Interaktion mit Touchpad als unintuitiv im Gegensatz zu der Interaktion mit Laserpointer.

Meinungen zu den Kontextformen gingen im Interview allgemein auseinander und schienen von persönlichen Präferenzen abhängig zu sein. Es gab Teilnehmer, die die Fixierung am Controller als angenehm und hilfreich empfanden, andere hingegen empfanden diese als störend.

Verbesserungen und Anmerkungen

Insgesamt wurden Verbesserungen zu Gunsten der Navigationssicherheit gewünscht. Fragenvorselektion, sowie eine bessere Markierung der ausgewählten Antwortmöglichkeit wurden mehrfach erwähnt.

Als weitere Interaktionsform wurde mehrfach eine räumliche Interaktion mit dem Fragebogen vorgeschlagen, mit der man den Fragebogen durch 'berühren' mit dem Controller bedient.

Alle Teilnehmer konnten sich eine Verwendung des Tools in ihrer Forschung gut vorstellen.

5.6 Diskussion

Die Ergebnisse der Expertenevalution legen nahe, dass die Wahl der Interaktionsform großen Einfluss auf die Usability des Fragebogens hat. Die Interaktion mit Laserpointer lieferte deutlich bessere Ergebnisse als die Interaktion mit Touchpad. Deutlich wurde dieser Unterschied in den weitaus besseren SUS-Werten, kürzeren Bearbeitungszeiten und der im Interview erstellten Rangfolgen und hohen Effektstärken der Vergleiche. Positives Feedback für diese Interaktionsform kam auch in Form von Anmerkungen in dem Interview, welche diese Kondition als *„Intuitiv“*, *„gewohnt“* und *„einfach“* beschrieben. Die Interaktion mit dem Touchpad wurde im Allgemeinen als *„unintuitiv“* und *„kompliziert“* beschrieben.

Die Wahl des Kontextes hatte einen signifikanten Unterschied auf die Ergebnisse des SUS-Wertes. Die Kondition World wurde deutlich besser bewertet, als die Kondition Body. Dieses Ergebnis lässt sich allerdings nicht durch die Ergebnisse der Logging-Daten oder Anmerkungen aus den Interviews untermauern. Die Möglichkeit der Variante Body, den Fragebogen zu bewegen beurteilten drei Teilnehmer als begrüßenswert, während vier Teilnehmer diese als störend oder verwirrend wahrnahmen. Auch in der aufgestellten Rangfolge schnitten die Konditionen beinahe gleich ab.

Da die eindeutigen Kontextergebnisse des SUS-Wertes im Kontrast zu den wenig divergenten Logging- und Rangordnungsergebnissen stehen und die Anmerkungen recht ambivalent ausfiehlen, besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Die Wahl der Interaktions- und Kontextformen zeigte abgesehen von der benötigten Zeit keinen Einfluss auf den Ablauf der Interaktion, was sich in der geringen Varianz der benötigten Klicks, ausgelösten Navigationsereignisse und Fehlerzahlen der Antworten wiederspiegelt.

Je nach Kondition erzielten die SUS-Werte mäßige bis exzellente Ergebnisse. Alle Konditionen erreichten zumindest eine akzeptable Usability. Sehr gute Usability erreichten Konditionen mit der Interaktionsform Pointer. Der Interaktion mit dem Touchpad wurde allgemein eine schlechte Usability attestiert und sollte überarbeitet werden. Ein oft genannter Vorschlag durch die Experten war eine Überarbeitung der Bedienung. Anstatt direkt durch die Antworten der Fragebögen zu navigieren, wäre eine vorherige Navigation nur über die Fragen denkbar, welche durch Auswahl einer Frage die Auswahl der Antwortmöglichkeiten freischaltet. Auch ein visuelles oder haptisches Feedback könnte die Usability und Navigationssicherheit verbessern. Die hohe Fehlerquote bei der Beantwortung der Multiple Choice Fragen deutet auf Verbesserungsmöglichkeiten des Designs hin, welche auch die Fehlerquote des Fragebogens insgesamt senken dürfte.

Eine weitere Iteration des Tools aufbauend auf diesen Ergebnissen und eine größer angelegte Benutzerstudie könnte interessante Ergebnisse liefern.

Kapitel 6

Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit haben wir den heutigen Stand der Fragebogenverwendung in Virtual Reality und die Verbreitung integrierter VR-Fragebögen erfasst und analysiert. Diese Erkenntnisse nutzten wir, um ein Fragebogenerstellungstool für integrierte VR-Fragebögen zu konzipieren und zu implementieren. Um weitere Erkenntnisse und Anhaltspunkte für zukünftige VR-Studien zu schaffen, führten wir eine Expertenevaluation durch und trafen Rückschlüsse auf die Eignung der Designentscheidungen für integrierte VR-Fragebögen.

Die vorhergegangene Literaturstudie und Umfrage unter Experten haben gezeigt, dass sich keine allgemeinen Standards für die Präsentation von Fragebögen ermitteln lassen. Experten verwenden vorwiegend nicht-integrierte VR-Fragebögen. Als Gründe gaben sie Bedenken zum Implementierungsaufwand, zur Usability und zum generellen Nutzen von integrierten VR-Fragebögen an. Trotzdem spricht die hohe Zahl an Experten mit Erfahrungen mit integrierten VR-Fragebögen für ein gesteigertes Interesse. Die große Heterogenität der bisher verwendeten Fragebogenpräsentation zeugt von mangelnden Richtlinien für die Integration von Fragebögen in die Virtual Reality.

Das entwickelte Tool implementiert verschiedene, in der Literatur empfohlene Interaktionsformen und Designparadigmen für VR-Menüs. Die von uns durchgeführte Expertenevaluation diente dazu, eine grundlegende Usability der mit dem Tool erstellten Fragebögen zu bestätigen. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass Faktoren wie Interaktionsform und Kontext einen großen Einfluss auf Usability haben. Wir untersuchten die Interaktion mit Laserpointer und mit Touchpad und kamen zu dem Schluss, dass Interaktion mit Laserpointer die geeignetste Interaktionsmethode darstellt. Zwischen den Kontexten Fixierung des Fragebogens in der Welt und Fixierung am Controller konnten wir nur geringe Unterschiede feststellen, wobei die Fixierung in der Welt von den Teilnehmern signifikant besser bewertet wurde. Während wir allen Konditionen eine zumindest akzeptable Usability nachweisen konnten, erreichte die Kombination von Laserpointer und Fixierung in der Welt die besten Ergebnisse mit einer exzellenten Usability. Wir argumentieren deshalb, dass diese Interaktionsform besonders gut für integrierte Fragebögen geeignet sind.

Zukünftige Studien können sich an diesen Erkenntnissen orientieren.

Es wäre wichtig, diese Erkenntnisse in einer größer angelegten Benutzerstudie zu verifizieren und weiter zu erforschen. Auch die Untersuchung in einem Szenario mit auszuführenden Aufgaben in VR und anschließender Verwendung des Fragebogentools wäre wichtig zu untersuchen, um Aufschluss über die praktische Anwendbarkeit und Auswirkungen auf die Versuchsdurchführung zu bekommen. Ebenso wichtig wäre die Untersuchung des Einflusses auf die Präsenz wie Schwind et al. 2019 es mit ihrem integrierten Fragebogen demonstriert haben.

In dem vorgestellten Tool haben wir uns darauf beschränkt, zwei gängige Interaktionsformen und zwei gängige Kontextformen zu untersuchen. Aus den Interviews ging hervor, dass sich einige Experten die Verwendung spatialer Interaktionssteuerungen oder Gesten-/Sprachsteuerung vorstellen könnten. Betrachtet man die Fachliteratur und die stetig wachsende Zahl an VR-Studien, ergeben sich noch viele weitere mögliche Formen der Interaktion und des Kontextes. Diese zu implementieren und zu testen, könnte weitere Designparadigmen hervorbringen.

Zusätzlich könnte eine Iteration des Tools nach den gewonnenen Erkenntnissen aus der Expertenevaluation zur Verbesserung der Usability beitragen. Das Design der Touchpad-Interaktion könnte von Grund auf überarbeitet werden. Auch könnte die Unterstützung von Freitexteingaben in VR unter Zuhilfenahme moderner Technologien wie Spracherkennung, Finger-Tracking oder spezieller VR-Tastaturen implementiert werden.

Anhang A

Tabellen

A.1 Veröffentlichungen der Literaturstudie

Tabelle A.1 In der Literaturstudie untersuchte Veröffentlichungen

Author(en)	**Name der Veröffentlichung**
Arora et al. 2017	»Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR«
Azmandian et al. 2017	»An evaluation of strategies for two-user redirected walking in shared physical spaces«
Bhandari et al. 2017	»Legomotion«
Bodenheimer et al. 2017	»Prism aftereffects for throwing with a self-avatar in an immersive virtual environment«
Bouyer et al. 2017	»Inducing self-motion sensations in driving simulators using force-feedback and haptic motion«
A. Cheng et al. 2017	»Teaching Language and Culture with a Virtual Reality Game«
L.-P. Cheng et al. 2017	»Sparse Haptic Proxy«
Chowdhury et al. 2017	»Information recall in a virtual reality disability simulation«
De Oliveira et al. 2016	»Virtual Body Swap«

Author(en)	**Name der Veröffentlichung**
Dey et al. 2017	»Effects of Sharing Physiological States of Players in a Collaborative Virtual Reality Gameplay«
Faita et al. 2016	»Investigating the process of emotion recognition in immersive and non-immersive virtual technological setups«
Frommel et al. 2017	»The Effects of Context-Sensitive Tutorials in Virtual Reality Games«
Gai et al. 2017	»Supporting Easy Physical-to-Virtual Creation of Mobile VR Maze Games«
Gugenheimer et al. 2017	»ShareVR«
He et al. 2017	»Immersive and collaborative Taichi motion learning in various VR environments«
Hock et al. 2017	»CarVR«
Kaul et al. 2017	»HapticHead«
Kim et al. 2017	»Presence and Immersion of "Easy"Mobile VR with Open Flip-on Lenses«
Kjær et al. 2017	»Can you cut it?«
Knibbe et al. 2018	»The Dream is Collapsing«
Knierim et al. 2018	»Physical Keyboards in Virtual Reality«
Krekhov et al. 2017	»Self-Transforming Controllers for Virtual Reality First Person Shooters«
Lacoche et al. 2017	»Collaborators awareness for user cohabitation in co-located collaborative virtual environments«
Lee et al. 2017	»Exploring the effect of vibrotactile feedback through the floor on social presence in an immersive virtual environment«
Lopes et al. 2017	»Providing Haptics to Walls & Heavy Objects in Virtual Reality by Means of Electrical Muscle Stimulation«

Author(en)	**Name der Veröffentlichung**
McGill et al. 2017	»How Visual Motion Cues Can Influence Sickness For In-Car VR«
Mendes et al. 2017	»Using custom transformation axes for mid-air manipulation of 3D virtual objects«
Mirhosseini et al. 2017	»Automatic speed and direction control along constrained navigation paths«
Mottelson et al. 2017	»Virtual reality studies outside the laboratory«
Naz et al. 2017	»Emotional qualities of VR space«
Nguyen et al. 2017	»Vremiere«
Peiris et al. 2017	»ThermoVR«
Ranasinghe et al. 2017	»Ambiotherm«
Rietzler et al. 2017	»The matrix has you«
Sargunam et al. 2017	»Guided head rotation and amplified head rotation«
Schorr et al. 2017	»Fingertip Tactile Devices for Virtual Object Manipulation and Exploration«
Schwind et al. 2017b	»"These are not my hands!"«
Schwind et al. 2017a	»"Where's Pinky?«
Seele et al. 2017	»Here's Looking At You Anyway!«
Shunnaq et al. 2016	»VirtualPhobia«
Sousa et al. 2017	»VRRRRoom«
Tran et al. 2017	»Effects of virtual arm representations on interaction in virtual environments«
Tregillus et al. 2017	»Handsfree Omnidirectional VR Navigation using Head Tilt«
Verhulst et al. 2017	»A study on the use of an immersive virtual reality store to investigate consumer perceptions and purchase behavior toward non-standard fruits and vegetables«
Vonach et al. 2017	»VRRobot«

Author(en)	**Name der Veröffentlichung**
Wagner et al. 2017	»Design and exploration of braiding swarms in VR«
Weidner et al. 2017	»Comparing VR and non-VR driving simulations«
Westhoven et al. 2016	»Head turn scaling below the threshold of perception in immersive virtual environments«

A.2 Fragenkatalog der Online-Umfrage

Tabelle A.2 Fragenkatalog der Online-Umfrage

ID	**Frage**	**Antwortmöglichkeiten**
Q1	What is your main research/study area? Please specify:	Kurztext
Q2	Which position do you hold?	Undergraduate, Ph.D.Student, Post-Doc, Professor (full, associate, assistant)
Q3	What is your country of residence?	Kurztext
Q4	Rate your experience in user study design:	Likert-Skala 0-5
Q5	Do you generally provide supplementary material additionally to your written publications?	Yes, No, I don't publish my results
Q6	What type of supplementary material do you provide?	Collected Data, Source Code, Built application, Study material, Weitere...
Q7	Do you generally publish the collected data from the conducted studies?	Yes, No, I don't publish my results
Q8	Do you believe, that most of your published studies are reproducible from the information given in the article?	Yes, No, I don't publish my results
Q9	How many studies involving VR did you conduct during the last 24 months?	None, 1-5, 6-10, more than 10

ID	Frage	Antwortmöglichkeiten
Q10	Which VR systems did you use for your research during the last 24 months?	Sony Playstation VR, HTC Vive, Oculus Rift, Samsung Gear VR, Google Cardboard, Weitere...
Q11	How did your participants interact in VR during the last 24 months?	Native VR controllers, Mouse, Keyboard, Freehand interaction (e.g., Leap Motion, motion tracking)
Q12	Do you generally use questionnaires in your VR studies?	Yes, No
Q13	How do you usually present questionnaires in VR studies?	Oraly, On paper, On seperate screen (e.g., PC, tablet, mobile device), Embedded in VR, Weitere...
Q14	Which questionnaires did you use in your VR studies during the last 24 months?	Flow Short-Scale, Game Experience Questionnaire (GEQ), iGroup Presence Questionnaire (IPQ), Immersive Experience Questionnaire (IEQ), Intrinsic Motivation Inventory (IMI), Presence Questionnaires (PQ), Positive and Negative Affect Scale (PANAS), Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ), Self Assessment Manikin (SAM), Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), System Usability Scale (SUS), Task Load Index (NASA-TLX), Virtual Experience Test (VET), Custom questionnaire, Weitere...
Q15	Which types of questions did you use in your questionnaires in VR studies during the last 24 months?	Yes/No questions, Single choice, Multiple choice, Scaled questions, Open-ended questions, Weitere...

ID	Frage	Antwortmöglichkeiten
Q16	Did you encounter difficulties using questionnaires in your VR studies? If yes, please specify:	Langtext
Q17	How useful do you consider embedding questionnaires into the VR environment?	Likert-Skala 0-5
Q18	Have you ever embedded questionnaires in your VR environment?	Yes, fully interactive (visually presenting the question in VR and users give the answer manually), Yes, only visually (visually presenting the question in VR and users reply orally), No, Weitere...
Q19	Please describe the design of your In-VR embedded questionnaires:	Langtext
Q20	Did your participants have difficulties using the In-VR questionnaires? If yes, please specify:	Langtext
Q21	Why did you not embed the questionnaire into your VR environment?	Not considered as useful, Difficulties to embed questionnaire into VR, Usability issues, Weitere...
Q22	Do you have further remarks?	Langtext

A.3 In-VR-Fragebögen der Evaluation

Tabelle A.3 In-VR Fragebögen der Evaluation

Bogennr.	Frage	Antworten	Fragetyp
1	Wer war der erste Mensch auf dem Mond?	Neil Armstrong, Barack Obama, Madonna, O.J. Simpson	Radiolist
1	Welcher Tag kommt nach Samstag?	Montag, Mittwoch, Sonntag, Freitag	Dropdown

Bogennr.	**Frage**	**Antworten**	**Fragetyp**
1	Wie viele Tage hat eine Woche?	0 - 10	Slider
1	Was beschreibt einen Elefanten am Besten?	dünn, dick, haarig, klein	Radio
1	Was ist kleiner als 3?	4, 1, 8, 2, 0	Multiple Choice
2	Wie viele Löcher hat eine Bowlingkugel?	2, 72, 15, 0, 3	Radio
2	Was wiegt am wenigsten?	Basketball, Feder, Auto, Hund	Radiolist
2	Bei welcher Temperatur gefriert Wasser?	-10 - 10	Slider
2	Was kauen Hunde gern?	Stöcker, Knochen, Wände, Schuhe	Multiple Choice
2	Zu welcher Jahreszeit fällt Schnee?	Zu welcher Jahreszeit fällt Schnee?	Dropdown
3	Womit schmecken wir?	Zähne, Lippen, Zunge, Nase	Dropdown
3	Wie viele Finger hat eine Hand?	0 - 10	Slider
3	Welcher Planet ist als der “Rote Planet” bekannt?	Mars, Jupiter, Neptun, Erde	Radio
3	Was schwimmt im Wasser?	Holz, Steine, Autos, Enten	Multiple Choice
3	Woraus bestehen Wolken?	Zuckerwatte, Geister, Schlagsahne, Wasser	Radiolist
4	Was benötigen die meisten Organismen der Erde?	Licht, Süßigkeiten, Sonnenbrillen, Netflix	Radiolist
4	Wie viele Monate hat das Jahr?	10 - 20	Slider
4	Welche Farbe hat ein Stop-Schild?	blau, rot, grün, gelb	Dropdown
4	Womit isst man Suppe?	Löffel, Gabel, Messer, Hand	Radio

Bogennr.	Frage	Antworten	Fragetyp
4	Welches Organ pumpt Blut durch unseren Körper?	Niere, Leber, Herz, Gehirn	Multiple Choice

A.4 Demographie-Fragebogen der Evaluation

Tabelle A.4 Demographie-Fragebogen der Evaluation

Frage	Antwortmöglichkeiten
Alter	Freitext
Geschlecht	männlich, weiblich, anderes
Bildung	Ausbildung, Abitur, Bachelor, Master, PhD, Weitere...
Reguläre elektronische Geräte (min 1X die Woche)	Tablet, Laptop, PC/Mac, Spielekonsole, Wearables (Smart Watch etc.), Virtual Reality Systeme
Erfahrung in VR	Likert-Skala 1-5
Erfahrungen in VR-forschung als Entwickler/Versuchsleiter	Likert-Skala 1-5
Welche Schwierigkeiten hattes Du mit VR-Forschung?	Freitext
Für wie sinnvoll hälst Du In-VR-Fragebögen?	Likert-Skala 1-5

A.5 System Usability Scale

Tabelle A.5 System Usability Scale von Brooke 1996

1.	Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.
2.	Ich empfinde das System als unnötig komplex.
3.	Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.
4.	Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.
5.	Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.
6.	Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.
7.	Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.
8.	Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.
9.	Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.
10.	Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.

Anhang B

Appendix

B.1 Abbildungsverzeichnis

2.1 Floating Menu von Teylingen et al. 1997 5
2.2 Tulip Menu von D. Bowman et al. 2001 5
2.3 Integrierter Fragebogen von Frommel et al. 2015 6
2.4 Integrierter Fragebogen von Schwind et al. 2019 7

3.1 *Q2:* Which position do you hold? 12
3.2 *Q10:* Which VR systems did you use for your research during the last 24 months? 12
3.3 *Q13:* How do you usually present questionnaires in VR studies? 12
3.4 *Q14:* Which questionnaires did you use in your VR studies during the last 24 months? 13
3.5 *Q15:* Which types of questions did you use in your questionnaires in VR studies during the last 24 months? 14
3.6 *Q18:* Have you ever embedded questionnaires in your VR environment? 14

4.1 Design von Radio-Fragen 19
4.2 Design von Radiolist-Fragen 20
4.3 Design von Slider-Fragen 21
4.4 Design von Dropdown-Fragen 21
4.5 Laserpointer in der virtuellen Umgebung 22
4.6 Menünavigation mit Touchpad 23
4.7 Fragebogen in der Welt verankert 24
4.8 Fragebogen am Controller verankert mit Laserpointer 25

5.1 Erstellte virtuelle Umgebung mit Skybox 32
5.2 Ablauf der Expertenevaluation 33

5.3 Veranschaulichung der Konditionen 35
5.4 Vereinfachter Aufbau des Tools 35
5.5 Plot der SUS-Ergebnisse nach Konditionen mit Standardfehler 37
5.6 Plot der SUS-Ergebnisse nach Interaktionsformen mit Standardfehler 38
5.7 Plot der SUS-Ergebnisse nach Kontextformen mit Standardfehler 38
5.8 Plot der Zeit nach Konditionen mit Standardfehler in ms 40
5.9 Plot der Zeit nach Interaktionsformen mit Standardfehler in ms 40
5.10 Plot der Zeit nach Kontextformen mit Standardfehler in ms 41
5.11 Plot der ausgelösten Events nach Kondition mit Standardfehler 41
5.12 Plot der getätigten Klicks nach Kondition mit Standardfehler 42
5.13 Plot der Rangfolge nach Konditionen mit Standardfehler 44
5.14 Plot der Rangfolge nach Interaktionsform mit Standardfehler 45
5.15 Plot der Rangfolge nach Kontextform mit Standardfehler 45
5.16 Kategorisierung von SUS-Scores nach Bangor 2009 48

B.2 Tabellenverzeichnis

4.1 Liste der erfassten Ereignisse 26
4.2 Liste der erfassten Informationen 27
4.3 Beispiel für einen Logeintrag 27

5.1 Post Hoc Analyse der SUS-Konditionen 37
5.2 Deskriptive Statistik der SUS-Ergebnisse nach Konditionen 37
5.3 Deskriptive Statistik der SUS-Ergebnisse nach Interaktionsformen 38
5.4 Deskriptive Statistik der SUS-Ergebnisse nach Kontextformen 38
5.5 Post Hoc Analyse der Zeit nach Konditionen 39
5.6 Deskriptive Statistik der Zeit nach Konditionen in ms 40
5.7 Deskriptive Statistik der Zeit nach Interaktionsformen in ms 40
5.8 Deskriptive Statistik der Zeit nach Kontextformen in ms 41
5.9 Deskriptive Statistik der ausgelösten Events nach Kondition mit Standardfehler . 41
5.10 Deskriptive Statistik der getätigten Klicks nach Kondition mit Standardfehler . . 42
5.11 Ergebnisse der ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur 43
5.12 Post Hoc Analyse der Rangfolge nach Konditionen 44
5.13 Deskriptive Statistik der Rangfolge nach Konditionen 44
5.14 Deskriptive Statistik der Rangfolge nach Interaktionsform 45
5.15 Deskriptive Statistik der Rangfolge nach Kontextform 45

5.16 Effektstärken der gepaarten t-Tests nach Interaktion oder Kontext und abhängigen Variablen 48

A.1 In der Literaturstudie untersuchte Veröffentlichungen 55
A.2 Fragenkatalog der Online-Umfrage 58
A.3 In-VR Fragebögen der Evaluation 60
A.4 Demographie-Fragebogen der Evaluation 62
A.5 System Usability Scale von Brooke 1996 63

Listings

4.1 Beispiel Fragebogen in JSON-Format 18
4.2 Parameter Fragetyp Radio in JSON-Format 19
4.3 Parameter Fragetyp Radiolist in JSON-Format 20
4.4 Parameter Fragetyp Slider in JSON-Format 20
4.5 Parameter Dropdown in JSON-Format 21
4.6 Attribute der Antworten in JSON-Format 25

B.3 Literatur

Bangor, Aaron (2009). »Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale«. en. In: 4.3, S. 10.

Bowman, D.A. und C.A. Wingrave (2001). »Design and evaluation of menu systems for immersive virtual environments«. en. In: *Proceedings IEEE Virtual Reality 2001*. Yokohama, Japan: IEEE Comput. Soc, S. 149–156. ISBN: 978-0-7695-0948-8. DOI: *10.1109/VR.2001.913781*.

Bowman, Doug A., Hrsg. (2005). *3D user interfaces: theory and practice*. Boston: Addison-Wesley. ISBN: 978-0-201-75867-2.

Bowman, Doug A. und Larry F. Hodges (1999). »Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments«. en. In: *Journal of Visual Languages & Computing* 10.1, S. 37–53. ISSN: 1045926X. DOI: *10.1006/jvlc.1998.0111*.

Brooke, John (1996). »SUS - A quick and dirty usability scale«. en. In: S. 7.

Carron, A.V., W.N. Widmeyer und L.R. Brawley (1985). »The Development of an Instrument to Assess Cohesion in Sport Teams: The Group Environment Questionnaire«. en. In: *Journal of Sport Psychology* 7.3, S. 244–266. ISSN: 0163-433X. DOI: *10.1123/jsp.7.3.244*.

Crawford, John R. und Julie D. Henry (2004). »The Positive and Negative Affect Schedule (PANAS): Construct validity, measurement properties and normative data in a large non-clinical sample«. en. In: *British Journal of Clinical Psychology* 43.3, S. 245–265. ISSN: 01446657. DOI: *10.1348/0144665031752934*.

Frommel, Julian, Michael Weber, Katja Rogers, Julia Brich, Daniel Besserer, Leonard Bradatsch, Isabel Ortinau, Ramona Schabenberger, Valentin Riemer und Claudia Schrader (2015). »Integrated Questionnaires: Maintaining Presence in Game Environments for Self-Reported Data Acquisition«. en. In: *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play - CHI PLAY '15*. London, United Kingdom: ACM Press, S. 359–368. ISBN: 978-1-4503-3466-2. DOI: *10.1145/2793107.2793130*.

Gebhardt, S., S. Pick, T. Oster, B. Hentschel und T. Kuhlen (2014). »An evaluation of a smartphone-based menu system for immersive virtual environments«. In: *2014 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, S. 31–34. DOI: *10.1109/3DUI.2014.6798837*.

Hart, Sandra G. und Lowell E. Staveland (1988). »Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research«. en. In: *Advances in Psychology*. Bd. 52. Elsevier, S. 139–183. ISBN: 978-0-444-70388-0. DOI: *10.1016/S0166-4115(08)62386-9*.

Hinckley, Ken, Randy Pausch, John C. Goble und Neal F. Kassell (1994). »A survey of design issues in spatial input«. en. In: *Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '94*. Marina del Rey, California, United States: ACM Press, S. 213–222. ISBN: 978-0-89791-657-8. DOI: *10.1145/192426.192501*.

Jerald, Jason (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. en. Google-Books-ID: ZEBiDwAAQBAJ. Morgan & Claypool. ISBN: 978-1-970001-13-6.

Kennedy, Robert S., Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum und Michael G. Lilienthal (1993). »Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness«. en. In: *The International Journal of Aviation Psychology* 3.3, S. 203–220. ISSN: 1050-8414, 1532-7108. DOI: *10.1207/s15327108ijap0303_3*.

Kim, Namgyu, G.J. Kim, Chan-Mo Park, Inseok Lee und S.H. Lim (2000). »Multimodal menu presentation and selection in immersive virtual environments«. en. In: *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No.00CB37048)*. New Brunswick, NJ, USA: IEEE Comput. Soc, S. 281. ISBN: 978-0-7695-0478-0. DOI: *10.1109/VR.2000.840509*.

Kuliga, S.F., T. Thrash, R.C. Dalton und C. Hölscher (2015). »Virtual reality as an empirical research tool — Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model«. en. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 54, S. 363–375. ISSN: 01989715. DOI: *10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.006*.

LaViola, Joseph J., Ernst Kruijff, Ryan P. McMahan, Doug A. Bowman und Ivan Poupyrev (2017). *3D user interfaces: theory and practice*. Second edition. Addison-Wesley usability and HCI series. OCLC: ocn935986831. Boston: Addison-Wesley. ISBN: 978-0-13-403432-4.

Prachyabrued, Mores, David L. Ducrest und Christoph W. Borst (2011). »Handymap: A Selection Interface for Cluttered VR Environments Using a Tracked Hand-Held Touch Device«. In: *Advances in Visual Computing*. Hrsg. von George Bebis, Richard Boyle, Bahram Parvin, Darko Koracin, Song Wang, Kim Kyungnam, Bedrich Benes, Kenneth Moreland, Christoph Borst, Stephen DiVerdi, Chiang Yi-Jen und Jiang Ming. Springer Berlin Heidelberg, S. 45–54. ISBN: 978-3-642-24031-7.

Putze, Susanne und Dmitry Alexandrovsky (o.D.). »[Unpublished] How Do You Ask Questions? An Analysis of Procedures in Virtual Reality User Studies«. In:

Ritter, Kenneth A., Christoph W. Borst und Terrence L. Chambers (2015). »Overview and Assessment of Unity Toolkits for Rapid Development of an Educational VR Application«. en. In: *International Journal for Innovation Education and Research* 3.7. ISSN: 2411-2933.

Schwind, Valentin, Pascal Knierim, Lewis Chuang und Niels Henze (2017a). »"Where's Pinky?": The Effects of a Reduced Number of Fingers in Virtual Reality«. en. In: ACM Press, S. 507–515. ISBN: 978-1-4503-4898-0. DOI: *10.1145/3116595.3116596*.

Schwind, Valentin, Pascal Knierim, Nico Haas und Niels Henze (2019). »Using Presence Questionnaires in Virtual Reality«. en. In: S. 12.

Schwind, Valentin, Pascal Knierim, Cagri Tasci, Patrick Franczak, Nico Haas und Niels Henze (2017b). »"These are not my hands!": Effect of Gender on the Perception of Avatar Hands in Virtual Reality«. en. In: ACM Press, S. 1577–1582. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025602*.

Slater, Mel und Anthony Steed (2000). »A Virtual Presence Counter«. en. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 9.5, S. 413–434. ISSN: 1054-7460, 1531-3263. DOI: *10.1162/105474600566925*.

Teylingen, R. van, W. Ribarsky und C. van der Mast (1997). »Virtual Data Visualizer«. en. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3.1, S. 65–74. ISSN: 10772626. DOI: *10.1109/2945.582350*.

Vemavarapu, Prabhakar V und Christoph W Borst (2013). »Evaluation of a Handheld Touch Device as an Alternative to Standard Ray- based Selection in a Geosciences Visualization Environment«. en. In: S. 8.

Vergara, Diego, Manuel Rubio und Miguel Lorenzo (2017). »On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering«. en. In: *Multimodal Technologies and Interaction* 1.2, S. 11. ISSN: 2414-4088. DOI: *10.3390/mti1020011*.

Witmer, Bob G. und Michael J. Singer (1998). »Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire«. en. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7.3, S. 225–240. ISSN: 1054-7460, 1531-3263. DOI: *10.1162/105474698565686*.

B.4 Internetquellen

AVIONIX (2018). *Skybox Series Free - Asset Store*. URL: *https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/skybox-series-free-103633* (abgerufen am 25. 02. 2019).

GmbH, LimeSurvey (2019). *Question types – LimeSurvey Manual*. en. URL: *https://manual.limesurvey.org/Question_types* (abgerufen am 07. 02. 2019).

KARBOOSX (2018). *Sci-Fi Styled Modular Pack - Asset Store*. URL: *https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/sci-fi/sci-fi-styled-modular-pack-82913* (abgerufen am 25. 02. 2019).

LLC, Google (2019). *Choose a question for your form - Docs Editors Help*. en. URL: *https://support.google.com/docs/answer/7322334?hl=en* (abgerufen am 07. 02. 2019).

Rigby, Scott und Richard Ryan (2007). *Immersyve » Science of Engagement*. en-US. URL: *http://immersyve.com/white-paper-the-player-experience-of-need-satisfaction-pens-2007/* (abgerufen am 28. 02. 2019).

B.5 Veröffentlichungen der Literaturstudie

Arora, Rahul, Rubaiat Habib Kazi, Fraser Anderson, Tovi Grossman, Karan Singh und George Fitzmaurice (2017). »Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR«. en. In: ACM Press, S. 5643–5654. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025474*.

Azmandian, Mahdi, Timofey Grechkin und Evan Suma Rosenberg (2017). »An evaluation of strategies for two-user redirected walking in shared physical spaces«. en. In: IEEE, S. 91–98. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892235*.

Bhandari, Jiwan, Sam Tregillus und Eelke Folmer (2017). »Legomotion: scalable walking-based virtual locomotion«. en. In: ACM Press, S. 1–8. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139133*.

Bodenheimer, Bobby, Sarah Creem-Regehr, Jeanine Stefanucci, Elena Shemetova und William B. Thompson (2017). »Prism aftereffects for throwing with a self-avatar in an immersive virtual environment«. en. In: IEEE, S. 141–147. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892241*.

Bouyer, Guillaume, Amine Chellali und Anatole Lecuyer (2017). »Inducing self-motion sensations in driving simulators using force-feedback and haptic motion«. en. In: IEEE, S. 84–90. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892234*.

Cheng, Alan, Lei Yang und Erik Andersen (2017). »Teaching Language and Culture with a Virtual Reality Game«. en. In: ACM Press, S. 541–549. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025857*.

Cheng, Lung-Pan, Eyal Ofek, Christian Holz, Hrvoje Benko und Andrew D. Wilson (2017). »Sparse Haptic Proxy: Touch Feedback in Virtual Environments Using a General Passive Prop«. en. In: ACM Press, S. 3718–3728. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025753*.

Chowdhury, Tanvir Irfan, Sharif Mohammad Shahnewaz Ferdous und John Quarles (2017). »Information recall in a virtual reality disability simulation«. en. In: ACM Press, S. 1–10. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139143*.

De Oliveira, Elen Collaco, Philippe Bertrand, Marte Ernesto Roel Lesur, Priscila Palomo, Marcelo Demarzo, Ausias Cebolla, Rosa Banos und Romero Tori (2016). »Virtual Body Swap: A New Feasible Tool to Be Explored in Health and Education«. en. In: *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. Gramado, Brazil: IEEE, S. 81–89. ISBN: 978-1-5090-4149-7. DOI: *10.1109/SVR.2016.23*.

Dey, Arindam, Thammathip Piumsomboon, Youngho Lee und Mark Billinghurst (2017). »Effects of Sharing Physiological States of Players in a Collaborative Virtual Reality Gameplay«. en. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17*. Denver, Colorado, USA: ACM Press, S. 4045–4056. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3026028*.

Faita, Claudia, Federico Vanni, Camilla Tanca, Emanuele Ruffaldi, Marcello Carrozzino und Massimo Bergamasco (2016). »Investigating the process of emotion recognition in immersive and non-immersive virtual technological setups«. en. In: ACM Press, S. 61–64. ISBN: 978-1-4503-4491-3. DOI: *10.1145/2993369.2993395*.

Frommel, Julian, Kim Fahlbusch, Julia Brich und Michael Weber (2017). »The Effects of Context-Sensitive Tutorials in Virtual Reality Games«. en. In: ACM Press, S. 367–375. ISBN: 978-1-4503-4898-0. DOI: *10.1145/3116595.3116610*.

Gai, Wei, Cheng Lin, Chenglei Yang, Yulong Bian, Chia Shen, Xiangxu Meng, Lu Wang, Juan Liu, Mingda Dong und Chengjie Niu (2017). »Supporting Easy Physical-to-Virtual Creation of Mobile VR Maze Games: A New Genre«. en. In: ACM Press, S. 5016–5028. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025494*.

Gugenheimer, Jan, Evgeny Stemasov, Julian Frommel und Enrico Rukzio (2017). »ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users«. en. In: ACM Press, S. 4021–4033. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025683*.

He, Tianyu, Xiaoming Chen, Zhibo Chen, Ye Li, Sen Liu, Junhui Hou und Ying He (2017). »Immersive and collaborative Taichi motion learning in various VR environments«. en. In: IEEE, S. 307–308. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892299*.

Hock, Philipp, Sebastian Benedikter, Jan Gugenheimer und Enrico Rukzio (2017). »CarVR: Enabling In-Car Virtual Reality Entertainment«. en. In: ACM Press, S. 4034–4044. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025665*.

Kaul, Oliver Beren und Michael Rohs (2017). »HapticHead: A Spherical Vibrotactile Grid around the Head for 3D Guidance in Virtual and Augmented Reality«. en. In: ACM Press, S. 3729–3740. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025684*.

Kim, Youngwon Ryan und Gerard J. Kim (2017). »Presence and Immersion of "Easy"Mobile VR with Open Flip-on Lenses«. In: *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. VRST '17. New York, NY, USA: ACM, 38:1–38:7. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139147*.

Kjær, Tina, Christoffer B. Lillelund, Mie Moth-Poulsen, Niels C. Nilsson, Rolf Nordahl und Stefania Serafin (2017). »Can you cut it?: an exploration of the effects of editing in cinematic

virtual reality«. en. In: ACM Press, S. 1–4. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139166*.

Knibbe, Jarrod, Jonas Schjerlund, Mathias Petraeus und Kasper Hornb\a ek (2018). »The Dream is Collapsing: The Experience of Exiting VR«. In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. New York, NY, USA: ACM, 483:1–483:13. ISBN: 978-1-4503-5620-6. DOI: *10.1145/3173574.3174057*.

Knierim, Pascal, Valentin Schwind, Anna Maria Feit, Florian Nieuwenhuizen und Niels Henze (2018). »Physical Keyboards in Virtual Reality: Analysis of Typing Performance and Effects of Avatar Hands«. In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. New York, NY, USA: ACM, 345:1–345:9. ISBN: 978-1-4503-5620-6. DOI: *10.1145/3173574.3173919*.

Krekhov, Andrey, Katharina Emmerich, Philipp Bergmann, Sebastian Cmentowski und Jens Krüger (2017). »Self-Transforming Controllers for Virtual Reality First Person Shooters«. en. In: ACM Press, S. 517–529. ISBN: 978-1-4503-4898-0. DOI: *10.1145/3116595.3116615*.

Lacoche, Jérémy, Nico Pallamin, Thomas Boggini und Jérôme Royan (2017). »Collaborators awareness for user cohabitation in co-located collaborative virtual environments«. en. In: ACM Press, S. 1–9. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139142*.

Lee, Myungho, Gerd Bruder und Gregory F. Welch (2017). »Exploring the effect of vibrotactile feedback through the floor on social presence in an immersive virtual environment«. en. In: IEEE, S. 105–111. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892237*.

Lopes, Pedro, Sijing You, Lung-Pan Cheng, Sebastian Marwecki und Patrick Baudisch (2017). »Providing Haptics to Walls & Heavy Objects in Virtual Reality by Means of Electrical Muscle Stimulation«. en. In: ACM Press, S. 1471–1482. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025600*.

McGill, Mark, Alexander Ng und Stephen A. Brewster (2017). »How Visual Motion Cues Can Influence Sickness For In-Car VR«. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '17. New York, NY, USA: ACM, S. 469–469. ISBN: 978-1-4503-4656-6. DOI: *10.1145/3027063.3049790*.

Mendes, Daniel, Maurício Sousa, Rodrigo Lorena, Alfredo Ferreira und Joaquim Jorge (2017). »Using custom transformation axes for mid-air manipulation of 3D virtual objects«. en. In: ACM Press, S. 1–8. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139157*.

Mirhosseini, Seyedkoosha, Ievgeniia Gutenko, Sushant Ojal, Joseph Marino und Arie E. Kaufman (2017). »Automatic speed and direction control along constrained navigation paths«. en. In: IEEE, S. 29–36. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892228*.

Mottelson, Aske und Kasper Hornbæk (2017). »Virtual reality studies outside the laboratory«. en. In: ACM Press, S. 1–10. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139141*.

Naz, A., R. Kopper, R. P. McMahan und M. Nadin (2017). »Emotional qualities of VR space«. In: *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, S. 3–11. DOI: *10.1109/VR.2017.7892225*.

Nguyen, Cuong, Stephen DiVerdi, Aaron Hertzmann und Feng Liu (2017). »Vremiere: In-Headset Virtual Reality Video Editing«. en. In: ACM Press, S. 5428–5438. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025675*.

Peiris, Roshan Lalintha, Wei Peng, Zikun Chen, Liwei Chan und Kouta Minamizawa (2017). »ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays«. en. In: ACM Press, S. 5452–5456. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025824*.

Ranasinghe, Nimesha, Pravar Jain, Shienny Karwita, David Tolley und Ellen Yi-Luen Do (2017). »Ambiotherm: Enhancing Sense of Presence in Virtual Reality by Simulating Real-World Environmental Conditions«. en. In: ACM Press, S. 1731–1742. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025723*.

Rietzler, Michael, Florian Geiselhart und Enrico Rukzio (2017). »The matrix has you: realizing slow motion in full-body virtual reality«. en. In: ACM Press, S. 1–10. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139145*.

Sargunam, Shyam Prathish, Kasra Rahimi Moghadam, Mohamed Suhail und Eric D. Ragan (2017). »Guided head rotation and amplified head rotation: Evaluating semi-natural travel and viewing techniques in virtual reality«. en. In: IEEE, S. 19–28. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892227*.

Schorr, Samuel B. und Allison M. Okamura (2017). »Fingertip Tactile Devices for Virtual Object Manipulation and Exploration«. en. In: ACM Press, S. 3115–3119. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025744*.

Schwind, Valentin, Pascal Knierim, Lewis Chuang und Niels Henze (2017a). »"Where's Pinky?": The Effects of a Reduced Number of Fingers in Virtual Reality«. en. In: ACM Press, S. 507–515. ISBN: 978-1-4503-4898-0. DOI: *10.1145/3116595.3116596*.

Schwind, Valentin, Pascal Knierim, Cagri Tasci, Patrick Franczak, Nico Haas und Niels Henze (2017b). »"These are not my hands!": Effect of Gender on the Perception of Avatar Hands in Virtual Reality«. en. In: ACM Press, S. 1577–1582. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025602*.

Seele, Sven, Sebastian Misztal, Helmut Buhler, Rainer Herpers und Jonas Schild (2017). »Here's Looking At You Anyway!: How Important is Realistic Gaze Behavior in Co-located Social Virtual Reality Games?« en. In: ACM Press, S. 531–540. ISBN: 978-1-4503-4898-0. DOI: *10.1145/3116595.3116619*.

Shunnaq, Sherazade und Mateus Raeder (2016). »VirtualPhobia: A Model for Virtual Therapy of Phobias«. en. In: *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. Gramado, Brazil: IEEE, S. 59–63. ISBN: 978-1-5090-4149-7. DOI: *10.1109/SVR.2016.20*.

Sousa, Maurício, Daniel Mendes, Soraia Paulo, Nuno Matela, Joaquim Jorge und Daniel Simões Lopes (2017). »VRRRRoom: Virtual Reality for Radiologists in the Reading Room«. en. In: ACM Press, S. 4057–4062. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025566*.

Tran, Tanh Quang, HyunJu Shin, Wolfgang Stuerzlinger und JungHyun Han (2017). »Effects of virtual arm representations on interaction in virtual environments«. en. In: ACM Press, S. 1–9. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139149*.

Tregillus, Sam, Majed Al Zayer und Eelke Folmer (2017). »Handsfree Omnidirectional VR Navigation using Head Tilt«. en. In: ACM Press, S. 4063–4068. ISBN: 978-1-4503-4655-9. DOI: *10.1145/3025453.3025521*.

Verhulst, Adrien, Jean-Marie Normand, Cindy Lombart und Guillaume Moreau (2017). »A study on the use of an immersive virtual reality store to investigate consumer perceptions and purchase behavior toward non-standard fruits and vegetables«. en. In: IEEE, S. 55–63. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892231*.

Vonach, Emanuel, Clemens Gatterer und Hannes Kaufmann (2017). »VRRobot: Robot actuated props in an infinite virtual environment«. en. In: IEEE, S. 74–83. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892233*.

Wagner, Daniel, Christian Hofmann, Heiko Hamann und Sebastian von Mammen (2017). »Design and exploration of braiding swarms in VR«. en. In: ACM Press, S. 1–4. ISBN: 978-1-4503-5548-3. DOI: *10.1145/3139131.3139169*.

Weidner, Florian, Anne Hoesch, Sandra Poeschl und Wolfgang Broll (2017). »Comparing VR and non-VR driving simulations: An experimental user study«. en. In: IEEE, S. 281–282. ISBN: 978-1-5090-6647-6. DOI: *10.1109/VR.2017.7892286*.

Westhoven, Martin, Dennis Paul und Thomas Alexander (2016). »Head turn scaling below the threshold of perception in immersive virtual environments«. en. In: ACM Press, S. 77–86. ISBN: 978-1-4503-4491-3. DOI: *10.1145/2993369.2993385*.

B.6 Liste der Abkürzungen

6-DoF 6-Degrees-of-Freedom

ANOVA Analyse der Varianz

BIP Break-in-Presence

GEQ Group Environment Questionnaire

HMDs Head-Mounted-Displays

IPQ Igroup Presence Questionnaire

JSON JavaScript Object Notation

PANAS Positive and Negative Affect Schedule

PENS Player Experience of Need Satisfaction
PQ Presence Questionnaire

SSQ Simulation Sickness Questionnaire
SUS System Usability Scale

TLX Task Load Index

UI User Interface

VR Virtual Reality