13

Berichte aus dem
Karl-Steinbuch-
Forschungsprogramm

Karl Steinbuch Forschungsprogramm

VIRTUAL REALITY

MFG STIFTUNG

Kasimir Blust
Eva Mattausch
Martin Fuchs
Uwe Schulz

InViRa – Interaktion in Virtuellen Räumen

Berichte aus dem
Karl-Steinbuch-
Forschungsprogramm
Nr. 13

Karl Steinbuch Forschungsprogramm
VIRTUAL REALITY

MFG STIFTUNG

InViRa – Interaktion in Virtuellen Räumen

Kasimir Blust
Eva Mattausch
Martin Fuchs
Uwe Schulz

13

Impressum

Herausgeber:
MFG Stiftung Baden-Württemberg
Breitscheidstraße 4
70174 Stuttgart
Tel. +49 711.90 715 300
Fax +49 711.90 715 350

Ansprechpartnerin:
Dr. Andrea Buchholz
buchholz@mfg.de

© MFG Stiftung Baden-Württemberg 2018 – http://stiftung.mfg.de

Gestaltung: Ingo Juergens, Südgrafik

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Verbesserung der Interaktionsmöglichkeiten in virtuellen Umgebungen. Derzeit setzen viele Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen verstärkt Virtual Reality (VR) Anwendungen für unterschiedliche Aufgabenstellungen ein. Ein kritischer Punkt bei der Erstellung von VR Anwendungen ist die Ausgestaltung von Interaktionsmöglichkeiten und das Feedback für den Anwender. Je nach technischer Ausstattung der VR Brille und der Anforderung der Software werden bisher sehr unterschiedliche Paradigmen zur Steuerung eingesetzt. Ein einheitlicher Standard hat sich bisher nicht etabliert, das liegt unter anderem an der Vielzahl unterschiedlicher Einsatzmöglichkeiten für VR Anwendungen, für die oft ad-hoc Lösungen für die Steuerung und die Interaktionen implementiert werden. Im Bereich der Computerspiele beginnt sich für bestimmte Interaktionen und Steuerungen ein quasi-Standard zu bilden, der jedoch in einem frühen Stadium ist.

In dieser Arbeit wird untersucht, welche Interaktionen in VR Umgebungen mit den heute verfügbaren Controllern möglich und sinnvoll sind. Die unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten wurden anhand einer Literaturstudie und aufgrund der Erfahrungen am Institut für Games klassifiziert. Dabei wird unterschieden zwischen Interaktionen mit Objekten, der Bewegungssteuerung im Raum sowie der Bedienung von Menüs und der Systemsteuerung.

Für die wichtigsten Interaktionen und Steuerungen wurden beispielhafte Prototypen implementiert, die auf der Webseite des Projekts heruntergeladen werden können. Die Ergebnisse sind online unter *http://www.invira.de* zugänglich.

Anhand einer Nutzerstudie mit 63 Probanden wurde die Akzeptanz der unterschiedlichen Interaktionen und Steuerungen untersucht. Die qualitativen Aussagen aufgrund der Studie sollen die Auswahl von Steuerungen in VR Umgebungen für unterschiedliche Anwendungen unterstützen.

Die Ergebnisse sind von Interesse für Unternehmen, die VR Anwendungen selbst entwickeln und einsetzen wollen.

Inhalt

1 Zusammenfassung 3

Einleitung

1. 1 Zielsetzung 6

1. 2 Grundbegriffe 7
1. 2. 1 Virtual Reality 7
1. 2. 2 Augmented Reality und Mixed Reality 7

1. 3 VR Anwendungen 8

1. 4 VR Hardware 8
1. 4. 1 High-End Virtual Reality Systeme 9
1. 4. 2 Mid-Range Virtual Reality-Systeme 10
1. 4. 3 Low-End Virtual-Reality Systeme 11
1. 4. 4 Auswahl des richtigen VR Systems 12
1. 4. 5 Peripherie Geräte 12

2 Durchführung der Nutzerstudie

2. 1 Ablauf der Nutzertests 14

2. 2 Demografische Struktur der Nutzer 15

2. 3 Fragen und Auswertung 17

3 Interaktion

3. 1 Grundlagen der Interaktion in VR 19
3. 1. 1 Beschreiben von Interaktion 19
3. 1. 2 Interaktionsmodalitäten 21
3. 1. 3 Virtuelle Hände und ihre Umsetzung im Fidelity Continuum 22
3. 1. 4 Reality Tradeoffs – Ist realistischer automatisch besser? 27
3. 1. 5 Best Practices für Interaktion in VR 29

3. 2 Nutzerstudie 30
3. 2. 1 Ziele der Nutzerstudie 30
3. 2. 2 Test zur Selektion von Objekten 31
3. 2. 3 Test zur einfachen Objektmanipulation durch eine Sortieraufgabe 32

3. 3 Ergebnisse 33

3. 4 Detaillierte Auswertung 34
3. 4. 1 Aufgabenstellung Auswahl ruhender Objekte 34
3. 4. 2 Aufgabenstellung Auswahl bewegter Objekte 38
3. 4. 3 Aufgabenstellung Sortieren von Objekten 43

4 Bewegung

4.1 Grundlagen der Bewegung in VR 47

4.2 Motion Sickness 47

4.3 Realistische Bewegung 49
4.3.1 Definierende Eigenschaften 50
4.3.2 Redirected Walking 50
4.3.3 Large Scale Tracking 50
4.3.4 Bewertung realistischer Bewegungsmodalitäten 51

4.4 Surreale Bewegung 51
4.4.1 Automated Patterns 51
4.4.2 Steering Pattern 52
4.4.3 3D Multi Touch Pattern 53
4.4.4 Bewertung surrealer Bewegungsmodalitäten 54

4.5 Bewegung und Wegfindung 54

4.6 Best Practices 54

4.7 Nutzerstudie 55
4.7.1 Ziele der Nutzerstudie 55
4.7.2 Testaufbau 58

4.8 Ergebnisse 59

4.9 Detaillierte Auswertung 59
4.9.1 Bewegung mit dem Oculus Remote Controller 60
4.9.2 Bewegung mit dem Oculus Touch Controller 64

5 Systemsteuerung / Menü

5.1 Grundlagen der Systemsteuerung in VR 68

5.2 Benutzerschnittstellen in VR 68
5.2.1 Flache Schnittstelle 68
5.2.2 Räumliche Schnittstelle 69
5.2.3 Richtiges Design von Anfang an 69
5.2.4 Eingebettete Schnittstellen 69

5.3 Nutzerstudie 70
5.3.1 Ziele der Nutzerstudie 70
5.3.2 Testablauf 70

5.4 Ergebnisse der Nutzerstudie 72

5.5 Detaillierte Auswertung 73

6 Schlussbetrachtung 78

Quellen 79

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Die Digitalisierung medial vermittelter Erfahrungen hat in den vergangenen Jahren massive Fortschritte gemacht und neue Anwendungsfelder erschlossen. So wurde etwa durch die flächendeckende Verbreitung sozialer Netzwerke, die zunehmende Anwendung von Cloud-Computing und nicht zuletzt die Smartphone Revolution eine neue Ära der Kommunikation eingeläutet, die Unternehmen jeder Größe neue Möglichkeiten bietet.

Der nächste große Schritt könnte in *Virtual Reality (VR)* Techniken bestehen, die durch die Einführung insbesondere der VR Systeme HTC Vive und Oculus Rift in den Prosumer-Markt vor wenigen Jahren nicht nur für kleinere Unternehmen, sondern sogar für Endanwender bezahlbar geworden sind. Sie erschließen nicht nur – etwa im Umfeld von VR Unterhaltungsanwendungen und Spielen – neue Geschäftsfelder, sondern treiben mit innovativen Ansätzen in Produktentwicklung, Training und Marketing auch innergeschäftliche Prozesse voran.

Gleichzeitig bestehen beim Innovationstransfer noch spezifische Herausforderungen, insbesondere was die *Interaktion* mit diesen neu geschaffenen *virtuellen* Umgebungen entspricht:

- die verfügbare Technologie ist noch nicht ausgereift und bezüglich vieler Teilprobleme konkurrieren unterschiedliche Ansätze noch um die optimale Lösung.

- die Vermischung von Sinnesreizen aus der *tatsächlichen* Realität (insbesondere über den Gleichgewichtssinn) mit denen der *virtuellen* Realität (insbesondere über den Sehsinn) kann bei Anwendern der neuen Technik zu widersprüchlichen Erfahrungen, schlimmstenfalls zu Übelkeit *(„Cyber- oder Motion Sickness“)* führen, deren Symptome mit der Seekrankheit vergleichbar sind.

Dadurch sind unkonventionelle Ansätze in der Entwicklung von VR Anwendungen erforderlich. Mit dem *InViRa*-Projekt, gefördert durch die Stiftung der Medien- und Filmgesellschaft Baden-Württemberg im Rahmen des Karl-Steinbuch-Forschungsprogramms, haben wir daher systematisch alternative Interaktionsmodalitäten untersucht und möchten mit unseren Ergebnissen eine Hilfestellung geben, die Entwicklern eine Basis dafür bietet, neue und innovative Anwendungskonzepte zu erschaffen.

Nach einer Übersicht über die im Markt verfügbaren Technologien erläutern wir in den folgenden Abschnitten die aktuell verbreiteten Interaktionsparadigmen in diesen neuen Medien und liefern neben den Resultaten unserer Nutzerstudien Best Practices der VR Entwicklung. Ergänzend bieten wir unter *www.invira.de* Code-Beispiele jeweils für die führenden Spiele-Entwicklungsumgebungen *Unreal Engine* und *Unity.*

1.2 Grundbegriffe

1.2.1 Virtual Reality

Virtual Reality („virtuelle Realität", VR) vermittelt künstliche, meist digital gestaltete Erfahrungen. Anders als etwa beim Lesen eines Buchs oder Anschauen eines Films sind die Erfahrungen in der Regel interaktiv, mindestens aber bieten sie dem Anwender die freie Wahl des Blickpunkts in einer künstlich erzeugten, virtuellen Welt. In Abgrenzung von herkömmlichen Computerspielen oder interaktiven Visualisierungen streben VR Anwendungen eine gezielte Wahrnehmungsveränderung an, die Menschen den Eindruck der eigenen Anwesenheit *(Presence)* in der virtuellen Umgebung vermittelt und ein Eintauchen *(Immersion)* in die virtuelle Welt ermöglichen soll. Häufig ist dabei das Beeinflussen der Seh- und Hörsinne der wirksame Mechanismus.

Um dies zu ermöglichen, ist besondere Hardware erforderlich. Zentrale Komponente der meisten VR Systeme ist ein *VR Headset (VR Brille),* die den beiden Augen eines Anwenders unterschiedliche Bilder zeigen kann und dadurch über den Stereo-Effekt (leicht verschobene Bilder für die beiden Augen) die menschliche Tiefenwahrnehmung beeinflusst. Ergänzend kommt oft ein Kopfhörer zum Einsatz, der binaural simulierte Geräusche aus der simulierten Umgebung wiedergibt.

Um die dargestellten Bilder und Geräusche an die Kopfbewegung des Anwenders anpassen zu können, muss das VR System schnell und präzise die relative Änderung von Position und Ausrichtung des Anwenderkopfes bestimmen und verfolgen können *(Tracking).* Schon kleine Verzögerungen im Millisekundenbereich oder Schätzfehler können dabei zu körperlichem Unwohlsein und schließlich *Cyber Sickness* führen.

1.2.2 Augmented Reality und Mixed Reality

Mit Tracking-Techniken lassen sich auch *Augmented Reality (ergänzte Realität, AR)*-Anwendungen realisieren, bei der virtuelle mit realen Eindrücken gemischt werden. Für Smartphones entstehen aktuell konkurrierende Anwendungs-Frameworks, die auf dem Display des Smartphones in Echtzeit virtuelle Objekte so über die Bilder einer eingebauten Kamera überlagern, dass beim Betrachten des Monitors der Eindruck entsteht, sie seien Teil der tatsächlichen Welt.

Mixed Reality (MR) kombiniert dabei VR und AR-Techniken, um tatsächliche und virtuelle Szenen mit höchsten Realismus zusammenzuführen, etwa durch das Verwenden eines Stereo-Kamerabildes in einer VR Brille.

Die begriffliche Abgrenzung zwischen VR, AR und MR ist allerdings fließend und wird in der Literatur ggf. auch abweichend von obigen Definitionen verstanden. Microsoft etwa bietet eine Entwicklungsplattform unter der Bezeichnung „Mixed Reality" an, die neben Mixed-Reality Hardware im obigen Sinn (wie das Microsoft HoloLens Headset) auch Komponenten beinhaltet, die mit kamerabasierten Tracking-Techniken aus der AR-Welt VR Anwendungen ohne Zumischung von Realdaten ermöglicht.

1.3 VR Anwendungen

Die Anwendungsmöglichkeiten in Virtual Reality gestalten sich vielfältig. Da der Markt im aktuellen Innovationszyklus hauptsächlich durch Konsumenten getrieben wurde, finden sich auch in diesem Bereich die meisten Anwendungen wieder. Ganz vorne stehen Unterhaltungsmedien: Computerspiele, 360-Grad Filme und sogar live übertragenen Konzerte und Shows. Auch Konsumententools wie das 3D-Malprogramm Tilt Brush oder Google Maps VR zählen zu den Anwendungen der ersten Stunde, die durch die neue Generation an VR Brillen möglich wurden. Aber auch im Business Bereich sind bereits viele Konzepte umgesetzt worden. So bieten die ersten Autohersteller potentiellen Käufern an, Optionen für das Interieur noch vor der Bestellung in VR auszuprobieren[1].

Auch Trainingsprogramme für Gefahrensituationen sind bereits in der Entwicklung, ein aktuelles Beispiel ist der Simulator für Arbeiten mit einer Tunnelbohrmaschine unter Tage der Firma Datenflug, mit der die Handhabung komplexer Maschinen in Echtzeit trainiert werden kann[2].

Im Einsatz von VR spielen verschiedene Beweggründe eine Rolle. Einerseits kann der Einsatz von VR einen originären Mehrwert über eine herkömmliche Visualisierungslösung erzeugen, etwa bei Visualisierungen von noch nicht gebauten Fahrzeugen oder dem Erfahren des räumlichen Eindrucks in architektonischen Planungsprozessen. Oft ist allerdings auch der Neuheitswert der Technik ein Grund für den Einsatz. Dies erfordert eine Abwägung, ob die Neuheit selbst einen Mehrwert bietet, weil er etwa bei Marketing-Anwendungen mehr potentielle Konsumenten anspricht.

1 ww.audi-mediacenter.com/de/pressemitteilungen/audi-startet-virtual-reality-im-autohaus-9270

2 www.datenflug.de/virtueller-schulungssimulator

1.4 VR Hardware

Der Markt für die verfügbaren VR Systeme unterliegt aktuell einer starken Entwicklungsdynamik. Mutmaßlicher Auslöser für den aktuellen Entwicklungsschub war das Startup Unternehmen Oculus VR, welches, zunächst finanziert von Crowd-

Funding, das Oculus Rift Projekt begann. Anders als die gescheiterten vorherigen Versuche, VR Technik in den Consumer Bereich zu bringen – z. B. in den späten 90er Jahren – profitierte dieses Projekt von der Verfügbarkeit von hochauflösenden, kompakten Displays aus dem Smartphone Umfeld und der seitdem rasant gestiegenen Leistung von Consumer Grafikhardware, mit der die hohen Bildraten möglich wurden, die für latenzarme und robuste Anzeige verantwortlich sind. Zwischenzeitlich (2014) ging Oculus VR im Facebook Konzern auf, wodurch die langfristige Finanzierung gesichert war. Neben der Oculus hat sich das HTC VR System Vive als führende Hardware im high-end Bereich etabliert.

Aktuell – Stand Mitte 2018 – gibt es ein vielfältiges Angebot marktverfügbarer VR Systeme. Da sich die Systeme im technischen Aufbau erheblich unterscheiden können, ist vor der Kaufentscheidung der Abgleich von benötigten und angebotenen Eigenschaften von besonderer Bedeutung.

Im Folgenden geben wir eine Übersicht über die derzeit verfügbaren Leistungsklassen.

1.4.1 High-End Virtual Reality Systeme

HTC Vive und Oculus Rift CV1 sind die bekanntesten und im Markt prominentesten VR Systeme. Sie setzen jeweils zwingend eine PC-Workstation mit einer leistungsfähigen Grafikkarte voraus und verursachen daher in unserem Vergleich die höchsten Anschaffungskosten.

Andererseits verfügen sie über die vom Benutzer getragenen Brillen hinaus über spezialisierte Zusatzhardware, die ein besonders präzises Tracking der Brille und der Controller ermöglichen.

Zur **Oculus VR** Brille gehören zwei Kameras, die vor dem Benutzer, z.B. auf dem Schreibtisch aufgestellt werden. Diese Kameras zeichnen die Bewegung von Markern auf, die auf der Brille angebracht sind. Durch die Verfolgung der Marker an beiden Kameras lässt sich die Position der Brille im Raum bestimmen.

ABB. 1 (LINKS)
Kameras der Occulus VR Brille

ABB. 2 (RECHTS)
Die HTC Vive VR Brille

ABB. 3 Basisstationen der HTC Vive

Ein großer Vorteil dieser Einheit ist der einfache Aufbau, das System ist ohne weitere Hardware wie z. B. Stative und ohne technische Kenntnisse schnell installiert. Allerdings ist der Aktionsradius des Benutzers eingeschränkt und es kann in der Regel nur eine Brille verwendet werden.

Die **HTC-Vive** Brille verfügt über ein aktives Infrarotlicht Ortungssystem, dessen Basisstationen in Raumecken befestigt werden und von auf der Brille angebrachten Photosensoren verarbeitet werden.

Dieses System ermöglicht damit eine mehrere Quadratmeter große Zone, in der die Brille getrackt werden kann *(room-scale VR).* Auch die Verwendung mehrerer Brillen im gleichen Raum ist bei diesem System möglich.

Die ab Herbst 2018 erhältliche neueste Version der HTC Vive pro kann mit bis zu vier Basisstationen arbeiten und Räume von mehr als 50 qm Größe abdecken, was die Einsatzmöglichkeiten für professionelle Anwendungen wie z.B. bei Ausstellungen und Messen stark ausweitet.

Neben Unterschieden in den möglichen Vertriebskanälen für VR Software ist der trackbare Bereich das größte Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Systemen.

Darüber hinaus existieren im Markt weiter spezialisierte, allerdings teilweise auch exotischere Angebote, die mit Alleinstellungsmerkmalen herausstechen, etwa folgende Systeme:

- **Star VR** [StarVR Corp. 2017] hat mit 210° FOV (sichtbarer Blickwinkelbereich, *Field of View)* ein deutlich größeres Sichtfeld und bietet eine Auflösung von 5.120 x 1.440 Pixeln.

- **Primax 8K** [Primax Technology (Shanghai) Co., LTD 2017] bietet eine außergewöhnliche Auflösung von 3.840 x 2.160 Pixeln pro Auge, sowie ein Field-of-Fiew von 200°. Allerdings kann das VR System bezüglich anderer Eigenschaften, insbesondere der Latenz, nicht mit den Mainstream Produkten mithalten.

1.4.2 Mid-Range Virtual Reality-Systeme

Im mittleren Preissegment sind aktuell vor allem die Systeme zu finden, die auf Microsofts Plattform *Mixed Reality* aufbauen. Diese verfügen statt des *Out-In-Trackings* der High-End-Systeme über ein *In-Out Tracking:* die VR Brillen beobachten

mit daran angebrachten Kameras die Umgebung, daraus wird die Position des Anwenders errechnet. Diese Konstruktion hat den Vorteil, dass keine externen, besonderen Aufbauten erforderlich sind, allerdings ist das Tracking dadurch unter Umständen weniger genau als bei den Out-In-Syteme. Peripheriegeräte wie Motion-Controller, deren Position ebenfalls getrackt werden muss, können außerhalb des Sichtbereichs der Kameras nicht verfolgt werden.

Im gleichen Segment findet sich auch Sony Playstation VR, ein VR System speziell für die Playstation 4 und Playstation 4 Pro-Spielekonsolen. Sie überzeugt in Preis und Tragekomfort, aber durch die feste Kopplung an die Konsolen, die geringere Rechenkapazitäten als Grafik-Workstations zur Verfügung stellen können, ist die Anzeigequalität nicht im gleichen Maße wie die der PC-basierten Systeme skalierbar.

‚Weitere Brillen im mittleren Preissegment von 200 –400 € sind:

- Die **Oculus Go,** eine zu GearVR kompatible Brille mit einer Auflösung von 2.560 x 1.440 Pixeln, die allerdings nur die Kopfbewegung verfolgen kann.

- Die **Lenovo Mirage** ist, wie die Oculus Go, eine autarke Brille mit der gleichen Auflösung von 2.560x1.440 Pixeln, die volles Raumtracking beherrscht.

Beide Brillen haben den den Vorteil, dass sie mit Kameras optisch tracken, was den Aufbau erheblich vereinfacht. Sie erreichen aber nicht die Qualität des Tracking der high-end Systeme.

1.4.3 Low-End Virtual-Reality Systeme

Am unteren Ende der Aufwandsskala wird von einer Vielzahl von Anbietern eine Auswahl von VR Brillen angeboten, die auf Smartphones aufgesetzt werden und damit deren Displays und Sensorik mitnutzen können.

- Das Einsteigermodell **Google Cardboard** ist für nur etwa 20 € im Handel erhältlich. Es besteht aus einem Pappgestell mit zwei Linsen, das auf verschiedene Smartphones verschiedener Hersteller aufgesetzt werden kann, um eine kombinierte VR Brille zu schaffen. Die Darstellungsqualität ist allerdings entsprechend marginal. Für etwa 60 € bietet Google die wesentlich komfortablere Brille Daydream View an.

- **Samsung Gear VR,** das in Zusammenarbeit mit Oculus entwickelt wird, funktioniert technisch wie Google Cardboard, ist allerdings hochwertiger, aber explizit auf wenige Smartphone Modelle des Herstellers Samsung zugeschnitten und benötigt keine Hand, um die VR Brille zu halten.

- Einfache Brillen mit Dioptrien-Ausgleich für unterschiedliche Smartphones gibt es unter anderem von Zeiss, Noon VR, Ednet VR, LogiLink und Stealth VR.

1.4.4 Auswahl des richtigen VR Systems

Welches System sich für eine Anwendung am besten eignet, hängt von den spezifischen Anforderungen der Anwendung ab. Eine wichtige Rolle spielt die Permanenz der Installation des Endsystems.

Für Anwendungen, in denen wenige Installationen vorgesehen sind – etwa im B2B-Bereich – sind aufgrund der Stabilität der Entwicklungsprozesse und der Qualität des erreichbaren Ergebnisses Systeme aus dem High-End Segment grundsätzlich vorzuziehen, da die Kosten für die spezialisierte Hardware – aktuelle Stückpreise liegen bei etwa 500 € – 1500 € – gering gegenüber den sonstigen Entwicklungskosten sind.

Insbesondere wenn die Anwendung über lange Zeit am gleichen Standort aufgebaut bleibt, empfiehlt sich die HTC Vive mit ihrem Lighthouse System. Muss das System oft mitgenommen werden, empfiehlt sich eine sitzende/stehende VR Experience mit der Oculus Rift, da diese schneller aufgebaut werden kann.

Wird noch mehr Flexibilität benötigt, kann eine der VR Brillen mit Microsofts Mixed Reality-Technik optimal sein, da hier nur die Brille an den Rechner angeschlossen werden muss und keine Tracking System aufgebaut werden müssen, allerdings sind gegenüber den High-End Systemen Qualitätseinbußen unvermeidlich.

Für Anwendungen mit vielen simultanen Teilnehmern ist häufig eine Smartphone-basierte Brille optimal, da hier der Anschaffungspreis deutlich geringer ausfällt. Allerdings fehlen diesen Systemen meist das Positionstracking (die Blickrichtung wird zwar erfasst, nicht aber der Ort, wodurch Parallaxe-Effekte fehlen) und die erzielbare graphische Qualität ist geringer.

Dennoch ist es in der Aufbauphase von VR Kompetenz im Unternehmen empfehlenswert, ein einziges VR System standardisiert einzuführen, da es vor allem bei den teureren High-End Brillen auch Unterschiede in der Softwareumgebung gibt und sich entsprechend die verfügbaren Plug-Ins für existierende Spiele-Engines teilweise deutlich unterscheiden.

1.4.5 Peripherie Geräte

Neben den VR Brillen bieten viele Systeme die Integration getrackter Peripherie-Geräte – *Motion Controller* – an, die als Eingabesysteme verwendet werden können und die Immersion über Standard-Gamecontroller hinaus verbessern. Sie sind in der Regel in die jeweilige Tracking-Mechanik des Systems entsprechend des Kopftrackings integriert und können zumindest die Position der Hände im Raum visua-

lisieren (zum Beispiel, in dem ein Rendering des getrackten Controllers relativ zum Anwender in der virtuellen Welt eingeblendet wird).

Darüber hinaus gibt es, auch von Drittherstellern, Systeme, die mit einem erweiterten Funktionsumfang die Immersion weiter verbessern sollen. Ihr Einsatz erhöht allerdings die Komplexität des Aufbaus, die nicht immer im Verhältnis zur gesteigerten Tiefe der Immersion steht.

Das Leap Motion System etwa kann die Hände der Anwender digital erfassen und in der virtuellen Welt darstellen. Es wird vorne an der VR Brille befestigt und per USB an die Brille oder den PC angeschlossen und erfasst optisch Hand- und Fingerbewegungen. Allerdings ist Leap Motion limitiert: durch die Positionierung an der VR Brille können die Hände auch nur im Sichtfeld des Anwenders gesehen werden. Muss die Position der Hände auch außerhalb des Sichtfeldes getrackt werden, sind herkömmliche Motion-Controller die bessere Alternative.

Man kann auch Peripherie Geräte einsetzen, die es ermöglichen, den Spieler durch seine eigene Bewegung in der Anwendung (in VR über den getrackten Bereich hinaus) zu bewegen, wodurch sich der Spieler mit seinen Füßen durch den Raum schieben kann. Ein Beispiel ist die Bewegungsplatform Kat Walk des chinesischen Herstellers KatVR[3], bei der der Nutzer mit speziellen Schuhen über eine mit Bewegungssensoren ausgestattete Bodenplatte läuft.

Alternativ kann man auch ein passives Laufband mit Sensoren ausstatten und damit eine eindimensionale Laufbewegung messen, wie es die Anwendung VRun der Hochschule der Medien macht[4]. Allerdings ist dies für die Anwender durch den erhöhten Bewegungsaufwand anstrengender und der Benutzer muss gegen fallen gesichert werden. Eine zweite Möglichkeit, eindimensionale Bewegungen zu messen, ist die Integration eines Fahrrad-Heimtrainers.

Schließlich kann man auch Motion-Controller an den Füßen der Anwender befestigen, wenn diese für das Handtracking nicht benötigt werden und somit die Position der Füße genau tracken.

3 www.katvrglobal.com

4 www.hdm-stuttgart.de/stage/projekt_detail/projekt_details?projekt_ID=2413

2 Durchführung der Nutzerstudie

Im Rahmen des Projekts wurde eine umfangreiche Nutzerstudie durchgeführt mit dem Ziel, die Akzeptanz und die Benutzerfreundlichkeit unterschiedlicher Interaktionstechniken in VR zu untersuchen. Für die Studie wurde eine VR Testumgebung in Unity entwickelt, mit der die Bereiche **Interaktion, Bewegung** und **Systemsteuerung/Menüführung** gezielt untersucht werden können. Für jeden dieser Bereiche wurde die Umgebung entsprechend angepasst und eine eigene Testphase durchgeführt.

Die Untersuchungen der drei Bereiche wurden an drei verschiedenen Tagen durchgeführt. Es nahmen jedes Mal ca. 20 Personen teil, einige davon an allen drei Tagen. Insgesamt waren 63 Personen an den Tests beteiligt.

Die Untersuchungen wurden mit der Oculus VR Brille durchgeführt, da bei dieser Brille zwei unterschiedliche Eingabegeräte zur Verfügung stehen: die **Oculus Remote** und der Oculus Touch Controller. Die kleineren Oculus Remote Controller sind in der Grundausstattung der Brille enthalten, während der aufwändigere Oculus Touch Controller gesondert erworben werden muss.

In diesem Kapitel wird die grundsätzliche Vorgehen bei der Nutzerstudie erläutert, in den folgenden drei Kapiteln wird auf die Besonderheiten der drei untersuchten Bereiche eingegangen und die Ergebnisse vorgestellt.

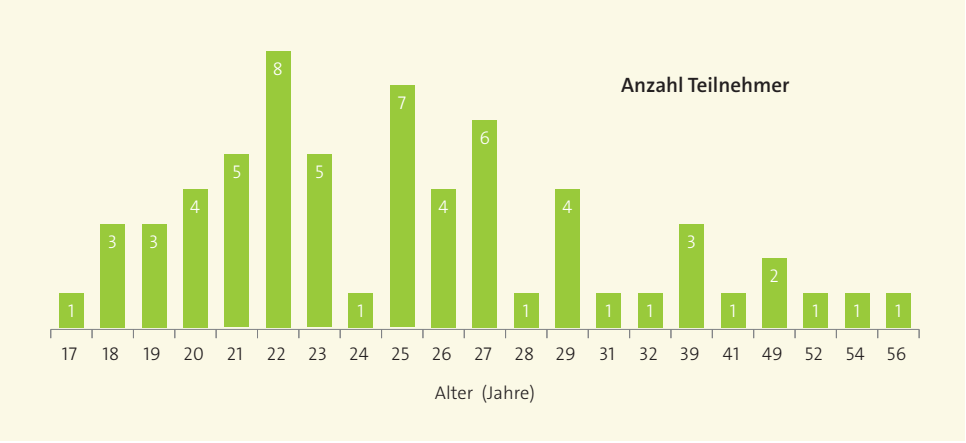
2.1 Ablauf der Nutzertests

Der Ablauf bei allen Nutzertests war gleich:

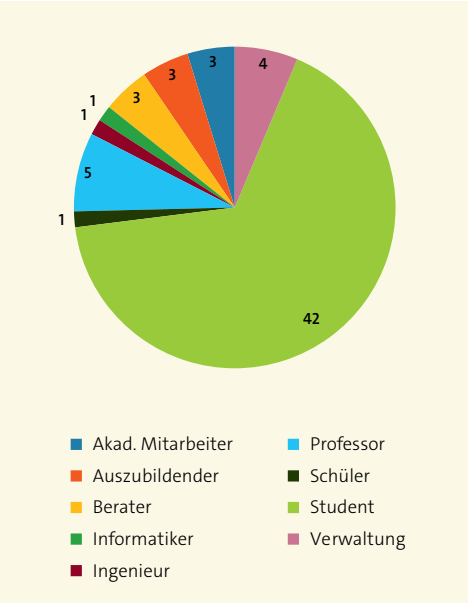
- Die Teilnehmer wurden im VR-Labor der Hochschule der Medien begrüßt und unterzeichneten eine Einverständniserklärung.
- Über einen Online-Fragebogen wurden demografische Daten erhoben.
- Der Test selbst wurde in einem von zwei abgetrennten Bereichen innerhalb des Labors durchgeführt. In beiden Räumen standen Testpersonen eine Oculus Rift, Oculus Touch Controller und die Oculus Remote zur Verfügung.
- Eine Person aus dem InViRa-Team erklärte den Teilnehmern die Controller und die Oculus Remote und half beim Anlegen der Brille.

2.2 Demografische Struktur der Nutzer

Im Folgenden werden die wichtigsten Kenndaten für alle Teilnehmer dargestellt, also die 63 Personen, die an mindestens einer der Testphasen teilgenommen haben.



Der Anteil an Studierenden ist hoch, daher sind Teilnehmer im Alter von 20–25 Jahren stark vertreten während die Zahl der männlichen und weiblichen Personen relativ ausgewogen ist.



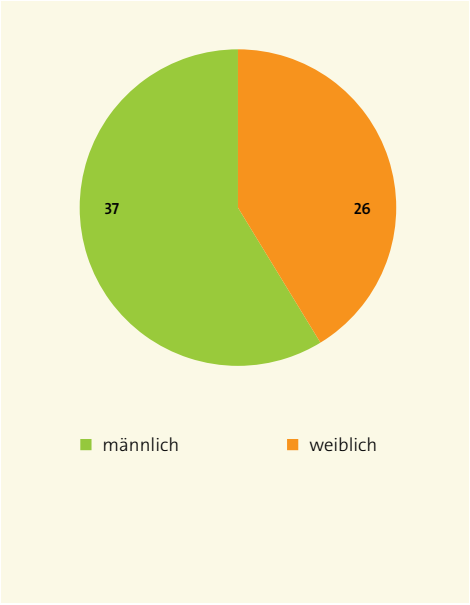
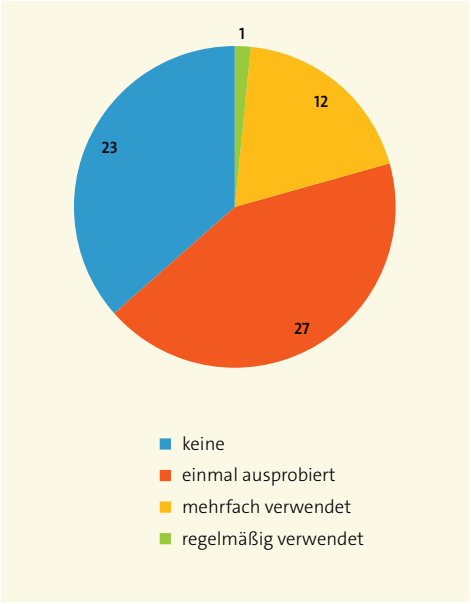


ABB. 5 (LINKS)
Berufe der Teilnehmer

ABB. 6 (RECHTS)
Geschlecht der Teilnehmer

Ein weiteres wichtiges Merkmal war die Erfahrung mit VR Anwendungen, deshalb wurde ermittelt, ob überhaupt schon Erfahrung mit VR vorliegt und es wurden zusätzlich abgefragt, mit welcher Art von VR Anwendung die Probanden schon Erfahrung gesammelt haben.



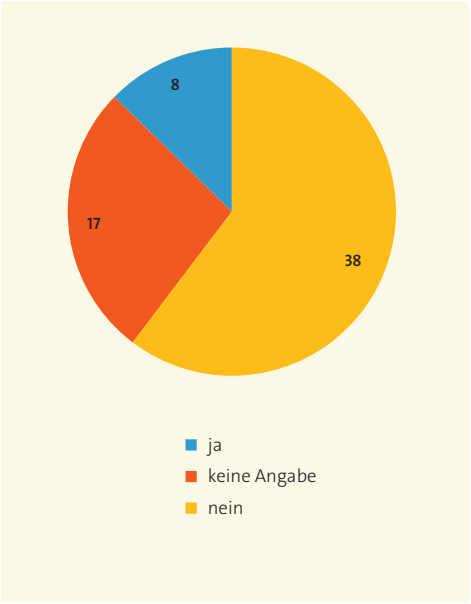
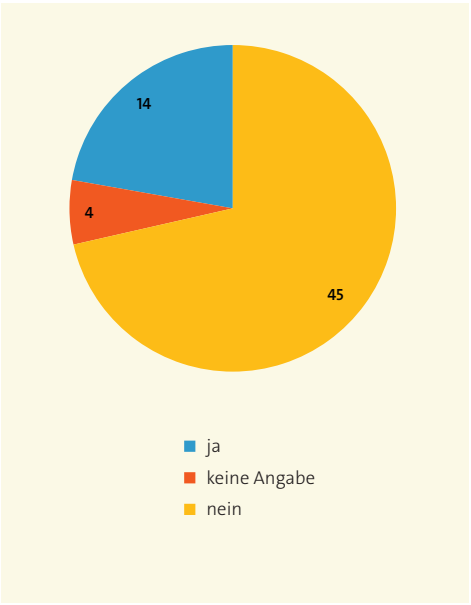


ABB. 7 (LINKS)
VR Erfahrung der Teilnehmer

ABB. 8 (RECHTS)
Empfindlichkeit für Motion Sickness

Darüber hinaus wurde gefragt, ob die Teilnehmer seekrank werden, ob ihnen übel wird, wenn sie beim Autofahren lesen und ob sie für Motion Sickness empfindlich sind.



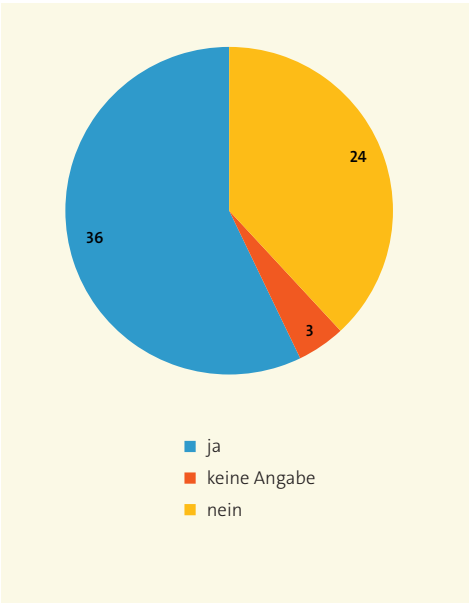


ABB. 9 (LINKS)
Anfälligkeit für Seekrankheit

ABB. 10 (RECHTS)
Übelkeit beim Lesen im Auto

Obwohl die Mehrzahl Teilnehmer aus dem Umfeld der Hochschule rekrutiert wurden, findet sich eine gute Verteilung der meisten Merkmale, so dass von einer statistisch relevanten Grundgesamtheit ausgegangen werden kann.

2.3 Fragen und Auswertung

Während des Tests wurden innerhalb der VR Umgebung durch den Teilnehmer Fragebögen für die qualitative Analyse ausgefüllt. Außerdem wurde eine Bildschirmaufnahme angefertigt. Dabei stand ein mehrstufiges Antwortsystem zur Verfügung, bei dem die Anwender auswählen können, in welchem Maß sie einer gegebenen Aussage zustimmen.

Die Fragebögen für die drei Bereiche waren grundsätzlich gleich aufgebaut, sie enthielten jeweils 12 Fragen, auf die mit einer 6-Stufigen Skala von „trifft gar nicht zu" bis „trifft voll zu" geantwortet wurde.

Dabei wurden folgende Aspekte der unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten evaluierten:

Fun – macht die Interaktion Spaß?
(1) Ich hatte Spaß an der Interaktion.
(5) Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden.
(9) Ich war während des Tests entspannt.

Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?
(2) Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden.
(6) Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt.
(10) Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm.

Erlernbarkeit – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?
(3) Die Aufgabe war einfach zu bewältigen.
(7) Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken.
(11) Ich konnte die Steuerung schnell lernen.

Physis – führt die Interaktion zu Ermüdung oder zu Motion Sickness?
(4) Der Test war körperlich ermüdend für mich.
(8) Ich habe während des Tests Schwindel oder Übelkeit verspürt.
(12) Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen.

Im Anschluss wurde den Teilnehmern die gespeicherte Bildschirmaufnahme noch einmal vorgespielt und retrospektives Denken angewandt – die Anwender wurden gebeten, ihre Gedanken zu dem, was sie sehen, laut zu äußern. Dieser Teil des Interviews wurde mit einer Kamera aufgezeichnet und später transkribiert.

Abschließend wurden die Teilnehmer gebeten, die ausprobierten Interaktionsmöglichkeiten von „hat am besten gefallen" nach „hat am wenigsten gefallen" zu sortieren.

Für die detaillierte Auswertung des Fragebogens wurde der Durchschnitt der Antworten aller Fragen in eine Schulnote umgewandelt, wobei „trifft voll zu" die

Note 1 und „trifft gar nicht zu" die Note 6 bekam. Die Antworten der Teilnehmer zu einer Aufgabe werden in mehreren Balkendigrammen zusammengefasst, wobei jedes Diagramm die Antworten zu einer Interaktionsmöglichkeit zeigt.

Unterhalb der Diagramme zu einer Aufgabe wird die Signifikanz der Ergebnisse farblich und durch einen numerischen Wert angezeigt. Um die Signifikanz der Ergebnisse zu ermitteln, wurde der **Friedman-Test**[5] verwendet um festzustellen, ob die Tendenz von abhängigen Stichproben verschieden ist. Er wird anstatt des t-Tests verwendet, weil die Daten keine metrische Skala aufweisen sondern nur ordinalskaliert sind, da es sich um Einschätzungen der Nutzer handelt.

Für die statistischen Auswertungen wurde die Python-Bibliothek *scipy.stats*[6] verwendet.

5 de.wikipedia.org/wiki/Friedman-Test_(Statistik)

6 www.scipy.org

3 Interaktion

3.1 Grundlagen der Interaktion in VR

Virtuelle Realität ermöglicht uns, Erfahrungen zu machen, die in der realen Welt entweder nicht existieren oder zu gefährlich, zu aufwändig oder zu teuer sind. Einige Anwendungen beschränken sich auf reine Visualisierungen in VR. Alleine die Erfahrung, sich in einer künstlichen Umgebung umsehen zu können macht oft schon den ganzen Nutzen einer solchen Anwendung aus. Auch 360°-Filme können sich auf das Sichtbarmachen beschränken. Auf der anderen Seite gibt es allerdings viele Anwendungen, die erst durch Interaktionen im virtuellen Raum wie z. B. das virtuelle Anfassen ihren vollen Nutzen entfalten können.

Interaktion ist dabei eine wichtige Komponente. Dies sind nur einige Beispiele:

- **Training:** Um in virtuellen Umgebungen Handlungsabläufe zu üben, ist Interaktion erforderlich – die Lernenden müssen ihre Hände mit in die virtuelle Welt bringen können.

- **Produkt-Visualisierungen:** Es gibt eine Unzahl an Dingen, die wir in die Hand nehmen müssen oder können. Wenn Produkte in VR visualisiert werden, ist das virtuelle in-die-Hand-Nehmen daher sehr nützlich, da es einen besseren Eindruck vom Produkt vermitteln kann als reines Ansehen. Auch wenn das Produkt an sich interaktiv sein soll, muss eine realistische Darstellung in der virtuellen Welt auch entsprechende Interaktionsmöglichkeiten bieten.

- **Steuerung:** Interaktivität ist dann besonders wichtig, wenn die VR Anwendung Elemente besitzt, die gesteuert oder verändert werden müssen. Zum Beispiel, wenn es ein Produkt in unterschiedlichen Farben oder Ausführungen gibt, zwischen denen gewechselt werden soll.

3.1.1 Beschreiben von Interaktion

Um Interaktionen für bestimmte Anwendungen zu gestalten, brauchen wir ein gemeinsames Vokabular, um sie zu beschreiben. Formen der Interaktion lassen sich übergeordnet in sogenannten *Interaction-Patterns* einordnen:

> *"An interaction pattern is a generalized high-level interaction concept that can be used over and over again across different applications to achieve common user goals." [Jerald 2016, S. 323]*

Interaction-Patterns sind der gemeinsame Nenner verschiedener Arten des Interagierens. Sie beschreiben das übergeordnete Ziel einer Interaktion und das grundlegende Konzept, das dahintersteht. Jerald unterscheidet zwischen fünf übergeordneten Interaction-Patterns:

- *Selection-Patterns* zur Auswahl von Objekten,
- *Manipulation-Patterns* zum Verändern ihrer Eigenschaften,
- *Viewpoint-Control-Patterns* zur Veränderung der Perspektive,
- *Indirect-Control-Patterns* die über einen Vermittler arbeiten und
- *Compound-Patterns* bei denen zwei oder mehrere Muster zusammengefasst sind.

Ein übergeordnetes Interaction-Pattern kann mehrere untergeordnete Interaction-Patterns besitzen, die zwar dasselbe Ziel verfolgen (zum Beispiel die Auswahl eines Objektes), aber dabei ganz verschiedene konzeptuelle Ansätze verfolgen.

Weiter unten in der Hierarchie stehen die Interaktionstechniken. Sie sind die ganz konkreten technischen und gestalterischen Umsetzungen eines bestimmten Patterns:

> *"An interaction technique is more specific and more technology dependent than an interaction pattern." [Jerald 2016, S. 323]*

Die Interaktion in VR bezieht sich auf bestimmte Objekte, die Teil der virtuellen Welt sind. Das können ganz konkrete, repräsentative Objekte sein, wie zum Beispiel ein virtueller Stuhl oder aber etwas abstraktere Objekte wie Menü-Schaltflächen. Objektinteraktionen bestehen aus zwei Schritten: der Auswahl eines Objekts und der anschließenden Manipulation dieses Objekts. Daher sind aus der Menge der übergeordneten Interaction-Patterns die Selection-Patterns und Manipulation-Patterns relevant, um Interaktionen mit Objekten zu beschreiben.

Werfen wir zuerst einen Blick auf die Selection-Patterns. Damit ein bestimmtes Objekt manipuliert werden kann, muss es zunächst ausgewählt werden. Ein Selection-Pattern beschreibt, wie dies passiert. Wir fokussieren uns in dieser Arbeit auf das *Hand-Selection-Pattern* und das *Pointing-Pattern,* da sie in aktueller VR Unterhaltungssoftware sehr häufig vorkommen:

> *"The Hand Selection Pattern is a direct object-touching pattern that mimics real-world interaction—the user directly reaches out the hand to touch some object and then triggers a grab (e.g., pushing a button on a controller, making a fist, or uttering a voice command)." [Jerald 2016 S. 325–326]*

> *"The Pointing Pattern extends a ray into the distance and the first object intersected can then be selected via a user-controlled trigger. Pointing is most typically done with the head (e.g., a crosshair in the center of the field of view) or a hand/finger." [Jerald 2016, S. 327]*

Sobald wir ein Objekt ausgewählt haben, können wir es manipulieren. Manipulation ist die „interaktive Änderung von Parametern, die das Objekt charakterisierenden, wie z.B. Ort, Orientierung im Raum, Größe, Form, Gewicht, Geschwindigkeit oder Erscheinung [...]" [Dörner et al. 2013, S. 165]. Wir untersuchen in dieser Arbeit das *Direct-Hand-Manipulation-Pattern* und das *Proxy-Pattern.*

> *"The Direct Hand Manipulation Pattern corresponds to the way we manipulate objects with our hands in the real world. After selecting the object, the object is attached to the hand moving along with it until released." [Jerald 2016, S. 332–333]*

Bei diesem Interaktionsmuster wird das Objekt mit der Hand gegriffen bzw. ausgewählt, so wie wir es in der realen Welt machen würden.

> *"The Proxy Pattern uses a proxy to manipulate a remote object. As the user directly manipulates the local object(s), the remote object(s) is manipulated in the same way." [Jerald 2016, S. 333]*

Bei diesem Muster wird ein lokales Objekt manipuliert, während die Manipulation auf ein entferntes Objekt wirkt. Solche Interaktionsmuster funktionieren z. B. relativ gut, wenn ein sehr großes Objekt über ein kleineres Proxy-Objekt manipuliert werden soll.

3.1.2 Interaktionsmodalitäten

Alle Elemente der virtuellen Welt fallen irgendwo auf das sogenannte *Fidelity Continuum.* Fidelity, zu Deutsch Wiedergebetreue, beschreibt den Grad, zu welchem Aspekte der digitalen Welt der Realität nahekommen. Der Begriff *Fidelity Continuum* aus dem benutzerorientierten Design beschreibt die Spanne zwischen einfachen, schnell zu erstellenden Prototypen *(low-fi)* und aufwändigen, realitätsnahen Prototypen *(hi-fi),* die nahe am endgültigen Produkt sind.

So beschreibt die Representational Fidelity zum Beispiel, wie realistisch Objekte in der virtuellen Welt aussehen, beziehungsweise inwiefern die Umgebung wie ein echter Ort wirkt. Um Interaktionen zu beschreiben, ist die Interaction Fidelity nützlich.

Interaction Fidelity bezeichnet den Grad, zu welchem Interaktionen in der virtuellen Welt mit Interaktionen in der realen Welt übereinstimmen [Bowman et

al. 2012]. An einem Ende dieses Spektrums stehen die *realistischen Interaktionen*. Sie übernehmen viele oder alle Elemente der echten Welt und haben eine hohe Interaction Fidelity. Eine *surreale Interaktion* beinhaltet wenige oder keine Elemente der realen Welt und hat eine niedrige Interaction-Fidelity.

Sollen Interaktionen realistisch sein, so eignet sich der Einsatz des Hand-Selection-Pattern und das Direct-Hand Manipulation-Pattern. Realistische Interaktionen bringt laut Bowman et al. unter anderem folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile von Realismus

- Benutzer empfinden sehr realistische Interaktionstechniken als packender und präsenzsteigernd.
- Realistische Techniken verbessern die Leistung bei komplexen Manipulations-Aufgaben.

Nachteile von Realismus

- Realistische Techniken haben eine limitierte Reichweite.
- Wenn Techniken nur mäßig realistisch sind, schneiden surreale Techniken oft besser ab.

Für surreale Interaktionen können eine Vielzahl von Interaction Pattern verwendet werden. Um Objekte auszuwählen, ist das Pointing Pattern beliebt. Für die surreale Manipulation eignet sich zum Beispiel das Proxy Pattern. Surreale Interaktion zeigt ihre Stärken vor allem dort, wo Realismus Nachteile bringt:

- Surreale Techniken haben eine große Reichweite – auch weit entfernte Objekte können manipuliert werden.
- Surreale Techniken können ein Gefühl der „Magie“ erzeugen und dem Nutzer das Gefühl übermenschlicher Fähigkeiten verleihen.

3.1.3 Virtuelle Hände und ihre Umsetzung im Fidelity Continuum

In einer immersiven virtuellen Welt können wir uns der in anderen Bereichen gängigen Gerätschaften (Tastatur, Maus...) nicht bedienen – zum Beispiel, weil wir sie durch die VR Brille gar nicht mehr sehen können. Stattdessen können wir uns eines Sinnes bedienen, der selbst unter diesen Bedingungen noch verlässliche Informationen liefert – des Tastsinns. Hierbei bedient man sich der sogenannten *Body Relative Interaction Techniques* [Mine et al. 1997]. Sie beschreiben Interaktionstechniken, bei denen der Körper, beziehungsweise die Position von Objekten relativ zum Körper, eine Rolle spielt. Sie sind effizienter als solche, die sich nur auf visuelle Informationen beschränken und haben einige Vorteile:

- Man kann interagieren, ohne hinsehen zu müssen,
- man hat direkte und präzise Kontrolle über Aktionen,
- es gibt einen *Real-World Reference Frame,* einen Bezug zur tatsächlichen Realität.

Um von diesen Vorteilen Gebrauch zu machen, müssen wir den Körper des Anwenders in die virtuelle Realität einbeziehen. Bei der Objektinteraktion verwenden wir in der echten Welt meist die Hände, es macht daher Sinn, diesen Ansatz auch in der virtuellen Welt zu verfolgen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Hände des Benutzers in die virtuelle Welt zu transportieren:

- **Bare Hands:** Optisches Tracking der realen Hände, ohne zusätzliche Geräte.
- **Hand-Worn Devices:** Gerätschaften, die über die Hände gezogen werden (zum Beispiel Handschuhe) und durch Sensoren eine virtuelle Repräsentation der Hände erzeugen.
- **World-Grounded Devices:** Es wird mit realen, stationären Objekten interagiert, die eine Repräsentation in der virtuellen Welt haben (zum Beispiel Hebel oder Knöpfe). Die Hände selbst sind nicht in der virtuellen Welt sichtbar, nur die Aktion, die sie ausführen.
- **Tracked Devices:** Es wird mit realen, beweglichen Objekten interagiert, deren Position im dreidimensionalen Raum bestimmt werden kann (zum Beispiel Baseballschläger). Die Hände selbst sind nicht in der virtuellen Welt sichtbar, nur die virtuelle Repräsentation des Objektes.
- **Tracked Hand-Held Controllers**: Controller, die in der Hand gehalten werden und deren Position im dreidimensionalen Raum erkannt wird. Sie bieten durch Buttons zusätzliche Funktionalität. Der Controller kann die Hände im virtuellen Raum repräsentieren.

ABB. 11 (LINKS)
Xbox One Controller

ABB. 12 (RECHTS)
Oculus Remote Controler

Außerdem gibt es noch die traditionellen, nicht positionsbestimmten Controller. Beispiele hierfür sind „Microsoft XBox Controller“ oder „Sony Playstation Controller“ und die „Oculus Remote“. Diese verwenden keine Body Relative Interaction Techniques, sind aber trotzdem für viele Anwendungsfälle nützlich.

Diese unterschiedlichen Möglichkeiten, dem Nutzer virtuelle Hände zu geben, haben jeweils ihre eigenen Vor- und Nachteile.

Bare Hands

Bare-Hands Techniken erzeugen eine virtuelle Repräsentation der Hände, indem sie optisch getrackt werden. Der Benutzer muss dabei keinerlei Gerätschaften anziehen oder in die Hand nehmen. Ein Beispiel dafür ist „Leap Motion“, eine Kamera, welche die Position und Ausrichtung der Hände optisch erfasst. Anhand der Silhouette wird die Handposition und Geste erkannt. Allerdings eignet sich das Bare Hand Tracking mit Hilfe der „Leap Motion” nicht besonders gut für direkte Manipulation virtueller Objekte [Caputo and Giachetti 2015].

Dies liegt zum einen an der beschränkten Genauigkeit des Trackings, an der Annahme eines starren Handmodells und der unzureichenden Abbildung der Bewegung der Fingergelenke.

Bare-Hands Techniken können nützlich sein, wenn man einfach nur die Hände der Benutzer zeigen möchte, ohne komplizierte Interaktionen auszuführen. Auch für surreale Techniken eignet sich Bare-Hands gut, solange klar erkennbare, einfache Gesten verwendet werden. Es gibt auch Vorteile für Benutzer: Es muss nicht der Umgang mit einem neuen Gerät erlernt werden. Da keine zusätzliche Hardware benötigt wird, muss auch nichts bei Benutzerwechsel desinfiziert, aufgeladen oder gewartet werden. Bare-Hands ist die einzige Technik, bei der die Hände der Benutzer direkt verfolgt werden. Sie kann auch verwendet werden, um die objektbasierten Techniken zu erweitern – in dem Fall würden die Hände einfach nur sichtbar gemacht, ohne selbst zur Interaktion genutzt zu werden.

Mögliche Probleme mit Bare-Hands Techniken sind [Jerald 2016, S. 317]:

- Ermüdung, da man die Hände dauerhaft vor sich halten muss,
- fehlerhafte Gestenerkennung,
- Line-of-Sight Beschränkungen: die virtuellen Hände sind nur darstellbar, solange die echten Hände von der Kamera gesehen werden,
- Fehlen von Knöpfen für zusätzliche Funktionen,
- beschränkte Eignung für realistische Interaktion.

Hand-Worn Devices

Hand-Worn Devices werden nicht in der Hand gehalten, sondern an der Hand befestigt. Das könnten zum Beispiel Handschuhe wie der „Data Glove“ sein. Auch hier gibt es Vor- und Nachteile [Jerald 2016, S. 316]:

Vorteile:

- Die Hände sind immer noch frei – es muss nichts gehalten werden,
- Line-of-Sight muss im Gegensatz zu Bare Hands nicht frei bleiben.

Nachteile:

- Hygiene: Bei mehreren Benutzern sollte man zwischendurch desinfizieren können,

- keine zusätzliche Funktionalität durch Knöpfe,
- Rekalibrierung kann durch Verrutschen nötig werden.

World-Grounded Device

Hierbei geht es um Interaktion mit realen, in der Welt fixierten Gegenständen, die eine Repräsentation in der virtuellen Welt haben. Das könnten Hebel, Schalter, Knöpfe oder auch größere Objekte sein. Es handelt sich hier meist um spezielle Anfertigungen für eine bestimmte Anwendung. Der unmittelbare Vorteil: Man greift in der virtuellen Welt nach einem Objekt und fasst wirklich etwas an. Es gibt aber auch Nachteile [Jerald 2016, S. 311–313]:

- Das virtuelle Objekt ist ortsgebunden und kostet Platz,
- es muss genau auf die Anwendung passend konzipiert werden,
- es muss extra gebaut werden,
- es ist nicht einfach übertragbar,
- unter Umständen ist es auch schwer zu transportieren.

Tracked Devices

Eine Alternative zur Interaktion durch ein World-grounded Device ist die Interaktion mit mobilen getrackten Gegenständen, die ebenso wie die World-grounded Devices eine Repräsentation in der virtuellen Welt haben. Ihre Position im Raum kann eindeutig bestimmt werden. Möglich macht das zum Beispiel der „HTC Vive Tracker“ oder Motion-Capture Technologien mit optischem Tracking (z. B. OptiTrack Systeme). In vielen Fällen muss hier kein extra Gerät gebaut werden, um die Interaktion zu ermöglichen – ein „HTC Vive Tracker“ kann an ein beliebiges Objekt angebracht werden, so dass dann über ihn getrackt werden kann. Dieses Objekt stellt aber meist nicht die Hände des Nutzers dar, sondern ein anderes Objekt in der virtuellen Welt. Es kann daher auch zwischendurch abgelegt werden.

Tracked hand-held Controllers

Tracked hand-held Controllers können ebenso wie Tracked Devices eindeutig im dreidimensionalen Raum bestimmt werden. Sie werden durchgehend in der Hand gehalten und lassen so eine genaue Abbildung der Position der Hände zu. Außerdem hat der Nutzer etwas in der Hand, bekommt also haptisches Feedback.

ABB. 13 Vive-, PlayStation Move- und Oculus Touch-Controler

Die Controller können für einhändige oder zweihändige Interaktionen verwendet werden. Verschiedene Buttons oder Joystickelemente sorgen für zusätzliche Funktionalität [Jerald 2016, S. 314–315]. Wir können zwei Arten unterscheiden:

Tracked specific hand-held Controller
Interaktion mit virtuellen Objekten erfolgt durch ein oder zwei getrackte Controller, die in den Händen gehalten werden. Die Form des Controllers ist dabei ganz genau auf ein bestimmtes Spiel oder eine bestimmte Art von Spielerfahrung zugeschnitten. Ein gutes Beispiel sind Waffenrepliken, die für Shooter-Spiele zwar geeignet wären, allerdings für andere Spiele nicht gut eingesetzt werden können.

In Lern- und Trainingsanwendungen sind oft sehr spezifische Controller beziehungsweise Interaktionsobjekte notwendig. Die reale Welt muss möglichst gut wiedergegeben werden, um alle wichtigen Aspekte in die Lernerfahrung integrieren zu können. Eine Waffe für eine Schiesstrainingssimulation sollte am besten gleiches Gewicht und Rückschlag haben. [Bhagat et al. 2016]

Tracked general hand-held Controller
Interaktion mit virtuellen Objekten durch zwei getrackte Controller, die in den Händen gehalten werden. Diese Art Controller kann für alle Arten von Spiele verwendet werden, da sie eine generische Form haben und durch verschiedene Knöpfe und Trigger auch viele Funktionen bedienen können. Im Moment sind hier vor allem die „HTC Vive“ Controller und die „Oculus Touch“ Controller relevant.

Wiedergabegenauigkeit und visuelle Repräsentation

Mit den Anforderungen der Anwendungen unterscheidet sich die Wiedergabegenauigkeit der Hände. Zwar haben z. B. die „Oculus Touch“ Controller diverse Sensoren, die feststellen können, ob ein Finger auf einem Button oder Griffteil aufliegt, jedoch werden diese Daten nicht von allen Spielen zur Wiedergabe der Hände verwendet. Es ist allerdings mit dem Touch Controller theoretisch möglich, von bestimmten Gesten Gebrauch zu machen, die über die Sensoren erkannt werden können. Mit der „Leap Motion“ können dagegen fast alle Bewegungen der Hände abgebildet werden, auch wenn nicht alle Gesten zuverlässig erkannt werden. Die

„HTC Vive Controller“ haben dagegen keine Funktionen, die auf die tatsächliche Haltung der Hände schließen lassen.

Auch die visuelle Repräsentation der Hände kann sich sehr unterscheiden und reicht von realistischen Händen über stilisierte Hände bis hin zu simplen Repräsentationen der Controller selbst; manche virtuellen Hände sind auch animiert. In anderen Fällen wird gar keine Hand wiedergegeben, sondern ein Objekt als Hand betrachtet über das dann mit der Spielwelt interagiert wird (z. B. eine virtuelle Pistole für ein Shooter Spiel). Wenn ein Objekt aufgenommen wird, hängt es entweder an der Hand oder wird selbst zur Hand. Manche Spiele lassen die virtuelle Hand verschwinden, sobald ein Objekt gehalten wird, um die Sicht nicht zu blockieren.

3.1.4 Reality Tradeoffs – Ist realistischer automatisch besser?

Im vorherigen Kapitel hat sich gezeigt, dass realistische Interaktionen in vielen Anwendungsfällen Vorteile bringen können. Aber die Realitätstreue der Interaktion ist nicht der einzige relevante Faktor für die Erfahrung, die der Nutzer in der virtuellen Welt macht. Die persönlichen Erwartungen und Erfahrungen, die der Nutzer mit sich herumträgt sind ebenso wichtig.

Expectations & Experiential Fidelity

Neben der Interaction Fidelity gibt es noch ein weiteres Konzept, das bei der Interaktion in virtuellen Welten beachtet werden muss: Die *Experiential Fidelity.*

> *„This is what we mean by the term Experiential Fidelity: improving the user experience by increasing the alignment of what the VR experience provides with that which the user is likely to believe.” [Lindeman and Beckhaus]*

Experiential Fidelity beschreibt den Grad, zu dem die virtuelle Umgebung und die Aufgaben und Interaktionen in ihr mit dem Erfahrungswissen eines Nutzers übereinstimmt. Unterscheidet sich das Erfahrungswissen von Nutzern kann sich auch ihre Erfahrung in der virtuellen Welt unterscheiden und die Nutzer können die Welt unterschiedlich wahrnehmen. Weicht die virtuelle Welt stark von den Erfahrungen des Nutzers ab, kann das ungewollte Folgen haben.

Betrachten wir das einmal am Beispiel der Aufgabenstellung „Tee kochen“. Das beliebte VR Spiel „Job Simulator“ [Owlchemy Labs 2016] bietet unter anderem eine virtuelle Küchen-Umgebung, in der der Spieler Aufträge erfüllen muss. Eine dieser Aufgaben lautet: „Koche Tee!“. Zu Verfügung stehen dafür unter anderem: Ein Teekessel, ein Wasserhahn, eine Herdplatte mit Drehknöpfen, Tassen und Teebeutel. Zunächst ist klar, dass Wasser in den Teekessel und dann der Kessel auf die heiße Herdplatte muss. Aber danach können die Wege auseinandergehen: Erst den

Teebeutel in die Tasse oder das heiße Wasser? Gibt es Milch im Tee? Kommt die Milch zuerst hinein oder erst nach heißem Wasser und Teebeutel? Oder hängt man den Teebeutel einfach direkt in den Kessel und gießt dann den schon gebrühten Tee in die Tasse? Es gibt viele mögliche Wege, Tee zu kochen. Welcher uns als der „einzig Richtige" vorkommt, ist der, mit dem wir Erfahrungen gemacht haben. Hätten die Entwickler nur eine einzige Art des Teekochens als „richtig" angesehen und nur bei der entsprechenden Kombination von Aktionen Tee entstehen lassen, wären sicherlich sehr viele Nutzer verwirrt und frustriert gewesen weil etwas, dass sie als natürliche Lösung des Problems „Teekochen" ansehen, nicht funktioniert. Die Regeln der virtuellen Welt hätten nicht mit ihrem Erfahrungswissen davon, wie man Tee macht, übereingestimmt. Das kann auch in vielen anderen Anwendungsfällen Probleme bereiten.

Experiential Fidelity kann uns auch einen Anhaltspunkt dafür liefern, warum Interaktionen, die nur mäßig realistisch sind, schlechter abschneiden als gänzlich surreale: Bei der nur ansatzweise realistischen Interaktion ruft der Nutzer unter Umständen verstärkt sein Erfahrungswissen aus der echten Welt ab. Die Interaktion ist aber nicht realistisch genug, als dass er sein Erfahrungswissen tatsächlich anwenden kann. Das könnte für Verwirrung sorgen. Eine ganz surreale Technik dagegen lernt der Nutzer vielleicht innerhalb der Anwendung neu, ohne von seinen bisherigen Erfahrungen zu sehr verwirrt zu werden.

Die wichtigsten Punkte, die das Konzept der Experiential Fidelity ausmachen, sind [Lindeman and Beckhaus]:

- Die Vorstellungskraft des Nutzers soll unterstützt werden, um der VR Erfahrung eine Bühne zu liefern.
- Benutzer sollten am besten noch vor Beginn der Anwendung auf ihren Inhalt vorbereitet werden (Priming), zum Beispiel in der Warteschlange vor einer VR Attraktion
- Hoher objektiver Realismus ist nicht nötig um ein Gefühl von Realismus und Glaubhaftigkeit beim Nutzer zu erreichen
- Man muss nur so viele realistische Elemente einbeziehen, wie es braucht, um die gewünschte Erfahrung zu unterstützen
- Aspekte der Wahrnehmung wie Anticipation, Expectation, und Attitude müssen einbezogen werden.

Die Forschung hat außerdem noch folgende Erkenntnisse bezüglich realer Interaktion und Erfahrungswissen geliefert [Carter and Potter 2016]:

- Benutzer mit weniger Spielerfahrung bevorzugen realistische Interaktionen.
- Wenn Erfahrungswissen abgerufen wird, fallen auch kleinere Abweichungen tendenziell störend auf.
- Werden anfangs geweckte Erwartungen ohne Grund gebrochen, droht Verlust des Präsenzgefühls.

Eine weitere Beobachtung, die wir bei Nutzertests im Zuge der Recherchearbeit für diesen Guideline gemacht haben, lässt folgende Vermutung zu: Erfahrene Nutzer bewerten Anwendungen in VR mit hoher Interaction Fidelity als „realistisch", auch wenn die Representational Fidelity gering ist. Unerfahrene Nutzer hingegen bewerten Anwendungen mit hoher Representational Fidelity eher als „realistisch", auch wenn die Interaction Fidelity gering ist. Aufgrund der geringen Zahl an Testpersonen bei dieser Vorstudie lassen sich jedoch keine allgemeingültigen Aussagen treffen.

Nachteile des Realismus

Ob hoher Realismus einer Interaktion lohnenswert ist, muss manchmal gegen andere Faktoren abgewogen werden. Die Faktoren sind ([Jacob et al. 2008]):

- *Expressive Power:* Der Benutzer kann viele Aufgaben innerhalb eines Anwendungsbereichs bewältigen.
- *Efficiency:* Aufgaben können schnell bewältigt werden.
- *Versatility:* Der Benutzer kann viele Aufgaben aus unterschiedlichen Aufgabenbereichen bewältigen.
- *Ergonomics:* Eine Aufgabe kann ohne physische Ermüdung oder Verletzung erfolgen.
- *Accessibility:* Benutzer mit unterschiedlichen Fähigkeiten können eine Aufgabe bewältigen.
- *Practicality:* Das System lässt sich praktikabel entwickeln und produzieren.

Die Annahmen über die echte Welt gezielt zu verletzen, kann auch interessante und nützliche Interaktionsformen erzeugen (Pierce und Pausch 2007).

3.1.5 Best Practices für Interaktion in VR

Fassen wir noch einmal die wichtigsten Fragen zusammen, die wir uns zum erfolgreichen Gestalten von Interaktionen in VR stellen sollten.

Die Auswahl der geeigneten Controller und des Interaktionstyps habe den größten Einfluss auf die Erlebbarkeit der VR Anwendung. Dabei hängt die Wahl wesentlich davon ab, welches Ziel mit der Anwendung verfolgt wird:

Problemstellung, Ziele	empfohlene Controller	empfohlene Interaktion
Anwendung dient zum Training	speziell angefertigt	realistisch
Anwendung soll Präsenz erzeugen	beliebig	realistisch oder surreal
Komplexe Manipulation von Objekten	speziell angefertigt	realistisch
Manipulation entfernter Objekte	beliebig	surreal
Soll magische Erfahrung vermitteln	beliebig	surreal
Soll realistische Erfahrung vermitteln	beliebig	realistisch

3.2 Nutzerstudie

3.2.1 Ziele der Nutzerstudie

Für die Nutzerstudie zur Objektinteraktion in Virtual Reality haben wir uns auf den Vergleich zwischen realen und surrealen Interaktionstechniken mit zwei verschiedenen Eingabegeräten konzentriert. Dabei haben wir für die surrealen Techniken ein Pointing Pattern verwendet, das mit Oculus Touch Controller **(Zeigen mit Touch)** oder mit der Oculus Remote **(Zeigen mit Remote)** ausgeführt wurde. Die realistische Interaktionstechnik verwendete das Direct Hand Interaction Pattern und wurde mit den Oculus Touch Controllern ausgeführt **(Greifen).** Eine weitere surreale Interaktionstechnik war die Auswahl durch längeres Fixieren des Objekts mit dem Blick **(Anschauen),** diese kam jedoch nur bei einfachen Aufgaben zum Einsatz.

Da Objektinteraktion sich aus Auswahl und Manipulation zusammensetzt, wurden in zwei Testabschnitten beide Aspekte untersucht. Es wurde außerdem getestet, wie sich die jeweiligen Techniken auswirken, wenn der Nutzer statische oder sich bewegende Objekte auswählen muss.

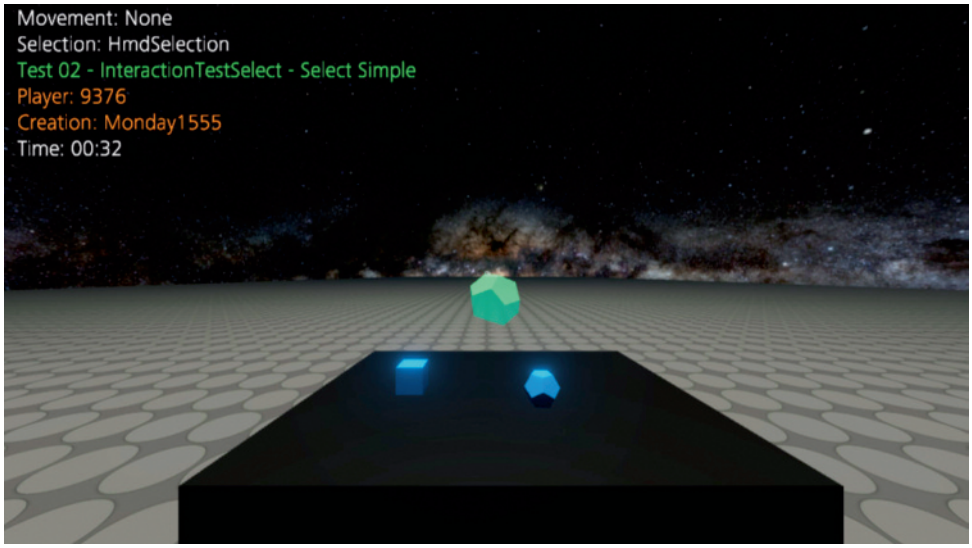


ABB. 14 Bildschirmfoto zur Aufgabenstellung „Selektieren“

Der Test ermöglicht uns:

- Einen Vergleich surrealer und realistischer Interaktionstechniken bei Selektion,
- einen Vergleich surrealer und realistischer Interaktionstechniken bei Sortieraufgaben,
- einen Vergleich von Oculus Remote und Oculus Touch beim Einsatz surrealer Interaktionstechniken,
- einen Vergleich zwischen der Interaktion mit statischen oder beweglichen Objekten.

Abschließend wurden die Teilnehmer gebeten, die ausprobierten Interaktionsmöglichkeiten von „hat am besten gefallen“ nach „hat am wenigsten gefallen“ zu sortieren.

3.2.2 Test zur Selektion von Objekten

Der grundlegende Testaufbau für Interaktion sah folgendermaßen aus:

Der Nutzer befand sich in der virtuellen Welt in einem großen offenen Raum, dessen Boden durch ein Schachbrett definiert wurde. Vor ihm befand sich eine ebene Fläche. Darauf wurden für jeden Test zwei blaue Objekte platziert, eines in der Form eines Quaders und eines in der Form eines Polygons.

Der Teilnehmer musste je eines davon auswählen. Welches wurde ihm durch eine leicht durchsichtige, über dem Tisch schwebende Abbildung des entsprechenden Objektes gezeigt. Die Objekte mussten sowohl ruhend als auch bewegt ausgewählt werden.

Es wurden pro Interaktionstechnik 8 solcher Runden durchgeführt, 4 mit ruhendem Objekt und 4 mit bewegtem Objekt. Nach den 8 Runden wurde der Fragebogen in VR eingeblendet und beantwortet. Anschließend wurde die Interaktionstechnik gewechselt.

Es wurden folgende Interaktionstechniken für die Selektion von Objekten getestet:

Auswahlmuster	Typ	Oculus Controller	Bestätigung
Anschauen	surreal	-	warten
Zeigen mit Remote	surreal	Remote	mittlerer Knopf
Zeigen mit Touch	surreal	Touch	Grip Button
Greifen	real	Touch	Grip Button

Ergebnisse

Nach Auswertung der Antworten zu diesen Fragen lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Realistische Interaktion mit Oculus Touch (greifen) ist langsamer als surreale Interaktion mit Oculus Touch (zeigen mit Hand).
- Realistische Interaktion mit Oculus Touch (greifen) ist bei bewegten Objekten angenehmer als surreale Interaktion mit Oculus Remote.
- Surreale Interaktion mit Oculus Remote verursacht mehr Ermüdung als mit Oculus Touch (zeigen mit Hand)
- Surreale Interaktion mit Oculus Remote erzeugt mehr Motion Sickness bei bewegte Objekten im Gegensatz zu ruhenden Objekten.
- Surreale Interaktion mit Oculus Remote bewältigt die Aufgaben schneller als surreale Interaktion mit Oculus Touch.

3.2.3 Test zur einfachen Objektmanipulation durch eine Sortieraufgabe

Der Sortier-Test ist eine Mischung aus Selektion und einfacher Manipulation.

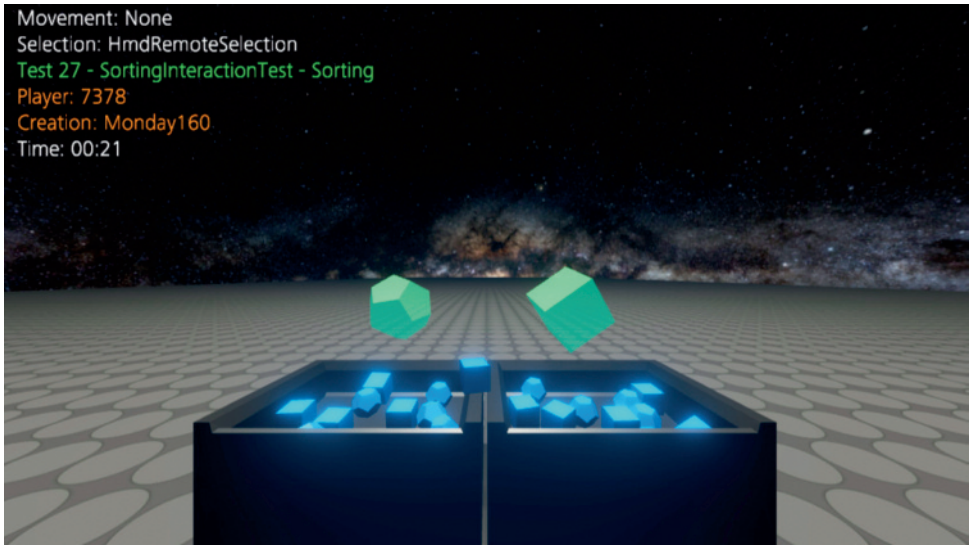


ABB. 15 Bildschirmfoto zur Aufgabenstellung „Sortieren“

Vor dem Nutzer auf dem virtuellen Tisch befinden sich zwei Becken, in denen sich Quader und Polygone befinden. Die Objekte sind in beiden Becken gemischt. Der Nutzer muss die Objekte so sortieren, dass alle Quader rechts und alle Polygone links sind. Über den Becken schwebt rechts ein leicht durchsichtiger Quader und links ein entsprechendes Polygon, um dem Nutzer anzuzeigen, welche Formen in welches Becken sollen.

Um zu sortieren, müssen die Nutzer ein Objekt durch eine der folgenden Techniken auswählen:

Auswahlmuster	Typ	Oculus Controller	Bestätigung	Objekt hängt an
Zeigen mit Remote	surreal	Remote	mittlerer Knopf	Blickvektor
Zeigen mit Touch	surreal	Touch	Grip Button	Controllerrichtung
Greifen	real	Touch	Grip Button	Controllerposition

Das Auswahlmuster *anschauen* wurde nicht verwendet, da es für den Sortiertest zu langsam ist.

Während die Nutzer den Button zur Selektionsbestätigung gedrückt halten, hängt das Objekt an der virtuellen Hand der Nutzer, beim Loslassen des Buttons wird auch das Objekt losgelassen. Bei den Auswahlmöglichkeiten durch zeigen hängt das Objekt an dem Vektor durch die Blickrichtung oder dem Vektor in Zeigerichtung der Oculus Touch Controller.

3.3 Ergebnisse

Die Auswertung der Fragebögen sowie die Ergebnisse der Interviews zeigen Folgendes:

Vergleich Oculus Remote/Oculus Touch bei surrealer Interaktion

- Bei realer Interaktion mit Oculus Touch kommt es zu mehr Ermüdung als bei surrealer Interaktion mit Oculus Touch,
- realistische Interaktion mit Oculus Touch wird als natürlicher bewertet als surrealer Interaktion mit Oculus Touchs.
- surreale Interaktion mit Remote verursacht mehr Ermüdung als mit Oculus Touch (zeigen mit Hand),
- realistische Interaktion mit Oculus Touch ist bei bewegten Objekten angenehmer als surreale Interaktion mit Oculus Remote,
- surreale Interaktion mit Oculus Remote bewältigt die Aufgaben schneller als surreale Interaktion mit Oculus Touch,
- surreale Interaktion mit Oculus Remote ist anstrengender als surreale Interaktion mit Oculus Touch.

Vergleich beim Umgang mit statischen/dynamischen Objekte

- Surreale Interaktion mit Oculus Remote erzeugt mehr Motion Sickness bei bewegten Objekten im Gegensatz zu statischen Objekten.

Vergleich surreal / realistische Interaktion

- Am Ende des Tests wurden die Probanden gebeten, die Mechaniken, die sie gespielt haben, in eine Reihenfolge von schlecht bis gut zu bringen.

Bei diesem Vergleich schneidet das Greifen sowie das Zeigen mit Remote deutlich besser ab als Anschauen bzw. Zeigen mit dem Touch Controller. Dabei spielte es offensichtlich eine untergeordnete Rolle, dass das Greifen länger gedauert hat als die controllerbasierten Interaktionen.

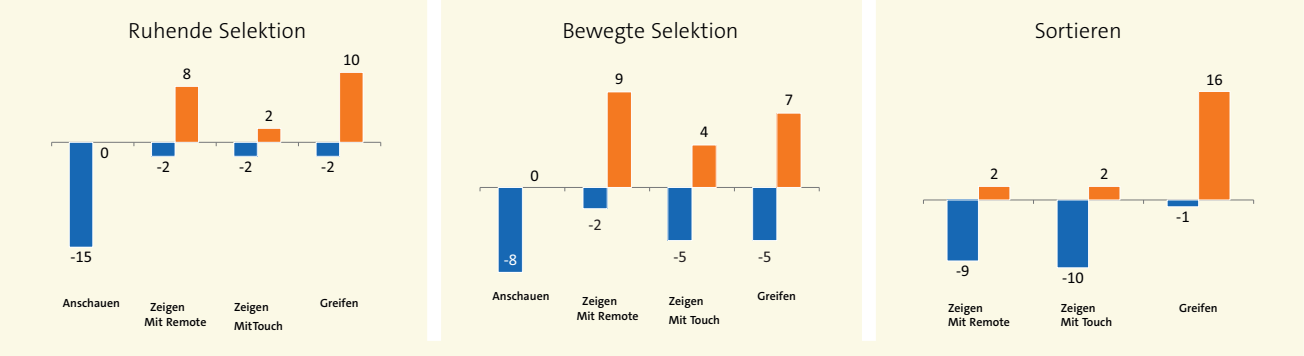


ABB. 16 Anzahl Probanden, welche die Interaktion positiv (Rot) bzw. negativ (Blau) bewertet haben

3.4 Detaillierte Auswertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung der Benutzer zur Interaktion ausführlich dargestellt.

Zu jeder Frage werden die Antworten für jeden Interaktionstyp zunächst grafisch als Balkendiagramm gezeigt. Dabei werden von links nach rechts die Anzahl der Antworten von *trifft voll zu* bis zu *trifft gar nicht zu* dargestellt. Die Höhe der Balken zeigt an, wie viele Anwender die jeweilige Antwort gewählt haben. Die gestrichelte Linie zeigt die Lage des Median.

Der Balken unter den Diagrammen zeigt die mit Hilfe des Friedman Verfahrens ermittelte Signifikanz der Ergebnisse. Der Friedman Test zeigt, ob die Tendenz mehrerer verbundener Stichproben auf systematischen Einflüsse zurückzuführen ist. Der im Test ermittelte Wert von chi muss dabei größer sein als der Schwellwert, dieser hängt von der Anzahl der Probanden und von der Zahl der Stichproben, also der untersuchten Interaktionstechniken ab.

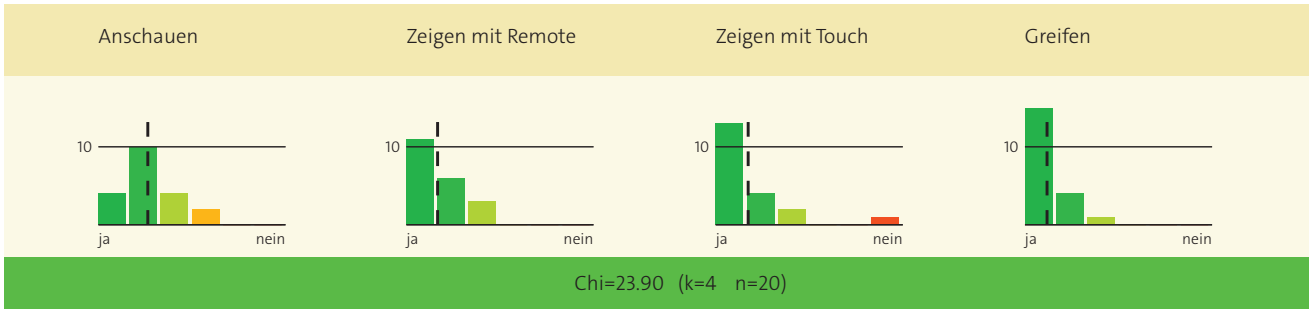
Der Wert von chi wurde sowohl mit dem Schwellwert für das Signifikanzniveau alpha=0,01 als auch für alpha=0,05 verglichen. Liegt der Wert über dem zum Signifikanzniveau alpha=0,01 gehörenden Schwellwert, wird der Balken grün dargestellt. Ein gelber Balken bedeutet, dass der Wert von chi zwischen den Schwellwerten von alpha=0,01 und alpha=0,05 liegt. Ein roter Balken deutet an, dass die Antworten zu der Frage eine geringe Signifikanz aufweisen. Auf eine weitere Differenzierung durch Einzelvergleiche wurde zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet.

3.4.1 Aufgabenstellung Auswahl ruhender Objekte

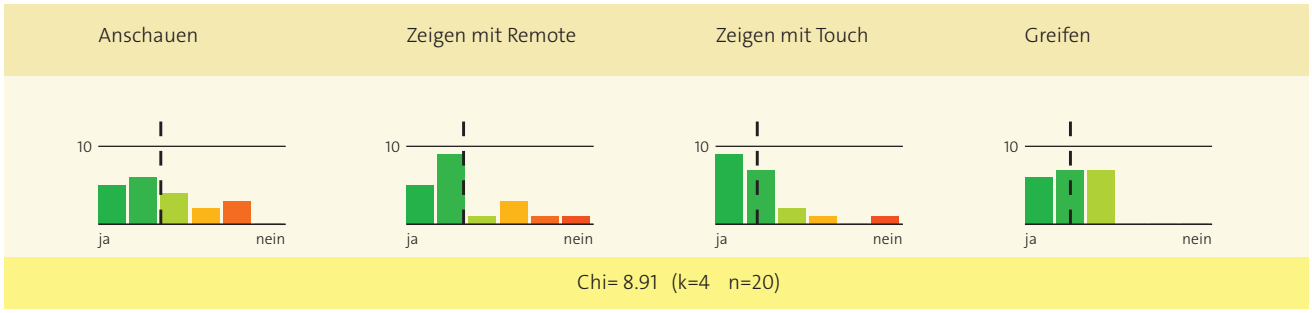
Bei dieser Aufgabe wurden die folgenden vier Interaktionstechniken untersucht:

- **Anschauen**
- **Zeigen mit dem Oculus Remote Controller**
- **Zeigen mit dem Oculus Touch Controller**
- **Greifen**
- Für den Friedman Test gelten für k=4 untersuchte Interaktionsarten und n=20 Probanden folgende Schwellwerte für die Signifikanzniveaus alpha=0,01 und alpha=0,05: chi>11,1 für alpha=0,01 (Grün), chi>7,8 für alpha=0,05 (Gelb), chi<7,8 für alpha>0,05 (Rot)

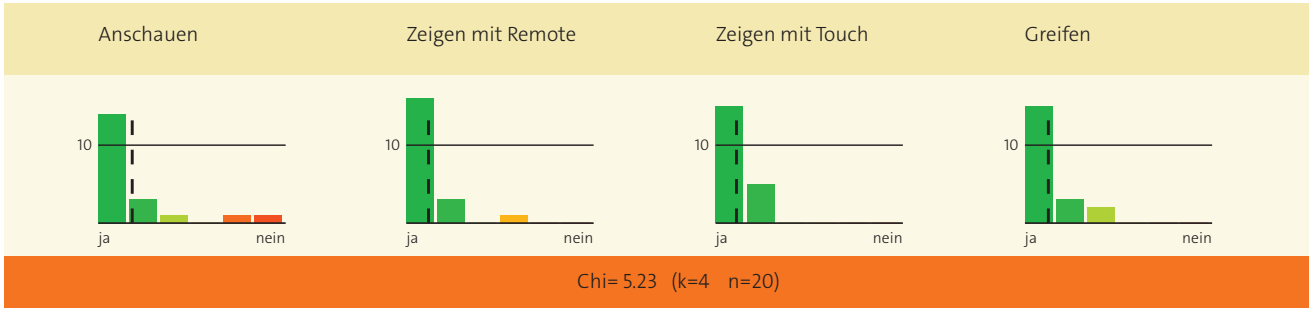
Fragen zum Aspekt Fun – macht die Interaktion Spaß?



1: Ich hatte Spaß an der Interaktion



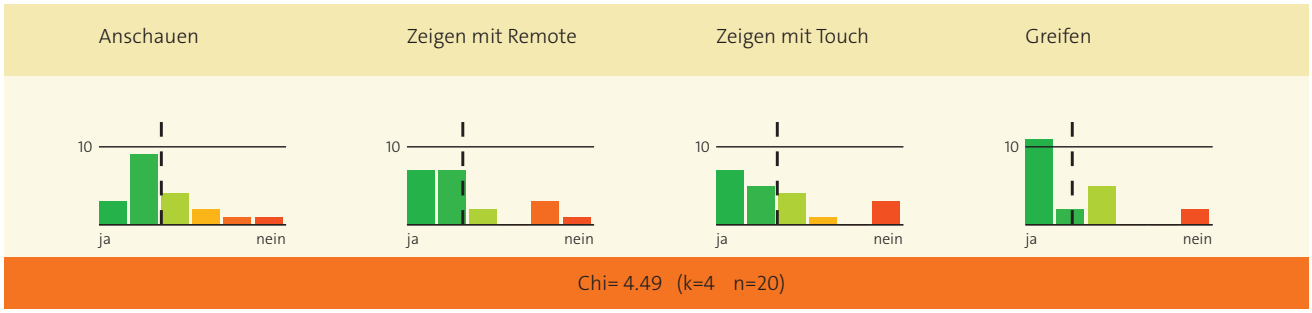
5: Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden



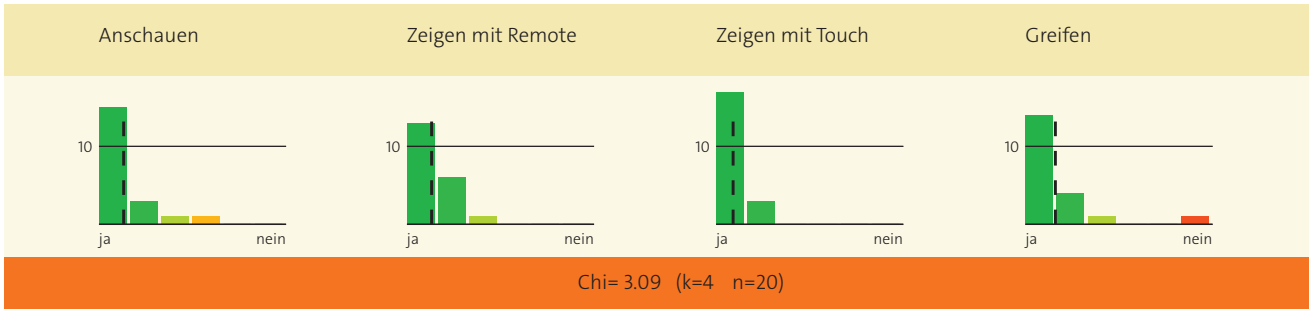
9: Ich war während des Tests entspannt

Die Antworten liegen für alle Interaktionen nahe beieinander und der Friedman Test ermittelt für die Fragen 5 und 9 eine geringe bzw. sehr geringe Signifikanz. Die Antworten zeigen eine leichte Tendenz, dass die Interaktionstechniken Greifen und Anschauen mehr Spaß machen und weniger anstrengen als die beiden Techniken mit Controllern.

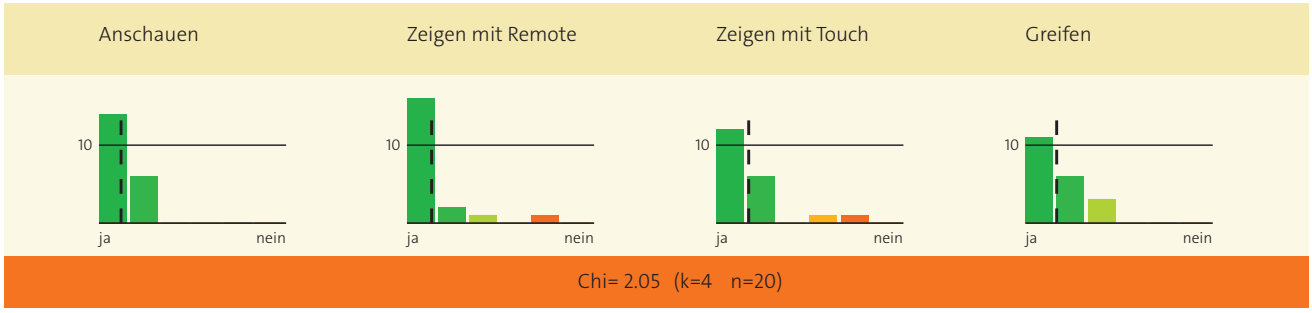
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



2: Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden



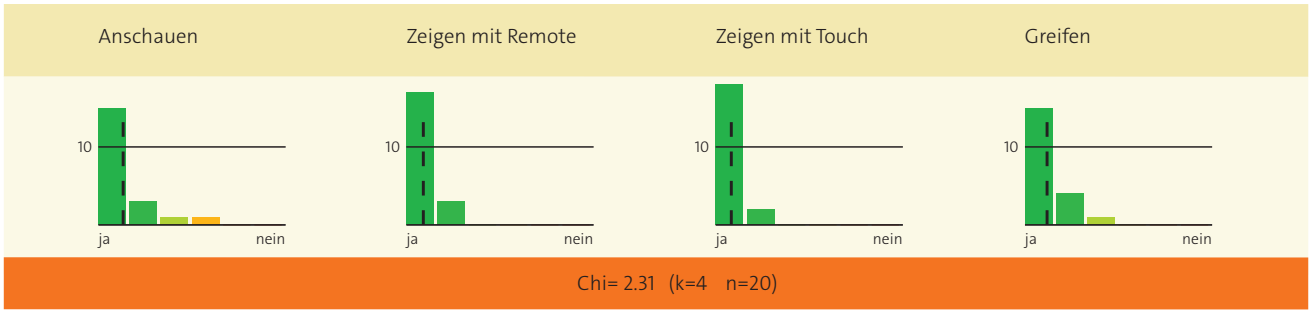
6: Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt



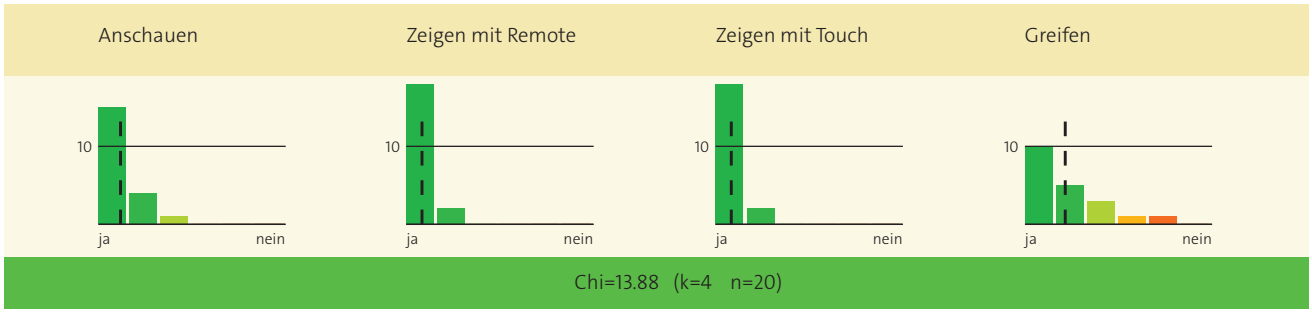
10: Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm

Die Antworten zu allen drei Fragen dieses Aspekts zeigen eine zu geringe Signifikanz.

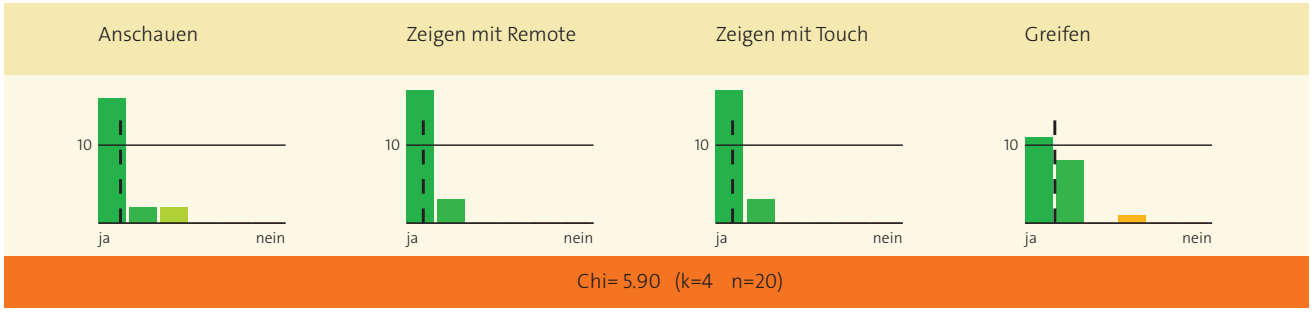
Fragen zur Erlernbarkeit – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?



3: Die Aufgabe war einfach zu bewältigen



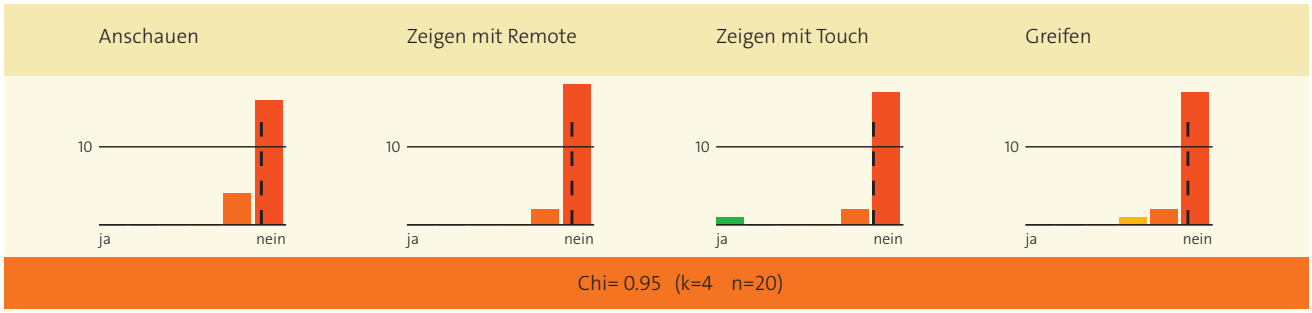
7: Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken



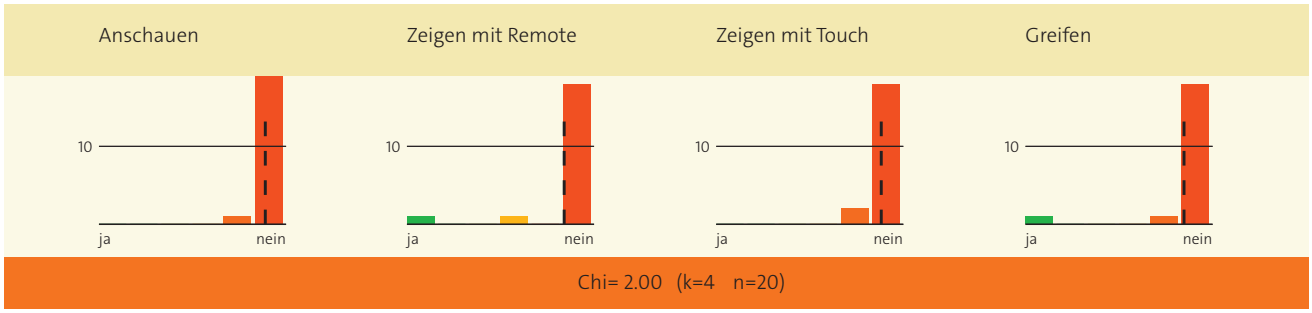
11: Ich konnte die Steuerung schnell lernen

Obwohl nur die Antworten zu Frage 7 eine ausreichende Signifikanz aufweisen, zeigen die Antworten, dass die Probanden mit dem Erlernen und dem Bewältigen dieser Aufgabe keine Schwierigkeiten hatten.

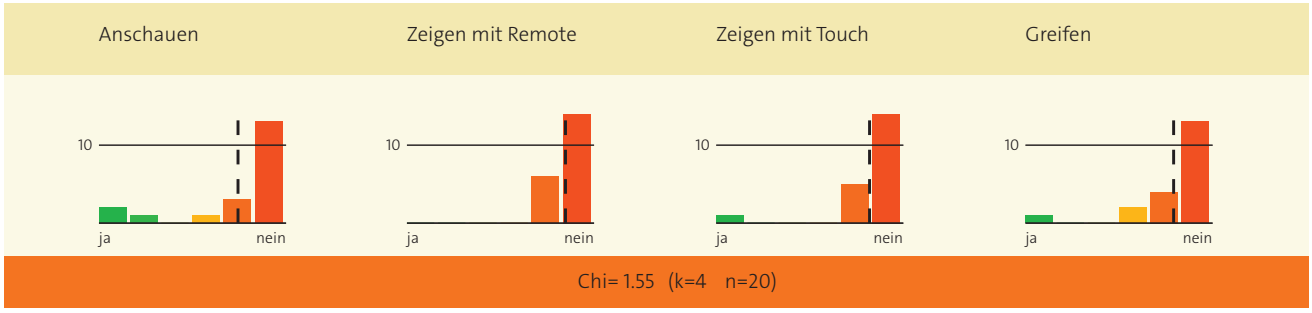
Fragen zur Physis – führt die Interaktion zu Ermüdung oder zu Motion Sickness?



4: Der Test war körperlich ermüdend für mich



8: Ich verspürte während des Tests Schwindel oder Übelkeit



12: Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen

Auch bei diesen Fragen ergibt sich kein statistisch signifikantes Ergebnis. Keiner der Teilnehmer verspürte Unwohlsein oder Ermüdung bei dieser Aufgabe.

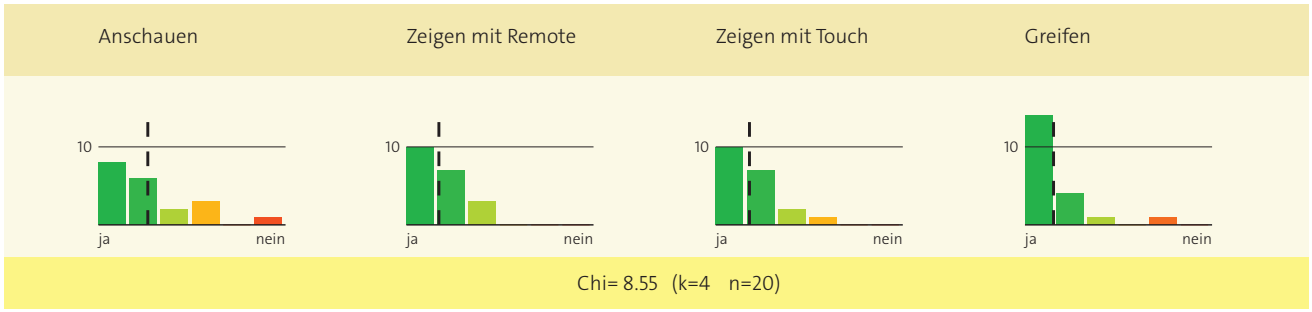
3.4.2 Aufgabenstellung *Auswahl bewegter Objekte*

Bei dieser Aufgabe wurden die gleichen Interaktionstechniken wie bei der Auswahl ruhender Objekte untersucht:

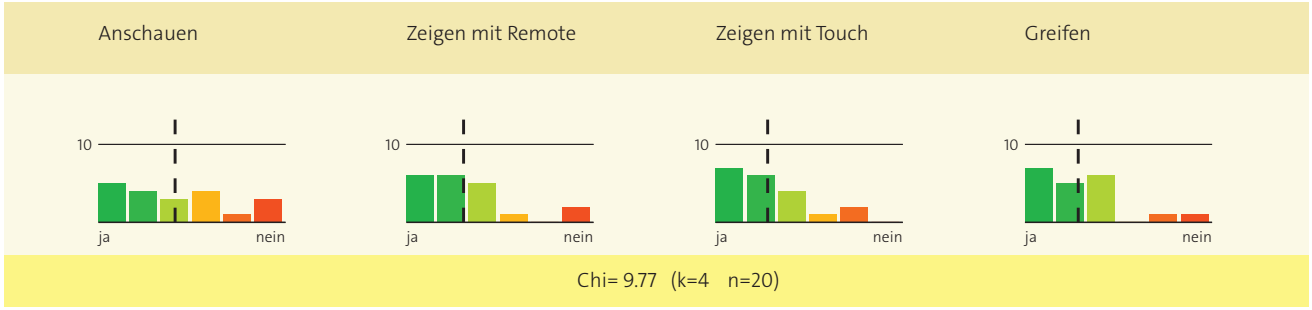
- **Anschauen**
- **Zeigen mit dem Oculus Remote Controller**
- **Zeigen mit dem Oculus Touch Controller**
- **Greifen**

Für den Friedman Test gelten bei k=4 untersuchten Interaktionstechniken und n=20 Probanden folgende Schwellwerte für die Signifikanzniveaus alpha=0,01 und alpha=0,05: chi>11,1 für alpha=0,01 (Grün), chi>7,8 für alpha=0,05 (Gelb), chi<7,8 für alpha>0,05 (Rot)

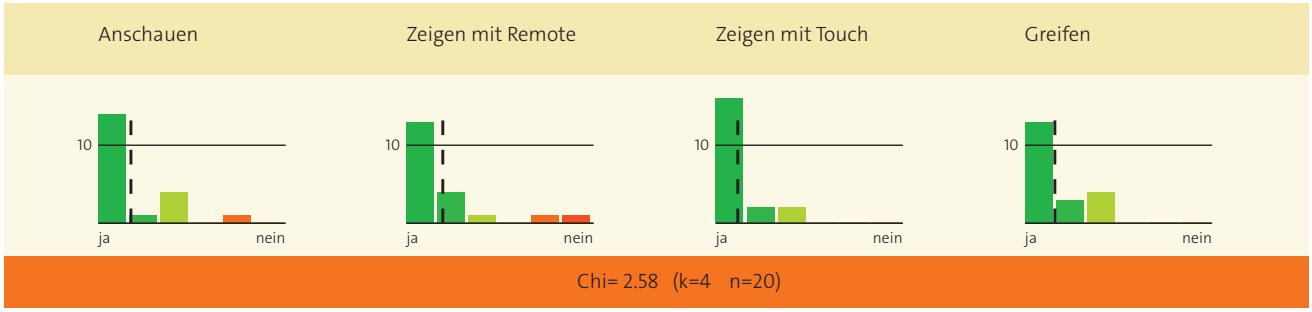
Fragen zum Aspekt Fun – macht die Interaktion Spaß?



1: Ich hatte Spaß an der Interaktion



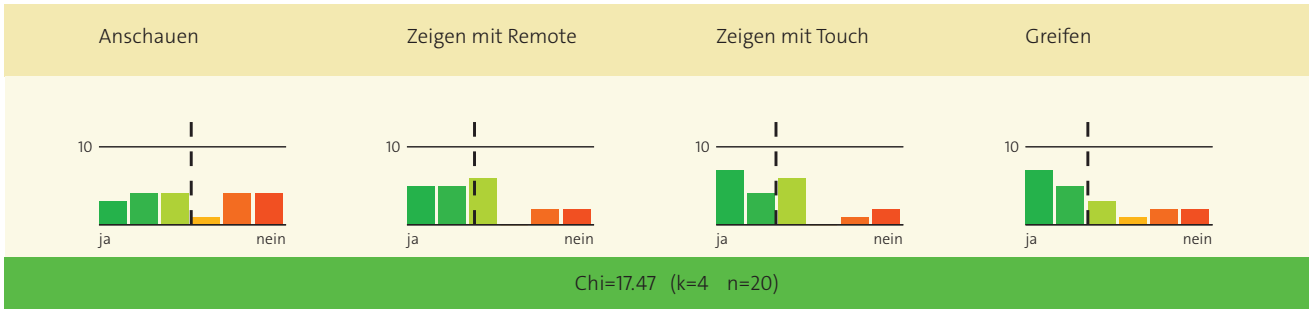
5: Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden



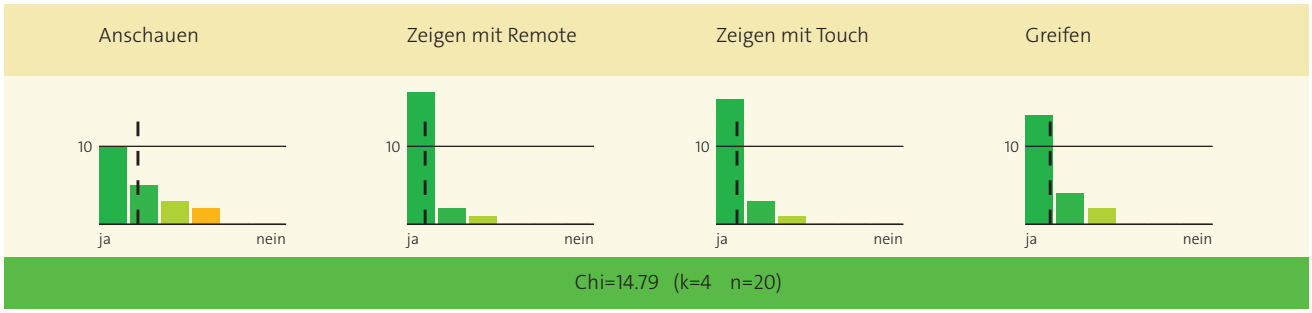
9: Ich war während des Tests entspannt

Die Antworten liegen für alle Interaktionen nahe beieinander und der Friedman Test ermittelt für die Fragen 1 und 5 eine geringe sowie für die Frage 9 eine sehr geringe Signifikanz. Die Antworten zeigen jedoch, dass bei bewegten Objekten die Interaktionstechniken Greifen und Anschauen schlechter abschneiden als bei der Auswahl ruhender Objekte.

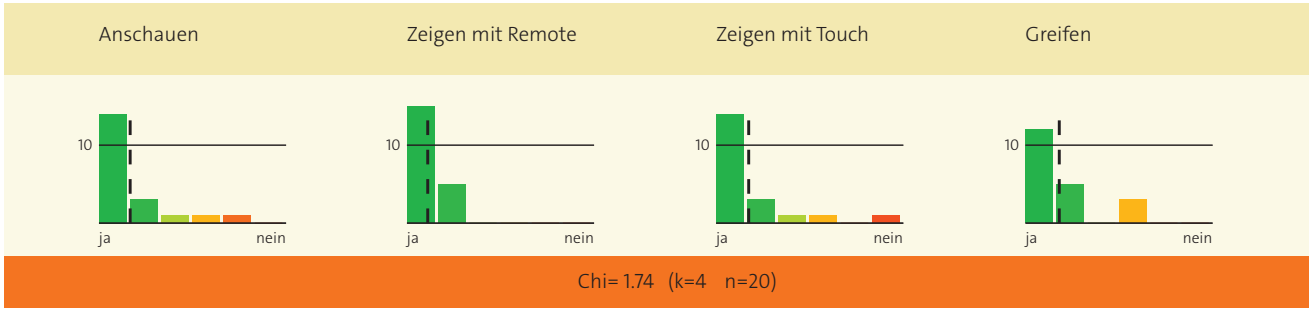
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



2: Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden



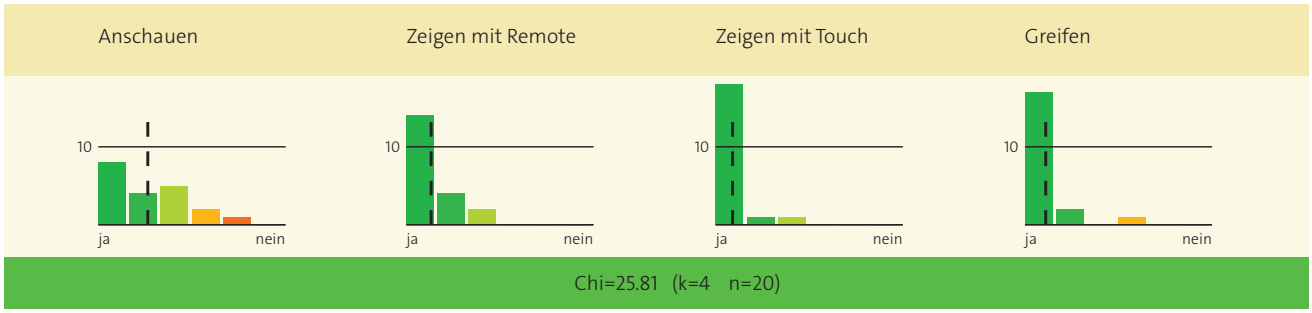
6: Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt



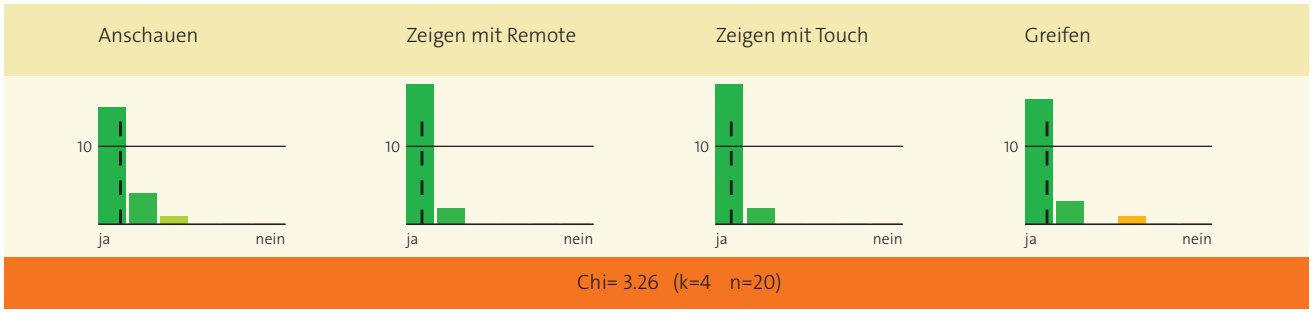
10: Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm

Die Antworten zu allen drei Fragen dieses Aspekts liegen sehr nahe beieinander, was darauf hindeutet, dass die Interaktionstechniken einen eher geringen Einfluss darauf haben, ob sich die Probanden wohlfühlen.

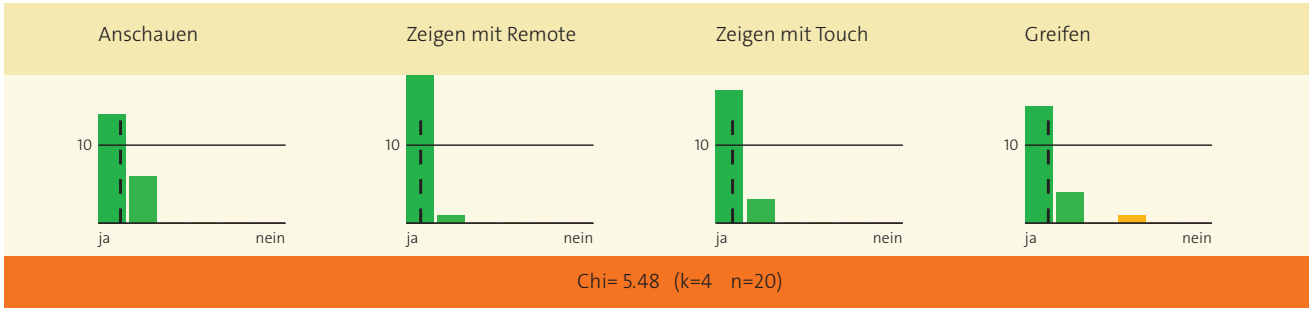
Fragen zur Erlernbarkeit – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?



3: Die Aufgabe war einfach zu bewältigen



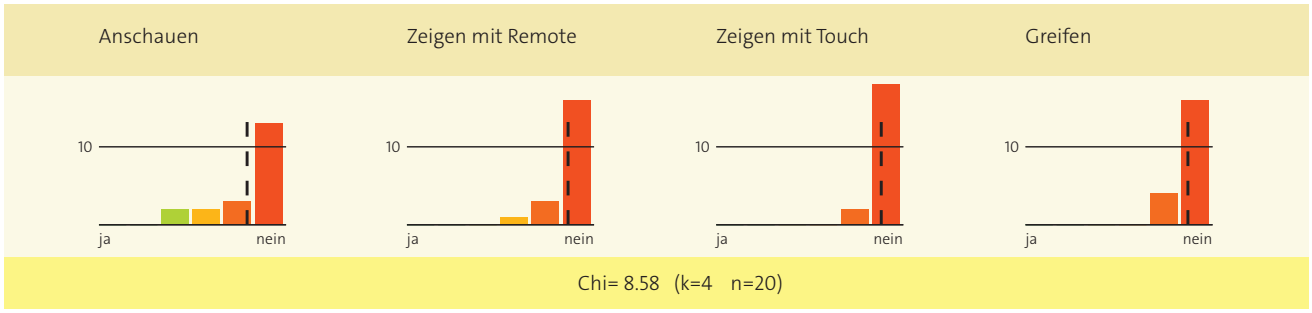
7: Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken



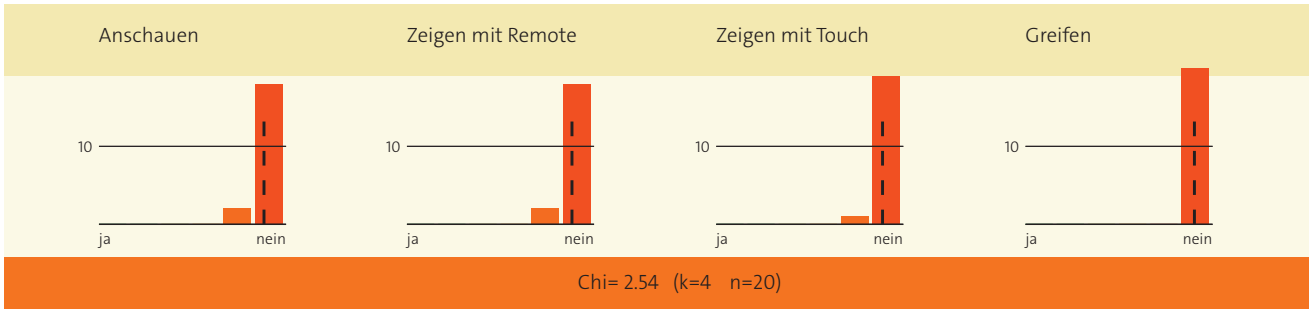
11: Ich konnte die Steuerung schnell lernen

Die Antworten zu den Fragen 7 und 11 weisen nur sehr geringe Unterschiede auf. Aber die Auswertung von Frage 3 zeigt, dass die Auswahl durch Anschauen bei bewegten Objekten offensichtlich schwieriger ist als die Auswahl mit Hilfe eines Controllers.

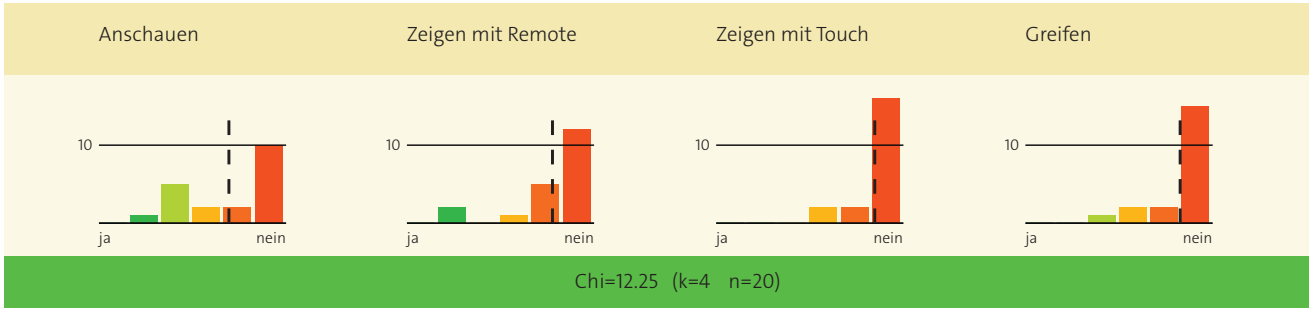
Fragen zur Physis – führt die Interaktion zu Ermüdung oder zu Motion Sickness?



4: Der Test war körperlich ermüdend für mich



8: Ich verspürte während des Tests Schwindel oder Übelkeit



12: Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen

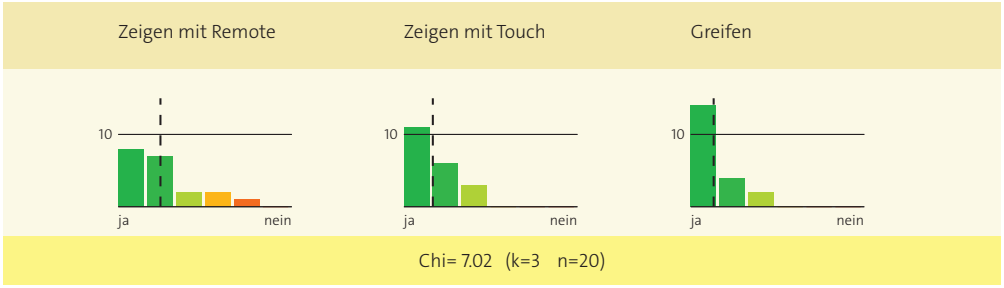
Ähnlich wie beim Aspekt Erlernbarkeit zeigt sich bei den Fragen 4 und 12, dass die Auswahl durch den Blick anstrengender und ermüdender ist als die Auswahl mit Hilfe eines Controllers.

3.4.3 Aufgabenstellung *Sortieren von Objekten*

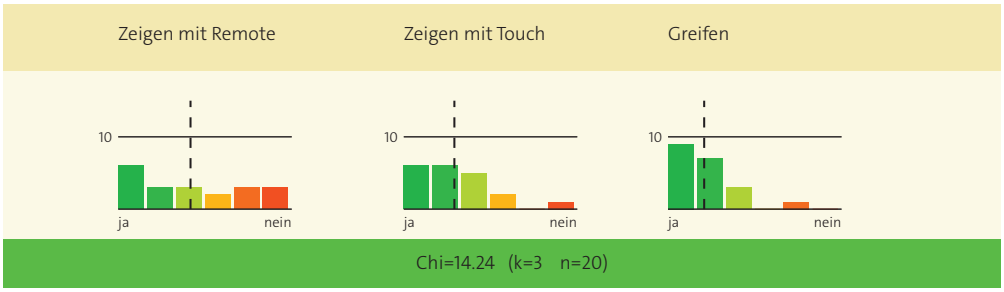
Die vorangegangenen Tests hatten gezeigt, dass für diese komplexere Aufgabenstellung eine Auswahl der Objekte durch Anschauen zu mühsam ist und zu lange dauern würde, deshalb wurden nur die folgenden Interaktionstechniken untersucht:

Zeigen mit dem Oculus Remote sowie dem Touch Controller und Greifen
Für den Friedman-Test gelten bei k=3 untersuchten Interaktionstechniken und n=20 Probanden folgende Schwellwerte für die Signifikanzniveaus alpha=0,01 und alpha=0,05: chi>9,3 für alpha=0,01 (Grün), chi>6,3 für alpha=0,05 (Gelb), chi<6,3 für alpha>0,05 (Rot)

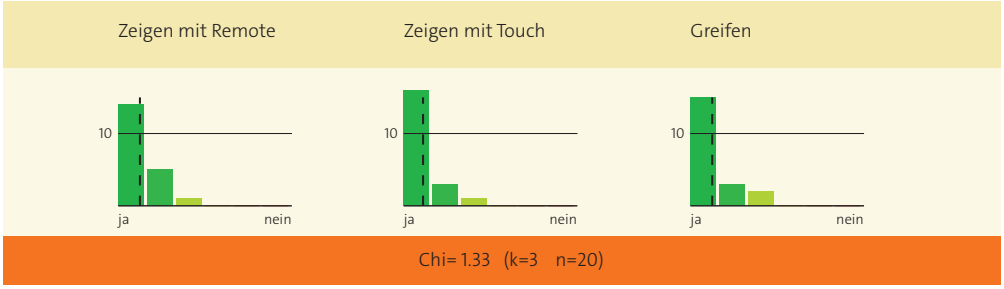
Fragen zum Aspekt Fun – macht die Interaktion Spaß?



1: Ich hatte Spaß an der Interaktion



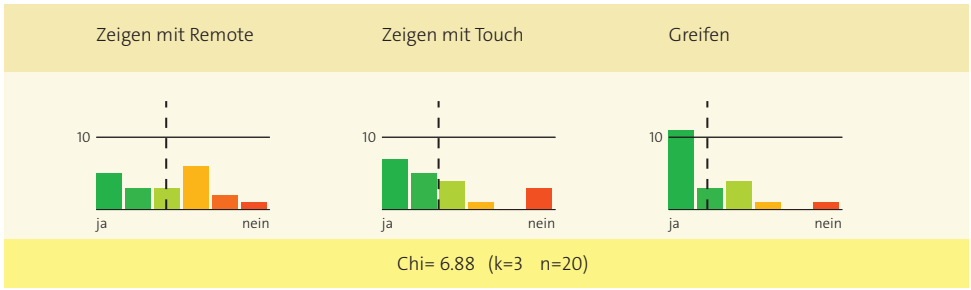
5: Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden



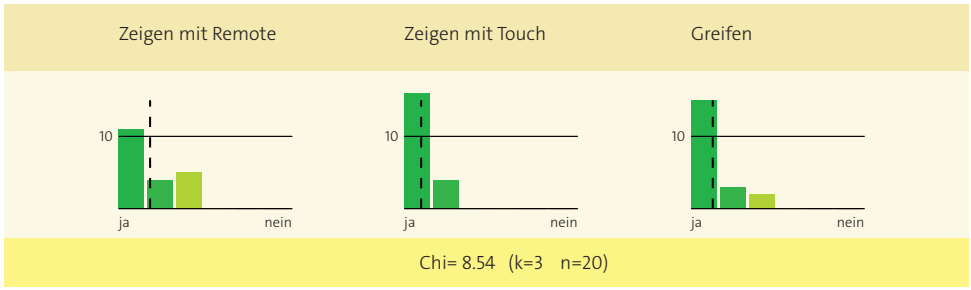
9: Ich war während des Tests entspannt

Bei der Sortieraufgabe schneidet das Greifen deutlich besser ab als die anderen Interaktionen, wie sich aus den Antworten zu den Fragen 1 und 5 zeigt.

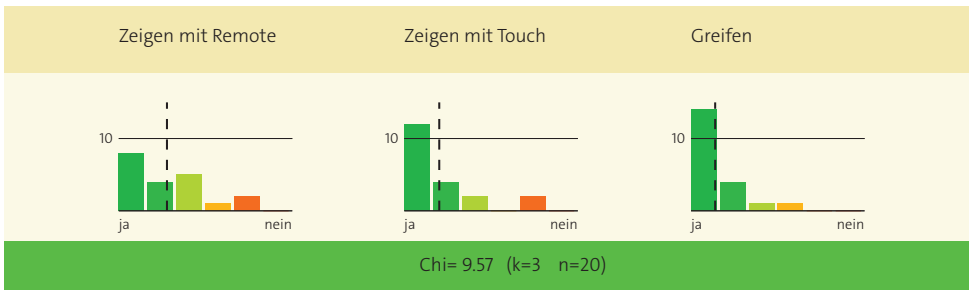
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



2: Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden



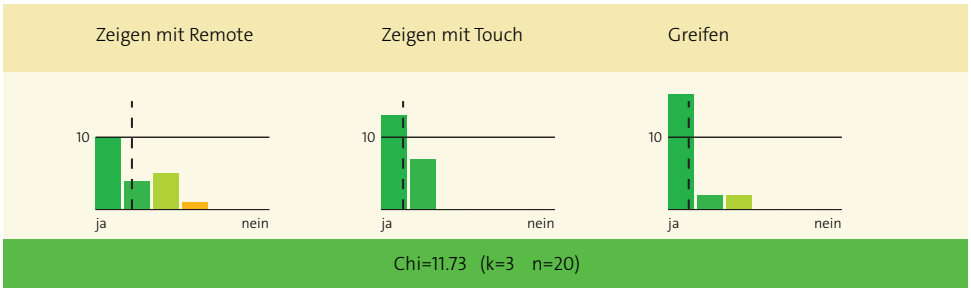
6: Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt



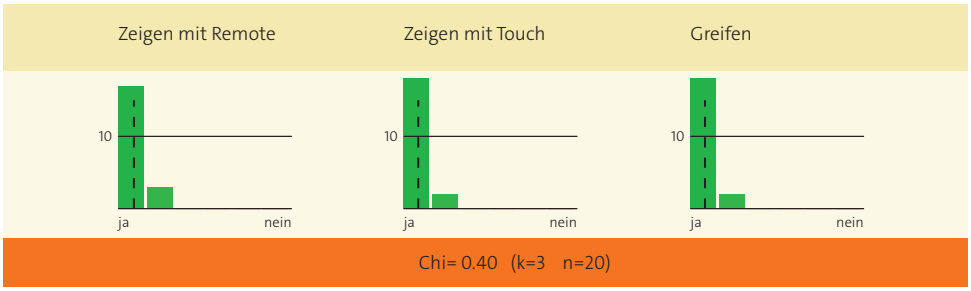
10: Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm

Auch hier zeigen die Antworten die eindeutige Tendenz, dass die Interaktion Greifen als natürlich empfunden wird und zum Wohlfühlen bei der Anwendung beiträgt.

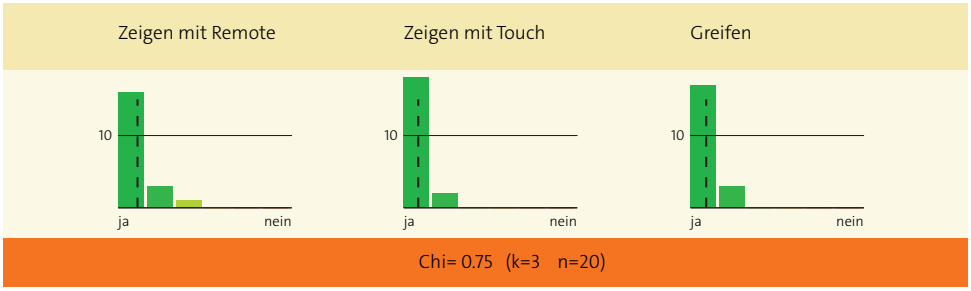
Fragen zur Erlernbarkeit – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?



3: Die Aufgabe war einfach zu bewältigen



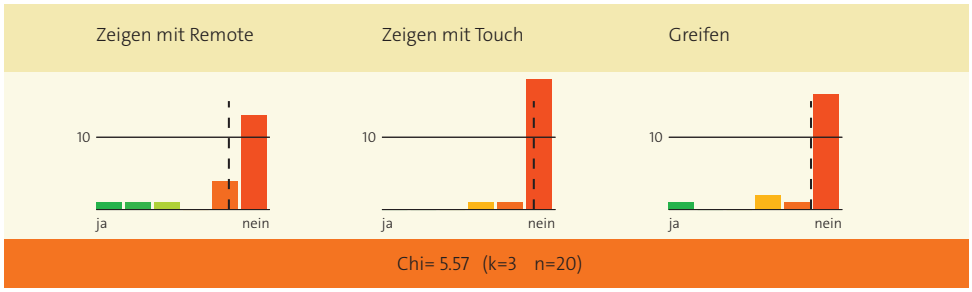
7: Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken



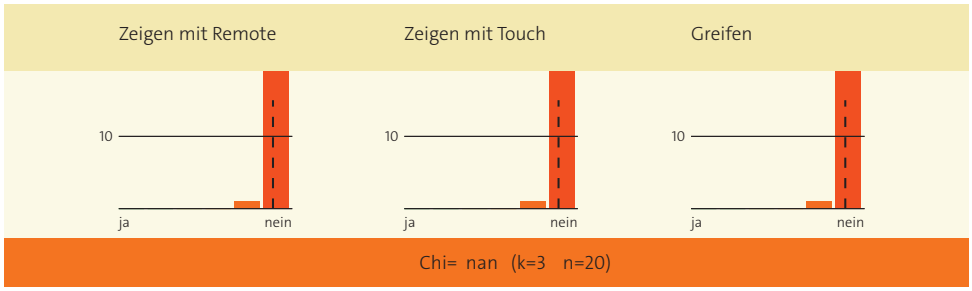
11: Ich konnte die Steuerung schnell lernen

Die Antworten zu alle Fragen liegen hier sehr nahe beieinander und es gibt keine eindeutige Tendenz.

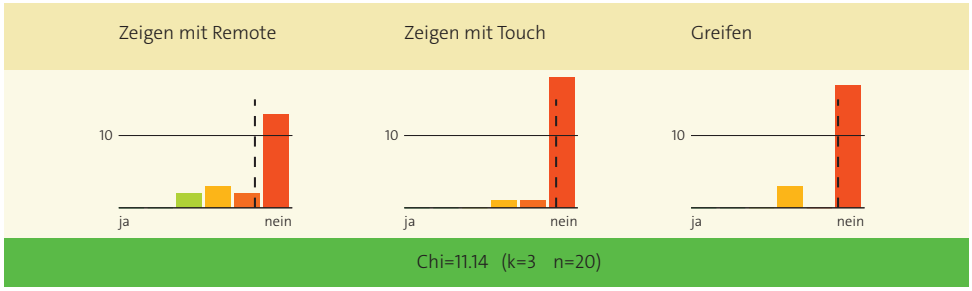
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



4: Der Test war körperlich ermüdend für mich



8: Ich verspürte während des Tests Schwindel oder Übelkeit



12: Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen

Auch hier zeigt sich keine klare Tendenz zu einer der Interaktionstechniken.

4 Bewegung

4.1 Grundlagen der Bewegung in VR

Bewegung oder auch „Navigation in einer virtuellen Umgebung“ ist immer dann relevant, wenn die Größe der Umgebung, in der der Nutzer agieren soll, die Reichweite seiner Hände übersteigt. Bei einer Lernanwendung zur Montage von Geräteteilen wären beispielsweise nicht unbedingt Bewegungsfunktionen nötig, wenn der Anwender sich nicht von der Station wegbewegen muss. Bei einer Architektur-Visualisierung, bei der ein großer Gebäudekomplex gezeigt werden soll, wäre Bewegung dagegen unerlässlich. Viele VR Spiele bieten dem Spieler die Möglichkeit, die Spielwelt zu erkunden, indem sie sich mehr oder minder frei durch sie hindurchbewegen.

Der Nutzer kann Navigation beziehungsweise Bewegung durch die virtuelle Welt nutzen, um verschiedene Aufgaben zu bewältigen. Dazu gehören Erkundung, Überblick gewinnen und Suchaufgaben [Tan et al. 2001]. Bewegung in VR ist aus technischer Sicht immer durch die Position, Orientierung und Geschwindigkeit der virtuellen Kamera bestimmt und wird darum auch als *Viewpoint Motion* bezeichnet [Tan et al. 2001]. Diese *Viewpoint Motion* wird entweder durch Interaktion ausgelöst oder geschieht automatisiert.

Grundsätzlich kann Bewegung in der virtuellen Umgebung durch eine 1:1-Übertragung der Bewegung in der tatsächlichen Benutzerumgebung realisiert werden. Dadurch stößt man allerdings schnell an die Grenze des Tracking-Volumens, also des Bereichs, in dem der Benutzer vom VR System lokalisiert werden kann. Um diesen Bereich virtuell zu erweitern, muss man dem Benutzer die Wahrnehmung einer virtuellen Bewegung vermitteln, die sich von der tatsächlichen unterscheidet und darüber hinaus geht.

Da dabei die vorwiegend visuell vermittelte Bewegung von der über den Gleichgewichtssinn empfundenen abweicht, kann *Motion Sickness* auftreten.

4.2 Motion Sickness

Motion Sickness, (auch Simulator Sickness oder Cyber Sickness), beschreibt das mit der Seekrankheit verwandte Gefühl des Unwohlseins, der Übelkeit oder des Schwindels, das während oder nach der Benutzung von Virtual-Reality Systemen auftreten kann. Es gibt mehrere verschiedene Theorien darüber, warum und wann Nutzer unter Motion Sickness leiden, es wurde jedoch noch keine abschließende Erklärung

für die Ursachen gefunden. Motion Sickness ist in VR Anwendungen für Endnutzer besonders unerwünscht, da es potentiell die Annahme der neuen Technologien im VR Bereich durch die Allgemeinheit verzögern kann [Davis et al. 2014].

Die am weitesten verbreiteten Theorien zu den Ursachen von Motion Sickness ist die Sensory Conflict Theory. Laut der Sensory Conflict Theory tritt Motion Sickness auf, wenn das Gehirn widersprüchliche Signale von den zwei am meisten in VR belasteten Sinnesorganen erhält. Sowohl Auge als auch Gleichgewichtssinn liefern uns Informationen darüber, ob und wie wir uns bewegen. In VR sieht das Auge eine konstante Bewegung, der Gleichgewichtssinn meldet allerdings Stillstand. Der Konflikt zwischen den Sinneswahrnehmungen ist laut dieser Theorie Auslöser von Motion Sickness Symptomen [Davis et al. 2014].

Zwei weitere verbreitete Theorien sind die Poison Theory und die Postural Instability Theory. Die Poison Theory verbindet diesen Widerspruch der Signale mit Vergiftungserscheinungen. Das Gehirn nimmt aufgrund der widersprüchlichen Wahrnehmung, die Halluzinationen ähnelt, an, dass der Körper vergiftet sei. Es versucht dagegen vorzugehen, indem es Übelkeit hervorruft, um die Toxine aus dem Körper zu entfernen. Die Postural Instability Theory geht davon aus, dass plötzliche visuelle Änderungen in der virtuellen Umgebung, die nicht mit den normalen Begrenzungen von Körperbewegungen zusammenhängen, zu Motion Sickness führen [Davis et al. 2014].

Wie kann Motion Sickness vermieden werden? Das Auftreten von Motion Sickness ist ein großes Hindernis für die Verbreitung von VR, deshalb ist das Interesse an der Bewältigung des Problems groß.

Eine Reihe von Best Practices existiert, die Motion Sickness reduzieren können:

- Die Anwendung sollte keine Performance-Einbrüche verursachen, da zu hohe Latenz in der Bildwiedergabe zu Motion Sickness führt [Dörner et al. 2013] .
- Kontinuierliche Bewegung, die nicht mit tatsächlicher Bewegung des Körpers zusammenhängt kann anfälliger für Motion Sickness Erscheinungen sein als rein durch den Körper gesteuerte Bewegungsmethoden [Llorach et al. 2014].
- Um Motion Sickness zu verringern kann es hilfreich sein, dem Nutzer eine hohe Kontrolle über die Bewegung zu geben, da er so besser vorhersehen kann, was als nächsten geschehen wird [Pausch et al. 1992] .
- Geradlinige Bewegungen vermeiden Cyber Sickness besser als Bewegungen, bei denen oft die Richtung gewechselt wird. Zum Beispiel ist es beim virtuellen Emporsteigen einer Treppe angenehmer, entlang einer Rampe die Treppe hinaufzubewegen, als die Bewegung entlang jeder Treppenstufe auszuführen [Figueroa and Dorado 2014]).
- Es kann außerdem hilfreich sein, dem Nutzer während der Bewegung einen festen Referenzrahmen oder Referenzpunkt zu geben.

Ein weiteres Hilfsmittel, das verwendet werden kann, um Motion Sickness zu verringern, ist eine Schwarzblende. Dabei werden die äußeren Bereiche des Sichtfeldes,

in denen sich Objekte der virtuellen Welt bei höherer Bewegungsgeschwindigkeit sehr schnell an einem vorbeibewegen, ab einer gewissen Geschwindigkeit im peripheren Sehbereich vignettenartig abgedunkelt oder geschwärzt. Je höher die Geschwindigkeit des Nutzers, umso mehr des Sichtfeldes wird geschwärzt. Ein gutes Beispiel ist das Spiel Eagle Flight, in dem man als Vogel teils recht schnell durch die engen Gassen eines von Bäumen überwucherten Paris saust [Montreal 2016].

Eine Bewegungstechnik, die Motion Sickness möglichst einschränkt, sollte dem Nutzer sowohl viel Kontrolle geben, als auch ruckhafte kontinuierliche Bewegungen vermeiden. Andererseits sollten Entwickler Motion Sickness nicht zu einem Grad fürchten, dass sie sich nicht mehr trauen irgendetwas auszuprobieren, dass möglicherweise zu Motion Sickness führen könnte. Das Wichtige ist, dass man sich der möglichen Beeinträchtigungen durch Motion Sickness bewusst wird und seine Anwendung entsprechend testet. Hierbei lohnt es sich, die eigene Anfälligkeit für Motion Sickness zu ermitteln und eventuell anfälligere Personen testen lassen. Es gibt viele Spiele, die beispielsweise kontinuierliche Bewegung verwenden, ohne dass es bei allen Nutzern zu hoher Motion Sickness kommt. Außerdem muss das Auftreten von Motion Sickness nicht zwangsweise den Spaß des Nutzers an einer Anwendung verringern [Mammen et al. 2016].

Je nachdem, was das Ziel der Anwendung ist und wie lange Nutzer sich in ihr befinden, muss man abwägen, wie schlimm das Auftreten von Motion Sickness sein kann. Wenn jemand sehr lange in einer virtuellen Umgebung arbeiten soll, sollte Motion Sickness möglichst gering gehalten werden. Je nach Anwendungsfeld ist es daher wichtig, diesen Aspekt immer im Auge zu behalten und Mechaniken ohne Motion Sickness anderen vorzuziehen. Das Thema Motion Sickness wird in der Klassifikation ebenfalls behandelt.

4.3 Realistische Bewegung

Ebenso wie die Objektinteraktion ist Bewegung eine Interaktion mit der virtuellen Umgebung. Sie bezieht sich allerdings nicht auf die Manipulation von Objekten, sondern auf die Manipulation der Perspektive. Ähnlich wie bei der Objektinteraktion, kann man auch bei der Bewegung zwischen realistischen und surrealen Techniken unterscheiden. Im Folgenden wollen wir einen Blick auf die entsprechenden Interaction Patterns werfen. Für Bewegung sind dabei die Viewpoint-Control Patterns relevant.

Bei der Einteilung der Viewpoint Interaction Patterns unterscheiden wir zwischen *realistischen* Patterns, also solchen, die im Kontext der virtuellen Erfahrung physikalisch realisierbar wären, und *surrealen* (wie z. B. der Teleportation).

Bei der realistischen Bewegung haben die Bewegungstechniken einen Bezug zur echten Welt und bilden Aktionen der echten Welt in einem eher geringen Abstraktionsgrad ab. Realistische Bewegung lässt sich mit Hilfe des Walking Patterns umsetzen.

4.3.1 Definierende Eigenschaften

> *„The Walking Pattern leverages motion of the feet to control the viewpoint." [Jerald 2016, S. 336]*

Das einfachste Beispiel für realistische Bewegung von Personen in VR ist die direkte Übertragung des Gehens in der echten Welt auf die virtuelle Welt. Durch Tracking der Raumposition der VR Brille wird die Position des Nutzers bestimmt. Anwendungen, bei denen der Nutzer durch reales Gehen die virtuelle Welt erkunden kann, werden oft als *roomscale* (raumfüllend) bezeichnet. Da der Platz in der echten Welt beschränkt ist, wird diese Technik gern um eine surreale Zusatzfunktion erweitert. Oft handelt es sich dabei um den Teleport. Für raumfüllende Anwendungen bietet sich die HTC Vive an, aber auch die Oculus Rift unterstützt mittlerweile experimentell das dafür nötige 360-Grad-Tracking.

Eine andere Ausprägung des Walking Patterns ist das Laufen auf der Stelle. Das System erkennt in diesem Fall, wann der Nutzer eine Gehbewegung auf der Stelle ausführt, und bewegt ihn dann in der virtuellen Welt entlang seiner Blickrichtung. Diese Form ist natürlich etwas surrealer als das echte Gehen, aber immer noch recht realistisch.

4.3.2 Redirected Walking

Eine andere Möglichkeit, den tatsächlichen Raum virtuell auszudehnen, ist *Redirected Walking,* bei dem die Darstellung so verändert wird, dass der Benutzer beim Laufen zwar im tatsächlichen Raum beschränkt ist, aber eine Bewegung darüber hinaus wahrnimmt.

Dabei macht man sich zu Nutze, dass die menschliche Wahrnehmung für leichte Rotationen der virtuellen Welt nicht sehr empfindlich zu sein scheint: Bei jeder Rotationsbewegung des Anwenders in der echten Welt wird die Kamera in der virtuellen Umgebung um einen gewissen Prozentsatz über die echte Drehung hinaus rotiert. Wie stark die Rotation vergrößert wird, kann sogar während der Drehung dynamisch verändert werden, und muss nicht konstant bleiben [Zhang and Kuhl 2013]. Das Ergebnis ist eine Art Im-Kreis-Laufen in der echten Welt, während die virtuellen Welt frei erkundet werden kann. Obwohl die menschliche Wahrnehmung dabei getäuscht wird, wirkt sich Redirected Walking nicht negativ auf die Orientierungsfähigkeit in der virtuellen Welt aus [Hodgson et al. 2011].

4.3.3 Large Scale Tracking

Aktuell verfügbare HTC-Vive Systeme unterstützen offiziell einen Tracking-Bereich von etwa 12 qm. Das ist allerdings nicht für alle Anwendungen ausreichend. Durch

den Einsatz von Motion-Capture-Technologie, wie zum Beispiel OptiTrack[7], wird das Tracking auf Flächen jenseits von 50 qm ermöglicht. Die VR Brille wird dabei um einen Aufsatz erweitert, der vom Motion-Capture System erkannt werden kann. Die Nutzer werden mit Rucksack PCs ausgestattet, um nicht durch Kabel gestört zu werden. Diese Technik kommt teilweise auch schon in VR Spielhallen oder großen Industrieanwendungen zum Einsatz.

Die neuen Valve 2.0 pro Brillen, die Ende 2018 auf den Markt kommen, sollen ebenfalls einen Bereich von über 50qm abdecken können und mit bis zu vier Basisstationen Multi-User fähig sein[8].

7 optitrack.com

8 enterprise.vive.com/eu

4.3.4 Bewertung realistischer Bewegungsmodalitäten

Vorteile

- Realistische Bewegung ist sehr natürlich und erspart dem Nutzer das Erlernen einer bestimmten Bewegungsinteraktion – er macht einfach das, was er in der echten Welt auch machen würde.
- Wird das Gehen aus der echten Welt direkt übertragen, wie beim Walking Pattern, tritt fast keine Motion Sickness auf [Jerald 2016].
- Realistische Bewegung kann für ein stärkeres Präsenzgefühl sorgen [Slater et al. 1995].
- Auch wenn die echte Bewegung wie beim auf der Stelle laufen vereinfacht wird, kann die starke Assoziation mit der echten Bewegung schon einen positiven Effekt haben [Gillies 2016].

Nachteile

- Realistische Bewegung durch echtes Gehen braucht ausreichend Platz oder eine zusätzliche surreale Bewegungstechnik.
- Large Scale Tracking Systeme, die realistische Bewegung auf großer Fläche erlauben, sind sehr kostspielig.

4.4 Surreale Bewegung

Surreale Bewegungstechniken haben keinen direkten Bezug zu unseren Gehbewegungen in der echten Welt und kommen auch ohne Bewegung der Füße aus. Sie werden entweder durch die Interaktion mit einem Controller gesteuert oder automatisch ausgeführt.

4.4.1 Automated Patterns

> *"The **Automated Pattern** passively changes the user's viewpoint. Common methods of achieving this are by being seated on a moving vehicle controlled by the computer or by teleportation." [Jerald 2016, S. 342]*

Beim *Automated Pattern l*äuft die Bewegung automatisch ab. Der Nutzer kann sie zwar unter Umständen auslösen, auf die eigentliche Bewegung hat er aber keinen Einfluss. Ein Beispiel dafür ist der häufig eingesetzte *Teleport.* Der Nutzer wählt eine Position in der virtuellen Welt, an die er sich bewegen möchte, und löst, zum Beispiel durch Knopfdruck, den Teleport aus. Auf die Bewegung dorthin hat er keinen Einfluss – das System setzt ihn einfach automatisch an die ausgewählte Stelle. Teleportation ist einfach zu bedienen, kann beim Nutzer allerdings auch zu Desorientierung führen [Bowman and Hodges 1997]. Die Umgebung sollte darum beim Teleport übersichtlich sein oder unterscheidbare Orientierungspunkte beinhalten.

Automated Patterns sind nicht auf ruckartige Positionswechsel beschränkt. Auch kontinuierliche Bewegung kann automatisch ausgeführt werden. Ein gutes Beispiel dafür sind Anwendungen, die eine Achterbahnfahrt simulieren – die virtuelle Kamera folgt den virtuellen Gleisen. Der Nutzer kann zwar den Kopf noch drehen, seine Position in der Spielwelt wird allerdings automatisch bestimmt. Auch einige Spiele verwenden eine automatische kontinuierliche Bewegung. Ein Beispiel für die Implementierung einer Mischform liefert das Spiel Eagle Flight: es führt die Flugbewegung des Spielers zwar automatisch aus, der Spieler kann jedoch die Richtung durch Neigen des Kopfes und die Geschwindigkeit über einen Gamecontroller steuern [Montreal 2016].

Während Automated Patterns einfacher und mit mehr Flexibilität in der Gestaltung der virtuellen Umgebung als z. B. Redirected Walking realisiert werden können, kann die fehlende Kontrolle über die Bewegung in VR zu Motion Sickness beitragen.

4.4.2 Steering Pattern

> *The **Steering Pattern** is continuous control of viewpoint direction that does not involve movement of the feet." [Jerald 2016, S. 338]*

Die Funktionsweise des Steering Pattern dürfte vielen Menschen aus herkömmlichen Computerspielen bekannt sein. Über eine Interaktion mit einem Controller wird die Bewegung ausgelöst und ihre Richtung bestimmt: Damit lassen sich auch weite Wege relativ einfach überbrücken.

Die Richtung der Bewegung kann entweder durch Controller-Interaktion, die Blickrichtung in VR (Gaze-Directed-Steering) oder die Richtung, in die die Hand zeigt *(One-Handed-Flying),* bestimmt werden [Jerald 2016]. Es gibt Hinweise darauf, dass Steering mit dem Joystick Button eines Controllers dem Gaze-Directed-Steering überlegen ist, was Komfort und Schnelligkeit angeht [Cardoso 2016]. Außerdem deutet vieles darauf hin, dass die Richtungsbestimmung durch die Zeigerichtung der Hand vorteilhafter sein kann, als die Richtungsbestimmung durch die Blickrichtung [Bowman and Hodges 1997].

Da diese Art der Steuerung nicht mehr mit der echten Bewegung des Nutzers zusammenhängt, kann sie vermehrt Cyber Sickness auslösen. Kritisch sind vor allem die Momente, in denen sich die Geschwindigkeit verändert, also eine virtuelle Beschleunigung auftritt, die der Benutzer nicht über den Gleichgewichtssinn fühlen kann.

Ein fester Referenzrahmen oder Referenzpunkt kann bei diesem Pattern hilfreich sein, um Desorientierung und Motion Sickness zu verringern. Diesen Ansatz kann man auch in einigen Spielen beobachten: Eagle Flight verpasst dem Spieler einen virtuellen Schnabel, der trotz der teils wilden Bewegungen als Fixpunkt dient. In VR Worlds [Sony 2016] steuern wir einen Alien-Charakter in einem Mech-Anzug mittels Steering durch die Welt, wobei der Anzug den festen Referenzrahmen beisteuert.

4.4.3 3D Multi Touch Pattern

> *"The **3D Multi-Touch Pattern** enables simultaneous modification of the position, orientation, and scale of the world with the use of two hands." [Jerald 2016, S. 340]*

Beim 3D Multi Touch Pattern packt der Nutzer die virtuelle Umgebung mit einer oder zwei Händen und bewegt, rotiert oder skaliert diese um sich herum. Der Nutzer kann sich auf diese Art durch die virtuelle Welt ziehen, indem er zum Beispiel abwechselnd mit den Händen die Welt greift und an sich vorbeizieht – ähnlich dem Entlangziehen an einem Seil. Rotation der Welt kann mit der Rotation der Hände umeinander verknüpft werden.

Diese Bewegungsmethode ist eher für Interaktionen geeignet, die keinen hohen Realismus erfordern. Sie ist auch beliebt in Anwendungen die Arbeitsumgebungen für Aufgaben wie 3D Modeling bieten, bei denen man Objekte oder Umgebungen schnell aus vielen verschiedenen Blickwinkeln betrachten möchte [Jerald 2016].

Auch in Spielen findet diese Art der Fortbewegung gelegentlich Anwendung: In Mission ISS [Magnopus 2017] befindet sich der Spieler in der schwerelosen Raumstation ISS und muss sich mit den Händen durch die Spielwelt ziehen. Auch der Klettermechanismus in The Climb [Crytek 2016] basiert auf diesem Pattern. In beiden Beispielen kommt das Pattern den realen Bewegungen nah, obwohl es sonst eher surreal wirkt.

4.4.4 Bewertung surrealer Bewegungsmodalitäten

Vorteile

- Techniken wie Steering sind bereits aus Computerspielen vielen Menschen vertraut.
- Durch surreale Bewegung kann man schnell auch große Distanzen zurücklegen, ohne sich körperlich anzustrengen.
- Die Überbrückung von Höhenunterschieden ist problemlos möglich.
- Es ist nicht viel Platz erforderlich.
- Surreale Techniken erlauben eher das einfache Betrachten von Umgebungen aus vielen verschiedenen Blickwinkeln als realistische Bewegungen.

Nachteile

- Der Umgang mit noch unbekannten surrealen Bewegungstechnik muss erst erlernt werden.
- Die kontinuierliche Bewegung ohne Bewegung des eigenen Körpers kann Motion Sickness begünstigen [Llorach et al. 2014].

4.5 Bewegung und Wegfindung

Bei der Bewegung durch eine virtuelle Umgebung beeinflusst nicht nur die Bewegungstechnik oder das Interaction Pattern, wie gut oder schlecht dem Nutzer die Orientierung gelingt. Auch die Gestaltung der virtuellen Welt an sich hat großen Einfluss darauf.

Wir orientieren uns durch Ankerpunkte und Routenwissen und generieren eine mentale Karte der Umgebung, um uns in ihr zurechtzufinden. Ankerpunkte (Landmarks) sind besonders auffällige Punkte in der Welt, die sich der Nutzer gut merken kann und die bestenfalls auch von etwas weiter entfernt sichtbar sind – beispielsweise eine große Statue, ein Leuchtturm oder ähnliches [Dörner et al. 2013].

Man kann Nutzern die Wegfindung erleichtern, indem man die Umgebung orientierungsfreundlich gestaltet, dabei sind die folgenden Fragestellungen hilfreich:

- Ist die Umgebung übersichtlich und kann der Spieler an Ankerpunkten festmachen, wo er sich in der Welt relativ zu anderen Objekten befindet?
- Ist die Umgebung verwirrend, zu gleichmäßig oder zu dunkel?

4.6 Best Practices

Nach Abschluss unserer Literaturerhebung und Vorstudien empfehlen wir die Bedarfsanalyse anhand folgender Leitfragen, mit jeweiligen Empfehlungen:

Wie groß ist die virtuelle Umgebung, in der der Nutzer interagiert?

- **Interaktion findet nur in direkter Reichweite des Nutzers statt**
  Empfehlung: Möglicherweise auf Bewegung verzichten
- **Die Umgebung ist größer als die Reichweite des Nutzers**
  Empfehlung: Eine Bewegungsfunktion hinzufügen

Wieviel Platz steht zum Aufbau der VR Anwendung zur Verfügung?

- **Es steht nur wenig und begrenzter Platz zur Verfügung**
  Empfehlung: surreale Bewegungstechniken verwenden
- **Die Umgebung ist größer als die Reichweite des Nutzers**
  Empfehlung: realistische Bewegungstechniken verwenden, eventuell surreal ergänzt

Wie lange soll der Nutzer die VR Anwendung verwenden?

- **Unter 10 Minuten**
  Empfehlung: Die Technik verwenden, die am besten zum Inhalt passt
- **Länger als 10 Minuten**
  Empfehlung: Eine Technik mit geringem Cyber Sickness Risiko verwenden – zum Beispiel reale Bewegung oder Teleport.

Ist eine kontinuierliche Bewegung wichtig, da es zum Beispiel Punkte gibt, die vom Nutzer nicht übersprungen werden dürfen?

- **Ja** Empfehlung: Ein Steering Pattern verwenden
- **Nein** Empfehlung: Teleport verwenden

4.7 Nutzerstudie

4.7.1 Ziele der Nutzerstudie

Erkenntnisse darüber, wie sich bestimmte Methoden, Techniken oder gestalterischen Entscheidungen in der virtuellen Welt auf den Anwender auswirken, lassen sich nur durch sorgfältiges Testen gewinnen. Wer sich einfach darauf verlässt, dass etwas „schon verstanden“ werden wird, oder „dass schon keinem dabei schlecht wird“ muss eventuell im Nachhinein aufwändigen Änderungen vornehmen. Entwickler sollten ihr Produkt immer mit neutralen Personen testen, die nicht wissen worum es geht – Eigenevaluation ist nahezu wertlos, da wir als Entwickler schon wissen, „wie es sein soll“ und daher auch dazu tendieren alles richtig zu machen und zu verstehen. Wir selbst können nie ein Maß für die Usability oder Verständlichkeit unseres eigenen Produktes sein. Wir möchten mit den von uns durchgeführten Nutzerstudien einerseits ein paar neue Erkenntnisse liefern, andererseits aber auch Beispiele liefern, wie man seine Virtual-Reality Anwendung mit Testpersonen evaluieren kann.

Ziel dieser Nutzerstudie war es zu untersuchen, wie sich unterschiedliche Bewegungstechniken auf die User Experience der Spieler bei der Bewältigung einer Navigationsaufgabe auswirkt. Was geht leicht von der Hand, was bereitet Schwierigkeiten? Wo wird unter Umständen vermehrt über Motion Sickness geklagt? Navigation ist eine wichtige Grundfunktion vieler Spiele und Anwendungen, und wenn sie nicht richtig funktioniert oder starkes Unwohlsein hervorruft, wird sich kaum jemand mit dem Spiel oder der Anwendung länger beschäftigen wollen.

Der Test ermöglicht uns:

- Einen Vergleich verschiedener surrealen Bewegungstechniken (Steering Pattern, Multi-Touch Pattern, Automated Pattern)
- Einen Vergleich zweier Teleport Implementationen
- Einen Vergleich von Oculus Remote und Oculus Touch beim Einsatz surrealer Bewegungstechniken

4.7.2 Testaufbau

Der grundlegende Testaufbau für Bewegung sah folgendermaßen aus: Der Nutzer befand sich in der virtuellen Welt in einem großen offenen Raum, dessen Boden durch ein Schachbrett mit einem Kreismuster definiert wurde. Um ihn herum lagen 5 verschiedene „Landmarks“, Wegpunkte, die als Ziele dienten und einen Kurs durch die virtuelle Umgebung bildeten.

Wenn ein Wegpunkt blau aufleuchtete, musste der Teilnehmer zu ihm navigieren und den Wegpunkt passieren. Die Farbe des Wegpunkts wechselte dann zu grün und der nächste Wegpunkt leuchtete blau auf. Nacheinander wurde der Anwender so von Wegpunkt zu Wegpunkt geleitet und lief eine vordefinierte Strecke ab.

Diesen Kurs absolvierte die Testperson zunächst viermal, je mit einer anderen Bewegungstechnik. Bei jedem Wechsel der Bewegungstechnik wurde der Testperson zunächst ein kurzes textbasiertes Tutorial in der virtuellen Umgebung gezeigt, dass die neue Technik erklärte. Nach jedem erfolgreich absolvierten Kurs wurde ein Fragebogen in VR eingeblendet und beantwortet, anschließend wurde die Bewegungstechnik gewechselt.

Alle Bewegungstechniken wurden mit zwei verschiedenen Controllern getestet – einmal mit der Oculus Remote, einmal mit dem Oculus Touch Controller. Wurden einmal alle Bewegungstechniken durchlaufen, wurde das Eingabegerät gewechselt und der Test startete neu.

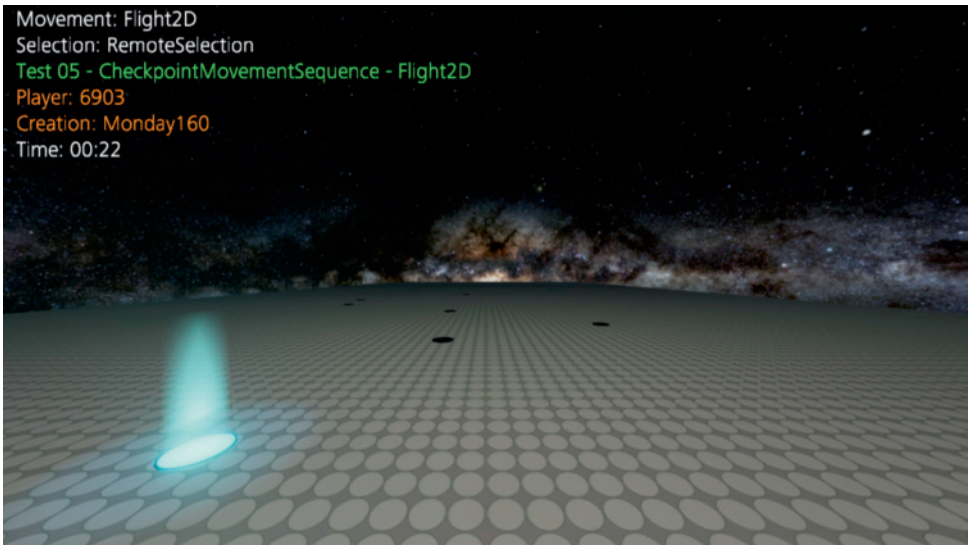


ABB. 17 Aufgabenstellung „Bewegung“, Variante „2D-Flug“

Es wurden folgende Bewegungstechniken getestet:

- Surreale Bewegung mit Automated Pattern: Freier Teleport
- Surreale Bewegung mit Automated Pattern: Dreistufiger Teleport
- Surreale Bewegung mit Steering Pattern: 2D-Flug
- Surreale Bewegung mit Multi Touch Pattern: Greifen

Die Zielauswahl, Richtungsbestimmung und Auslösung der Bewegung wurde für Remote und Touch Controller jeweils angepasst:

Technik	Controller	Zielauswahl /Richtung	Bestätigung
Freier Teleport	Oculus Touch	zeigen mit Hand	Grip Button
Freier Teleport	Oculus Remote	Head Pointing	Mittlerer Knopf
Dreistufiger Teleport	Oculus Touch	Hand Pointing	Grip Button
Dreistufiger Teleport	Oculus Remote	Head Pointing	Mittlerer Knopf
2D-Flug	Oculus Touch	Hand Directed	Grip Button
2D-Flug	Oculus Remote	Head Directed	Mittlerer Knopf
Grapple	Oculus Touch	Hand Directed	Grip Button
Grapple	Oculus Remote	Head Directed	Mittlerer Knopf

Im Folgenden beschreiben wir die zum Test ausgewählten Bewegungsmethoden und gehen darauf ein, warum sie ausgewählt wurden. Wir gehen zwar auf den prinzipiellen Aufbau ein, nicht aber auf die Programmierung – diese können sie dem zugehörigen Online-Angebot (www.invira.de) entnehmen.

Freier Teleport

Beim freien Teleport wählt der Spieler einen Punkt auf dem Boden aus (zum Beispiel durch seine Blickrichtung oder durch „Zeigen“ in eine Richtung mit dem Controller). Dieser Punkt wird durch eine Markierung (in unserem Fall eine blaue Kugel) gekennzeichnet, damit der Spieler weiß, wo sich sein Ziel befindet. Die Auswahl dieses Punktes wird durch das Drücken eines Buttons bestätigt. Der Spieler wird augenblicklich an diese Stelle gesetzt, den Weg dazwischen nimmt er nicht wahr. Der Spieler wurde teleportiert.

Dreistufiger Teleport

Der dreistufige Teleport funktioniert ähnlich wie der freie Teleport – auch hier wird der Spieler von einer Position an die andere bewegt, ohne den Weg dazwischen wahrzunehmen. Allerdings stehen ihm nur 3 Abstände (nah, mittel, weit) zur Verfügung, in denen er sich in eine bestimmte Richtung fortbewegen kann. Das macht die Bewegung kontrollierter als den freien Teleport.

2D-Flug

Der 2D-Flug ermöglicht die kontinuierliche Bewegung in einer zweidimensionalen Ebene – in unserem Fall die Bewegung nach links, rechts, vorne und hinten. Die Bewegung wird auf der Oculus Remote mit dem mittleren Knopf ausgelöst, man bewegt sich in Blickrichtung. Beim Oculus Touch Controller bewegt man sich in die Richtung, in die die Hand zeigt.

Grapple

Grapple ist von allen getesteten Methoden die exotischste und Steuer-Möglichkeiten dieser Art kommen in aktuellen Spieltiteln eher selten vor. Der Spieler greift die virtuelle Welt und bewegt sie gefühlt um sich herum. Auf technischer Ebene geschieht folgendes: Wenn der Spieler das Greifen auslöst – also einen bestimmten Button drückt – merkt sich das System die Ausgangsposition des Controllers, sowie die momentane räumliche Position des Spielers. Bewegt der Spieler nun seine Hand aus der Ausgangsposition heraus, wird proportional zur Veränderung der Handposition auch seine Position in der Spielwelt in die entgegengesetzte Richtung verändert. Die Übertragung ist nicht 1:1, sondern enthält einen bestimmten Faktor (in unserem Test ungefähr das zehnfache) – die räumliche Position des Spielers wird in höherem Maß verschoben als seine Handposition sich verändert. Die Bewegung findet relativ zu der Bewegung des Controllers statt. Sobald der Spieler loslässt ist die Bewegung abgeschlossen.

4.8 Ergebnisse

Der Vergleich der surrealen Bewegungstechniken ergab zusammengefasst die folgenden Ergebnisse:

- Der Freier Teleport wird als das Angenehmste empfunden.
- Freier Teleport und dreistufiger Teleport erzeugen weniger Motion Sickness als 2D-Flug und Grapple.
- Der dreistufiger Teleport verursacht weniger Motion Sickness als freier Teleport, wenn man mit Remote steuert.
- Grapple geht am schnellsten.

Vergleich zwischen Oculus Touch und Oculus Remote:

- Verwendung des Touch Controllers wird insgesamt besser bewertet als Remote.
- Motion Sickness mit Touch Controller ist insgesamt weniger als mit Remote.
- Grapple mit Touch Controller wird besser bewertet als Grapple mit Remote.
- 2D-Flug mit Touch Controller erzeugt weniger Motion Sickness als mit Remote
- Dreistufiger Teleport wird als angenehmer empfunden als Free Teleport, wenn man mit Remote steuert.

4.9 Detaillierte Auswertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Benutzertests für die Bewegung im VR Raum ausführlich dargestellt.

Bei den Aufgaben wurden die folgenden vier Interaktionstechniken untersucht:

- Freier Teleport
- Dreistufiger Teleport
- 2D Flug
- Grapple

Zu jeder Frage werden die Antworten für jeden Bewegungstyp zunächst wieder grafisch als Balkendiagramm gezeigt. Dabei werden von links nach rechts die Anzahl der Antworten von *trifft voll zu* bis zu *trifft gar nicht zu* dargestellt. Die Höhe der Balken zeigt an, wie viele Anwender die jeweilige Antwort gewählt haben.

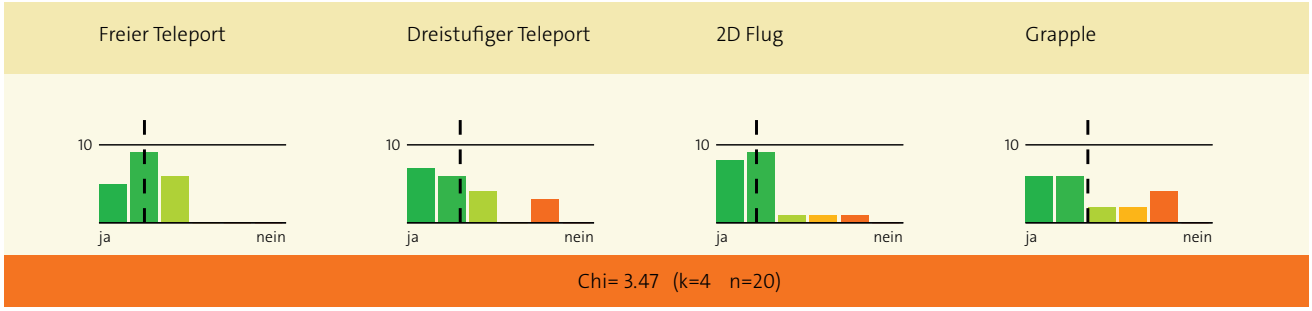
Der Balken unter den Diagrammen zeigt wieder die Signifikanz der Ergebnisse, welche mit Hilfe des Friedman-Tests ermittelt wurden.

Für den Friedman-Test gelten bei k=4 untersuchten Interaktionstechniken und n=20 Probanden folgende Schwellwerte für die Signifikanzniveaus alpha=0,01 und alpha=0,05:

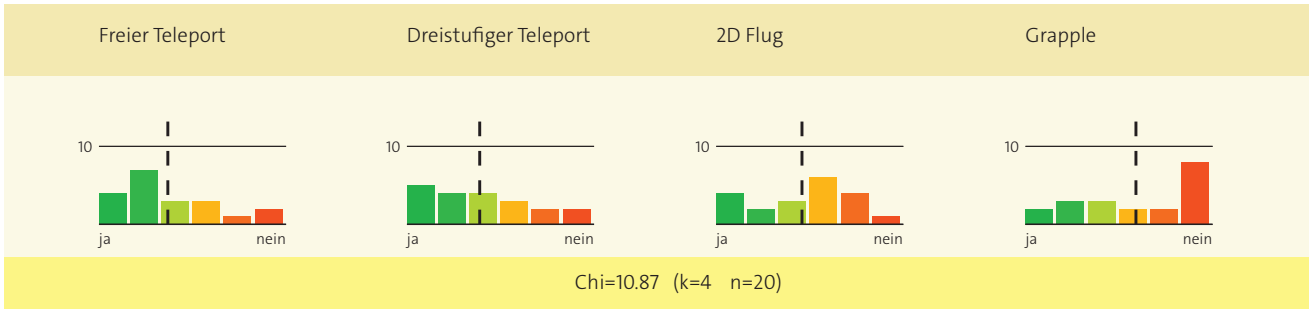
chi>11,1 für alpha=0,01 (Grün), chi>7,8 für alpha=0,05 (Gelb),
chi<7,8 für alpha>0,05 (Rot)

4.9.1 Bewegung mit dem Oculus Remote Controller

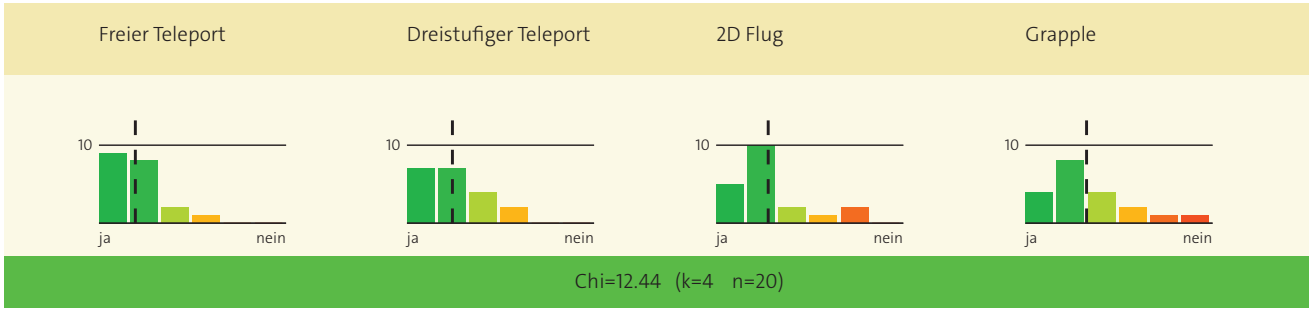
Fragen zum Aspekt Fun – macht die Interaktion Spaß?



1: Ich hatte Spaß an der Interaktion



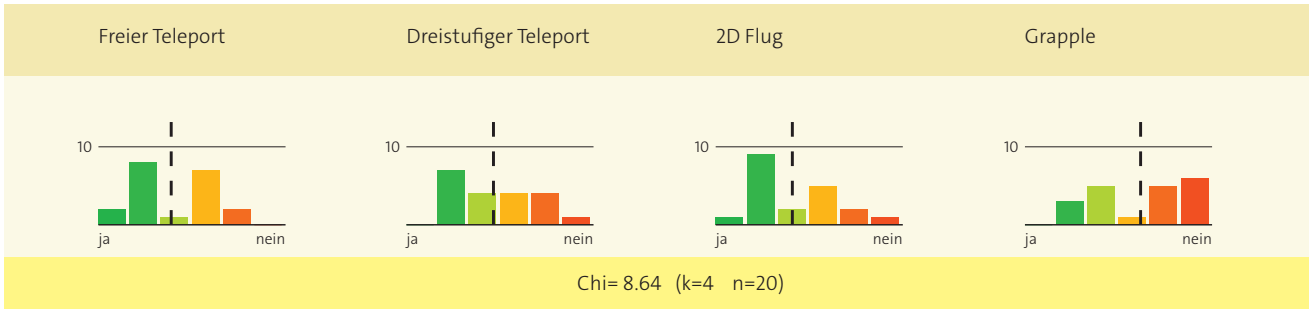
5: Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden



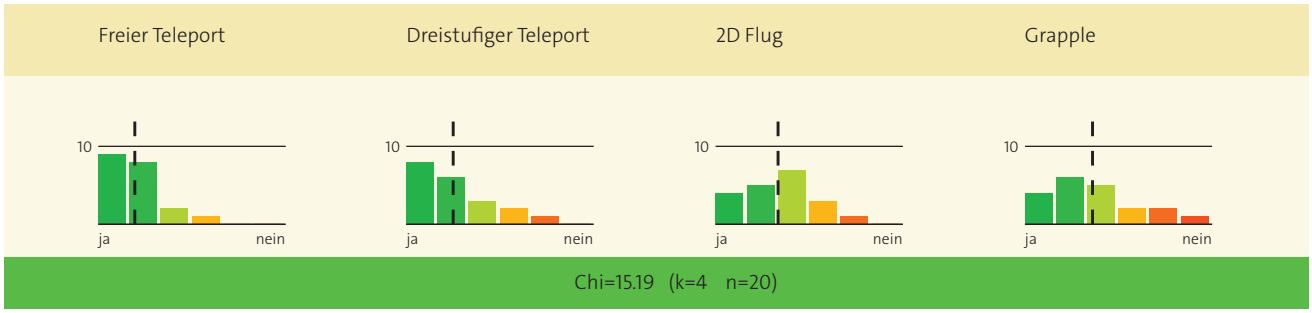
9: Ich war während des Tests entspannt

Die Antworten zu diesen Fragen zeigen eine klare Präferenz für den freien Teleport.

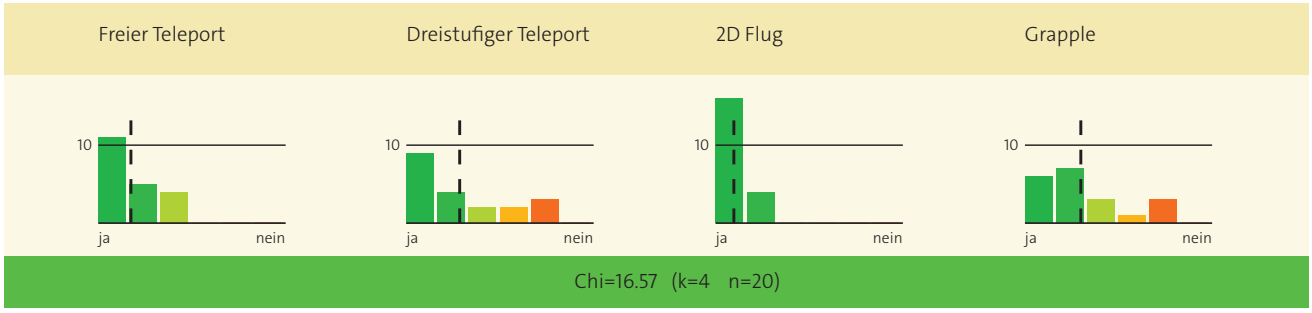
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



2: Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden



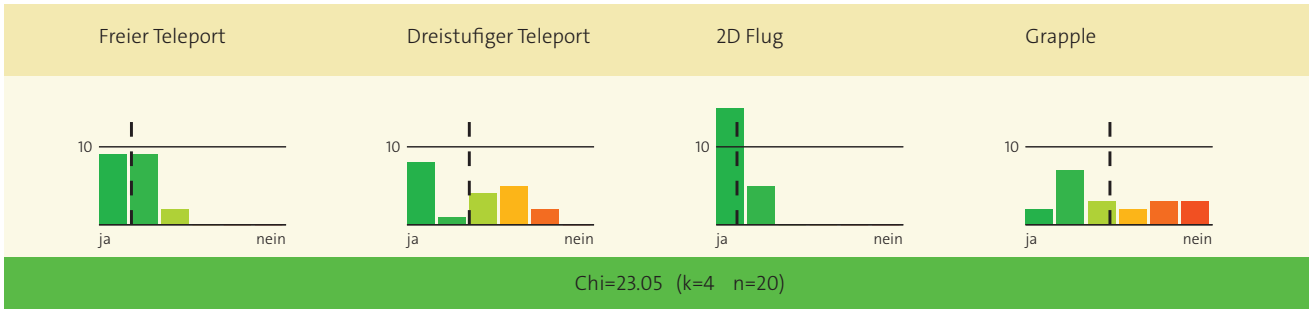
6: Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt



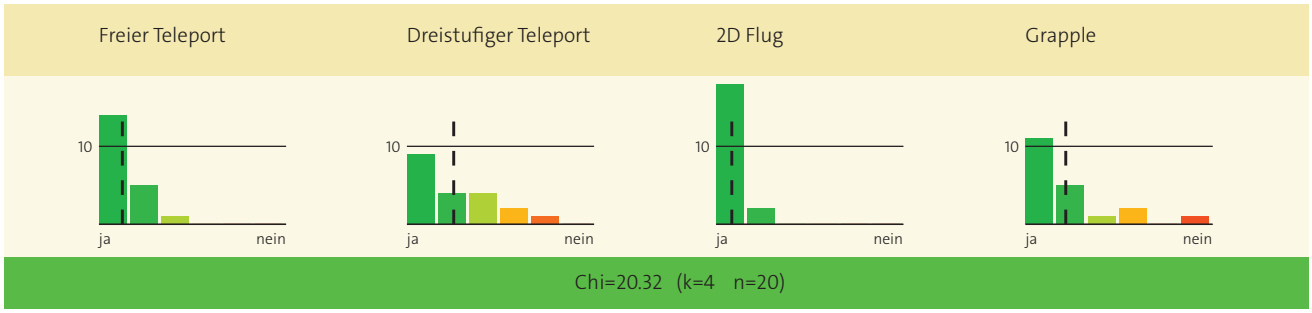
10: Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm

Auch bei Fragestellungen zum Aspekt, wie angenehm und natürlich die Bewegung empfunden wird, gewinnt eindeutig der freie Teleport, während Grapple überwiegend als unnatürlich empfunden wird.

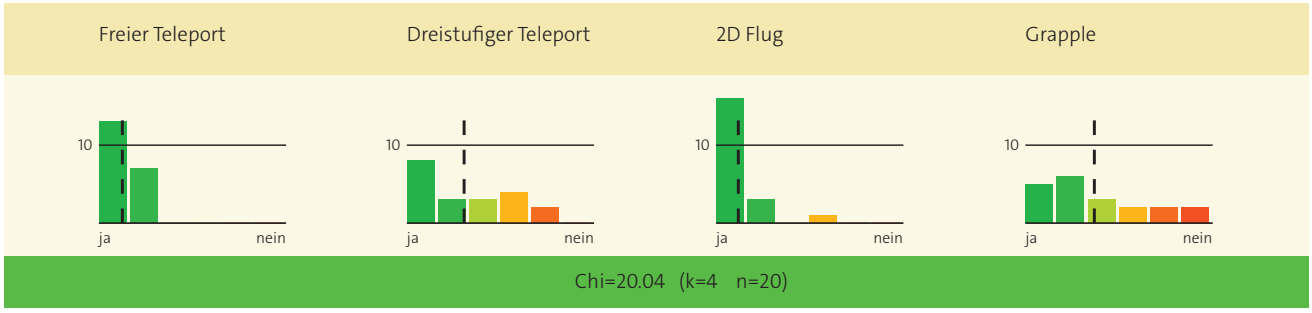
Fragen zur Erlernbarkeit – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?



3: Die Aufgabe war einfach zu bewältigen



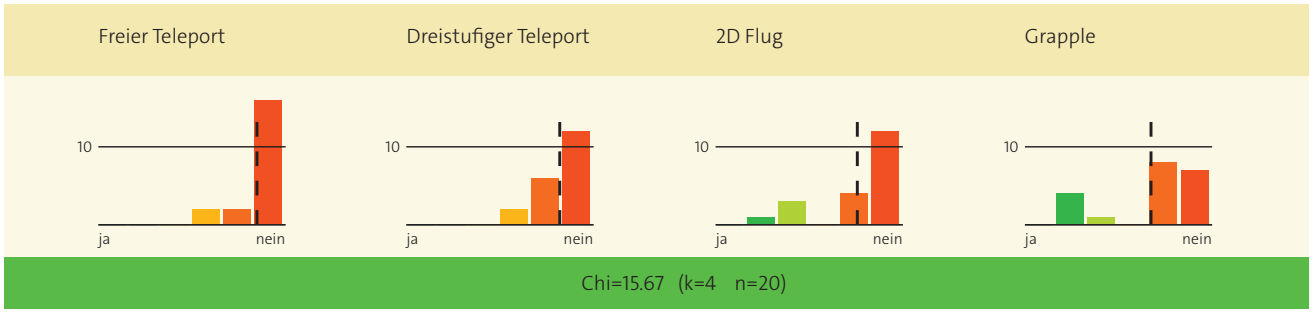
7: Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken



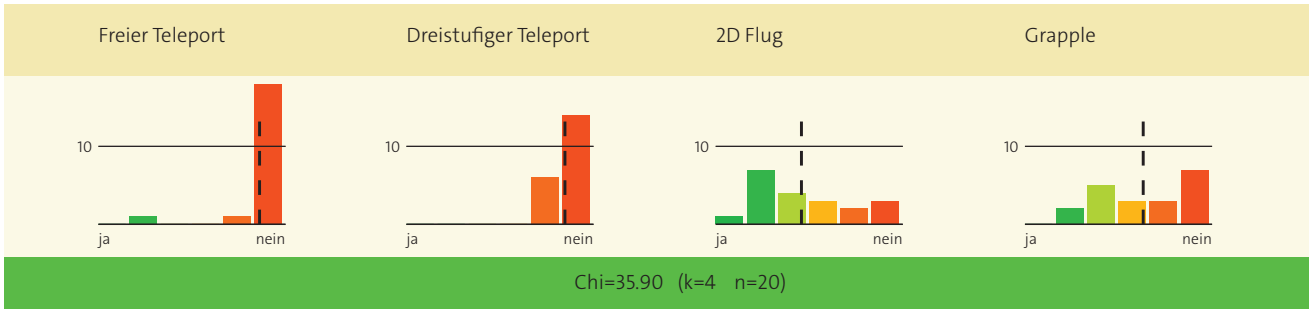
11: Ich konnte die Steuerung schnell lernen

Der freie Teleport und der 2D Flug wurden als leicht zu erlernen empfunden, während Grapple und der dreistufige Teleport hier eindeutig schlechter bewertet wurden.

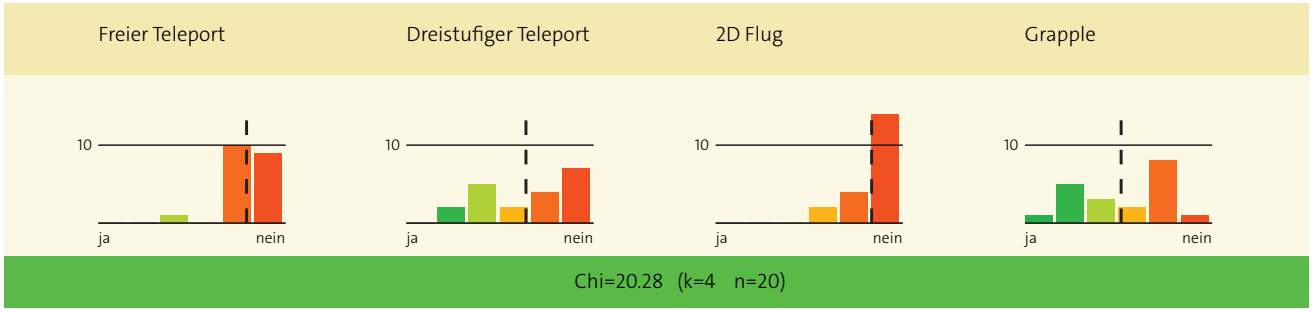
Fragen zur Physis – führt die Interaktion zu Ermüdung oder zu Motion Sickness?



4: Der Test war körperlich ermüdend für mich



8: Ich verspürte während des Tests Schwindel oder Übelkeit

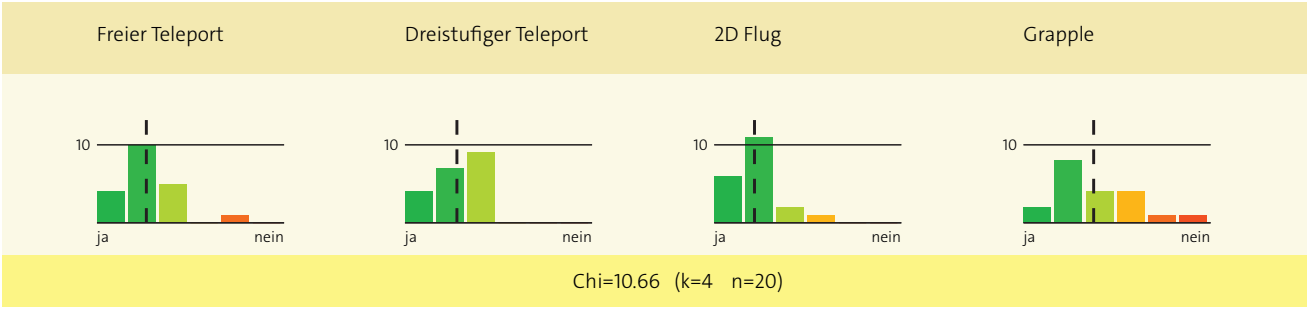


12: Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen

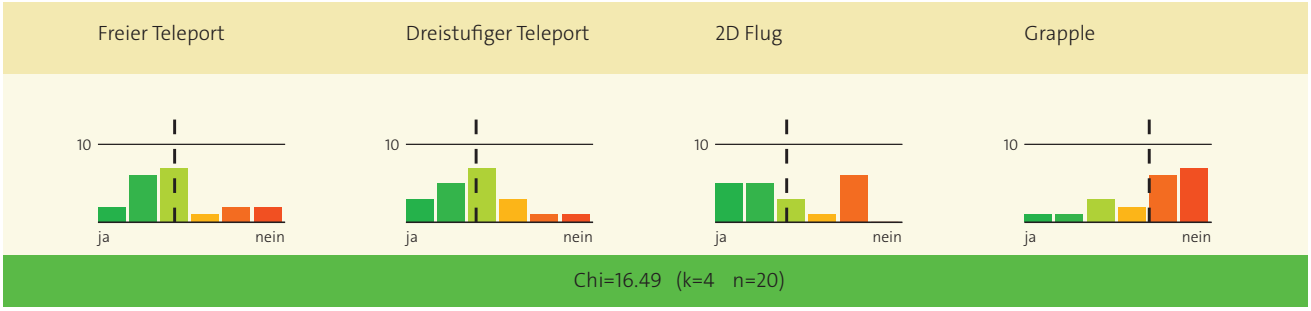
Die Bewegung mittels der Grapple Technik wird sowohl im Hinblick auf die Anstrengung als auch bezüglich Schwindel/Übelkeit deutlich schlechter bewertet als die anderen Techniken. Allerdings empfanden mehrere Probenden Übelkeit beim 2D Flug.

4.9.2 Bewegung mit dem Oculus Touch Controller

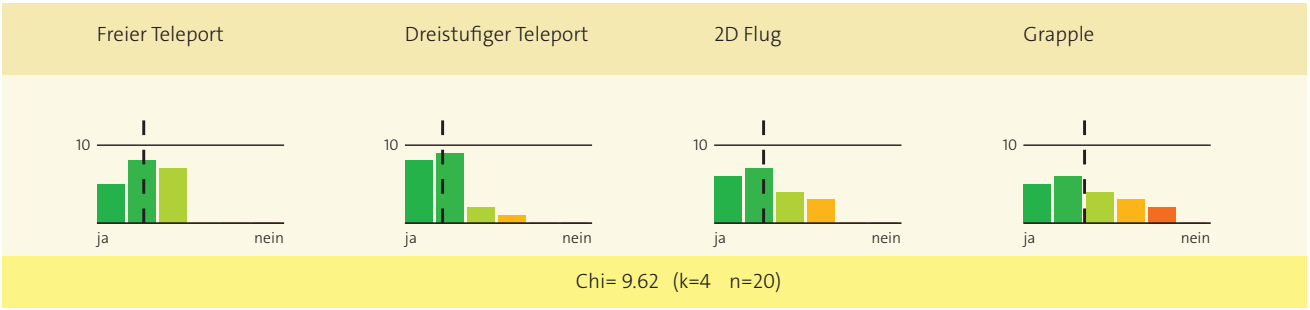
Fragen zum Aspekt Fun – macht die Interaktion Spaß?



1: Ich hatte Spaß an der Interaktion



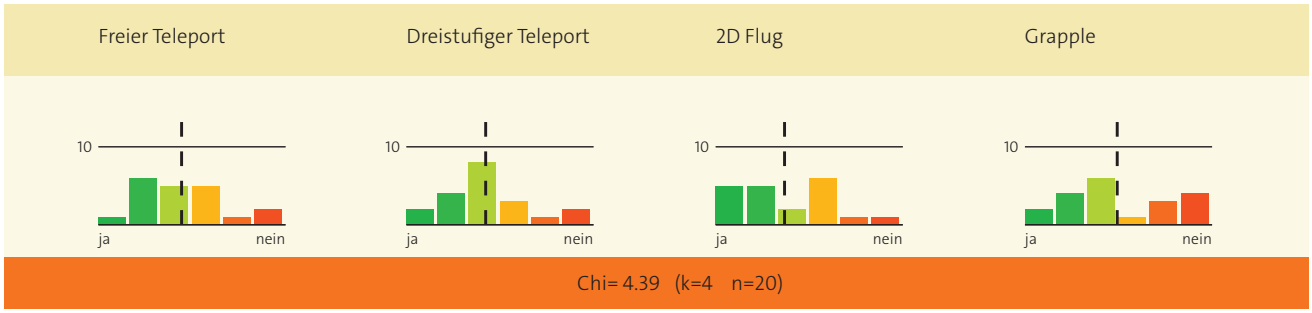
5: Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden



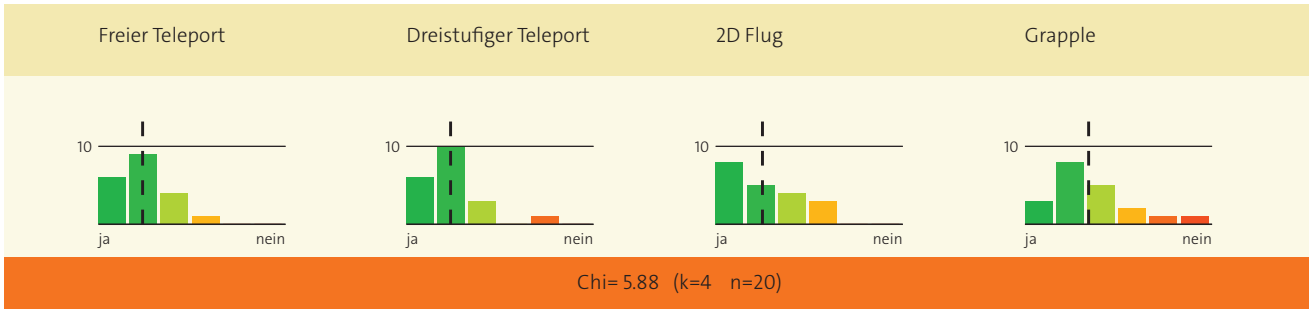
9: Ich war während des Tests entspannt

Wie schon bei der Bewegung mit dem Oculus Remote Controller zeigen die Antworten eine klare Präferenz für den freien Teleport.

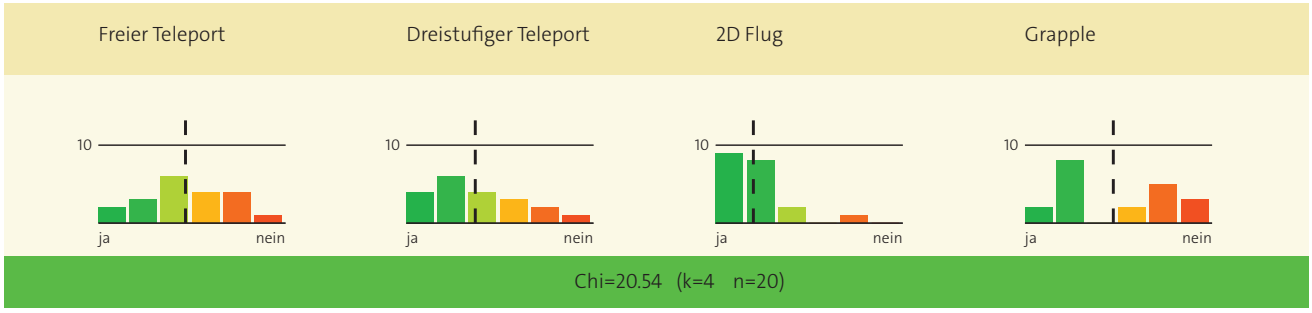
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



2: Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden



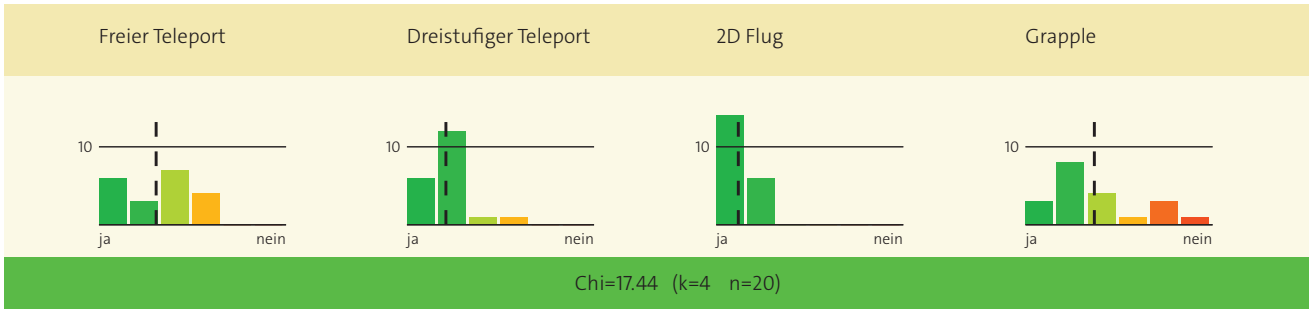
6: Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt



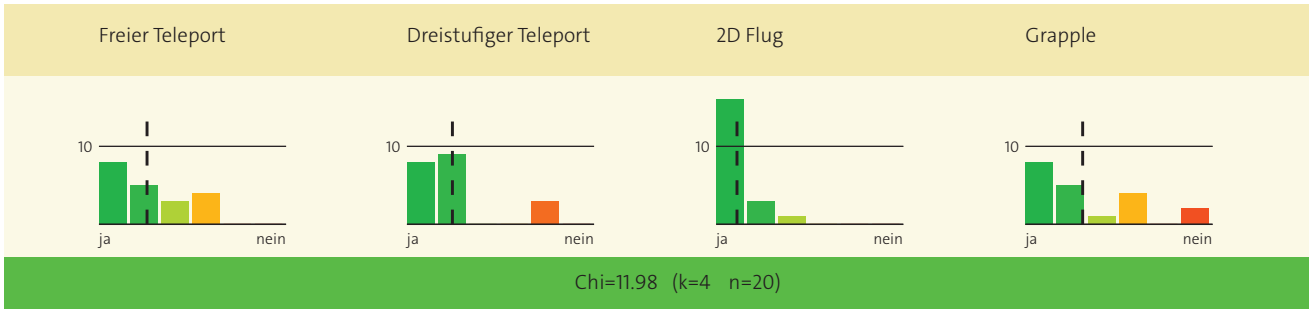
10: Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm

Im Gegensatz zur Verwendung des Oculus Remote Controllers gibt es bei diesem Aspekt keine eindeutige Tendenz, zumal die Antworten zu den Fragen 2 und 6 keine statistische Signifikanz aufweisen.

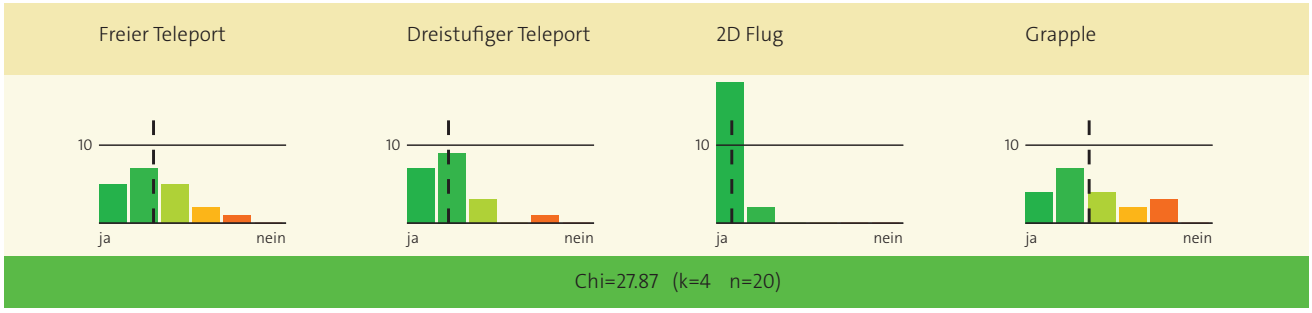
Fragen zur Erlernbarkeit – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?



3: Die Aufgabe war einfach zu bewältigen



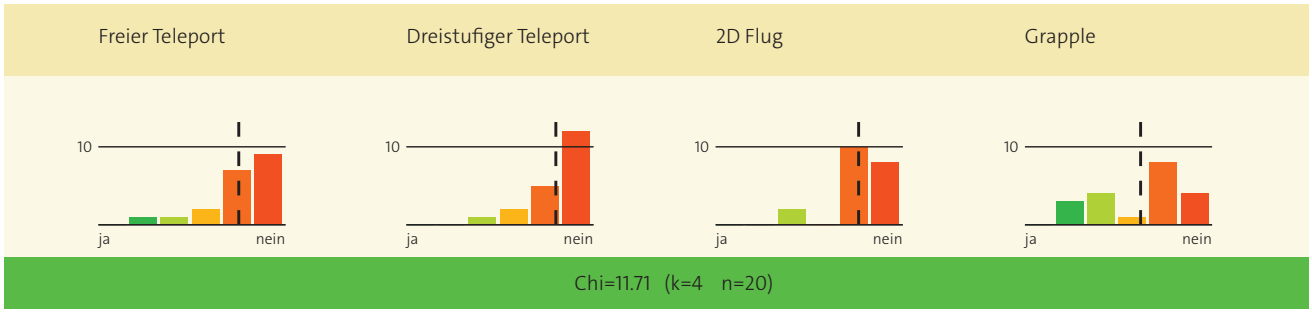
7: Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken



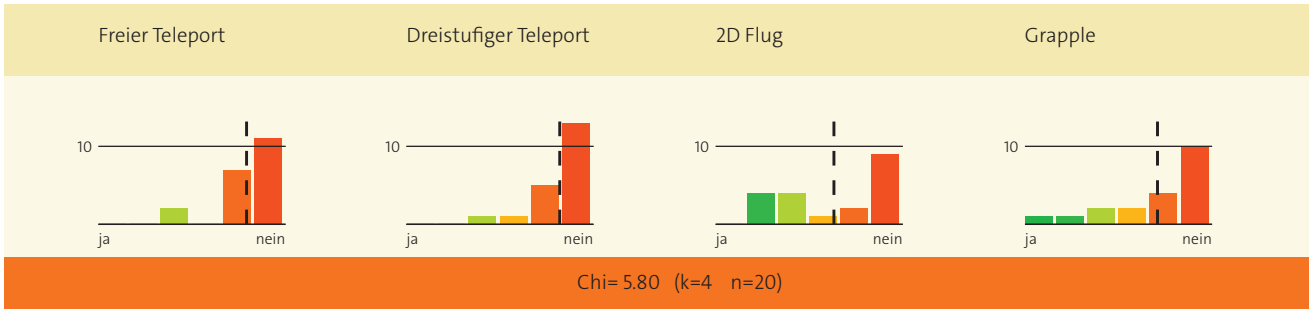
11: Ich konnte die Steuerung schnell lernen

Im Gegensatz zum Oculus Remote Controller wurde der 2D Flug als leicht zu erlernen empfunden, während Grapple und der dreistufige Teleport hier eindeutig schlechter bewertet wurden.

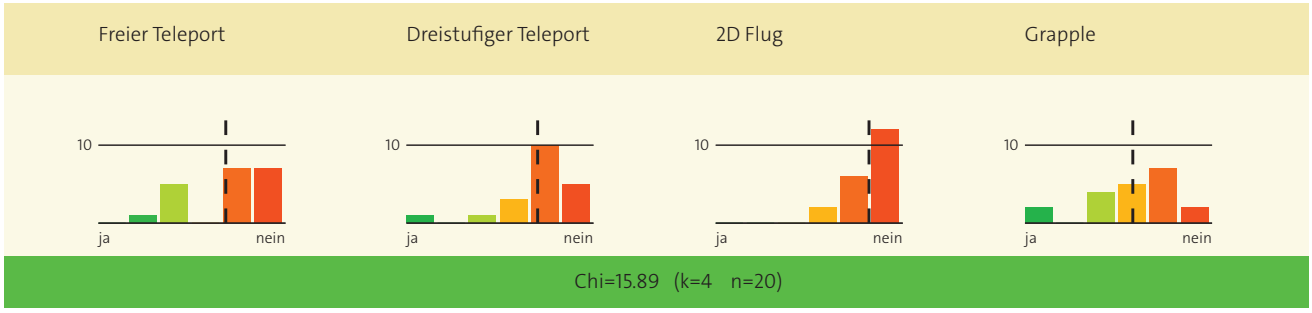
Fragen zur Physis – führt die Interaktion zu Ermüdung oder zu Motion Sickness?



4: Der Test war körperlich ermüdend für mich



8: Ich verspürte während des Tests Schwindel oder Übelkeit



12: Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen

Die Bewegung mittels der Grapple Technik wird sowohl im Hinblick auf die Anstrengung und Ermüdung deutlich schlechter bewertet als die anderen Techniken. Der 2D Flug erzeugt offensichtlich die meiste Übelkeit.

5 Systemsteuerung / Menü

5.1 Grundlagen der Systemsteuerung in VR

Manchmal wollen wir in VR Anwendungen Einfluss auf das System an sich nehmen. In Architekturvisualisierungen wollen wir vielleicht die Farbe von Vorhängen oder das Material des Bodens ändern, ohne die Anwendung vorher verlassen zu müssen. In Anwendungen wie Tiltbrush [Google 2016] möchten wir einen anderen Pinsel wählen oder einen Effekt auswählen. Oder wir wollen ganz einfach eine bestimmte Szene auswählen, die geladen werden soll. Oculus geht sogar so weit, den kompletten Store als Menü in VR erlebbar zu machen. Hier kommen Elemente der Systemsteuerung ins Spiel.

> *Die Systemsteuerung eines VR Systems dient dazu, Aktionen auszulösen, die den Interaktionsmodus oder den Systemzustand verändern. Dieses können zum Beispiel Kommandos sein, die das System veranlassen, eine neue Szene zu laden, die Navigationsweise durch die virtuelle Umgebung zu wechseln, oder die Darstellung zu verändern. [Dörner et al. 2013, S. 176]*

Die Systemsteuerung erfolgt durch die Interaktion mit einem User Interface (UI). Es gibt verschiedene Möglichkeiten, ein solches User Interface für die virtuelle Umgebung umzusetzen. Unabhängig von der Art der Umsetzung lassen sich die UIs für die Systemsteuerung auch mit den in Kapitel 2 beschriebenen Selektionstechniken kombinieren.

5.2 Benutzerschnittstellen in VR

Zur Systemsteuerung werden häufig Menüs eingesetzt. Sie können sich in ihrer Positionierung und Darstellungsweise unterscheiden. Sie können beispielweise in der Welt schweben oder an den Nutzer gebunden sein [Dörner et al. 2013].

5.2.1 Flache Schnittstelle

Als „Flat“ bezeichnet man Schnittstellen, die auf einfachen Bauteilen wie Kacheln basieren, die in Gruppen angeordnet werden können. Diese Darstellungsweise kennen Nutzer bereits von Computern oder mobilen Geräten. Diese flachen Bauteile

können leicht in eine Virtual-Reality Umgebung platziert werden. Sie schweben vor dem Nutzer oder umgeben ihn. Oft werden die Kacheln auch auf die Innenseite einer Kugel oder eine geschwungene Oberfläche übertragen [Sproll 2015].

Gute Beispiele hierfür sind der Oculus Store oder auch das Spiel Eagle Flight [Montreal 2016]. Die Selektion eines Menüpunktes kann entweder über *Hand Pointing Pattern* oder ein *Head Pointing Pattern* erfolgen.

5.2.2 Räumliche Schnittstelle

Spacial oder „räumliche" UIs schweben nicht in einem separaten isolierten Raum wie die flat Menüs, stattdessen sind sie fest in der virtuellen Umgebung, in der auch der Nutzer agiert, verankert [Stonehouse 2014]. So könnten zum Beispiel an einer virtuellen Workstation Statuswerte von Maschinen als Overlay nahe der betreffenden Maschine angezeigt werden oder die Anzahl der bereits bearbeiteten Aufgaben. Diese Art der Benutzerschnittstelle kann zwar die Immersion in die virtuelle Welt stören, vermittelt dafür aber auch sehr effektiv Informationen und ist klar als interaktives Objekt erkennbar [Brongo 2017].

Möglich ist auch, das UI am Nutzer zu verankern, beispielsweise an der Hand. In der VR Anwendung Tiltbrush [Google 2016] trägt der Nutzer das UI zur Einstellung der Werkzeuge an einer Hand mit sich durch die Welt, was an eine Künstler-Palette erinnert. Die Interaktion ist dabei zweihändig: Um eine Hand ist ähnlich einem Armreif die Palette angeordnet. Die andere Hand wählt die Werkzeuge aus und nimmt Einstellungen vor.

5.2.3 Richtiges Design von Anfang an

Wenn man eine bestehende Anwendung für Virtual Reality anpassen muss, kann die Gestaltung des Menüs eine Herausforderung sein, wenn nicht von Beginn an für VR geplant wurde. Durch ein Inceptive Design umgeht man dieses Problem: Anstatt das Menü nachzubauen, baut man die Realität nach, in der das Menü bereits besteht. Die Menüs können beispielsweise innerhalb der virtuellen Umgebung an einem virtuellen Bildschirm gezeigt werden [Kuchera 2014].

5.2.4 Eingebettete Schnittstellen

Eingebettete oder integrierte Schnittstellen (Diegetic UIs) stellen Menüs oder Möglichkeiten zur Systemsteuerung als tatsächliche dreidimensionale Objekte in der virtuellen Welt dar. Diese Objekte sind nicht auf den ersten Blick als UI-Elemente zu erkennen, da sie in die virtuelle Umgebung passen und als Teil von ihr wirken. Ein Beispiel sind Hebel, die gezogen werden können, um das Spiel zu starten. Das Spiel

Job Simulator [Owlchemy Labs 2016] geht noch etwas weiter: Um das Spiel zu verlassen, öffnet der Spieler einen Aktenkoffer, greift einen Burrito und „beißt ab“, indem er ihn Richtung seines Kopfes bewegt.

Ein weiteres Beispiel kann man in Superhot [SUPERHOT 2016] sehen. Um das Spiel zu starten, muss sich der Spieler eine Art Helm über den Kopf ziehen, der unter der Decke des virtuellen kleinen Raums baumelt, in dem das Spiel startet. Wer nicht nach oben sieht, dem entgeht dieses Element leicht. Die vielen Bildschirme, die ebenfalls den kleinen Raum bevölkern, laden außerdem dazu ein, die Startfunktion womöglich eher bei ihnen zu vermuten.

Das Menü ist nicht nur als 3D Objekt in der virtuellen Umgebung verankert, sondern macht auch im Setting des Spiels Sinn und erweitert die Narrative [Stonehouse 2014]. Das zeigt die Stärken und Schwächen gut auf: Einerseits fällt das Menü so nicht auf und reißt den Nutzer nicht aus der Welt und der Immersion, andererseits ist es möglicherweise schwer, solche Objekte als Menüs zu erkennen.

Nicht nur Menüfunktionen können so gestaltet werden, dem Nutzer können auch andere Informationen vermittelt werden. Zum Beispiel die verbliebene Zeit zur Bewältigung einer Aufgabe über eine Uhr in der Welt, anstatt eine zweidimensionale Einblendung [Brongo 2017].

5.3 Nutzerstudie

5.3.1 Ziele der Nutzerstudie

Ziel der Nutzerstudie war es herauszufinden, wie sich verschiedene Interaktionsmethoden auf die User Experience bei der Bedienung von Menüs auswirken. Dazu haben wir das Flat UI ausgewählt.

Der Test ermöglicht uns:

- Vergleich von Oculus Remote und Oculus Touch Controller bei Flat UIs
- Vergleich der Selektionsmethoden bei zunehmend kleinteiligen Menüs

5.3.2 Testablauf

Der grundlegende Testaufbau für Systemsteuerung sah folgendermaßen aus: Der Nutzer befand sich in der virtuellen Welt in einem großen offenen Raum, dessen Boden durch ein Raster definiert wurde. Vor dem Anwender erscheint ein Raster gefüllt mit Quadraten, die stellvertretend für UI Elemente in einem Menü stehen.

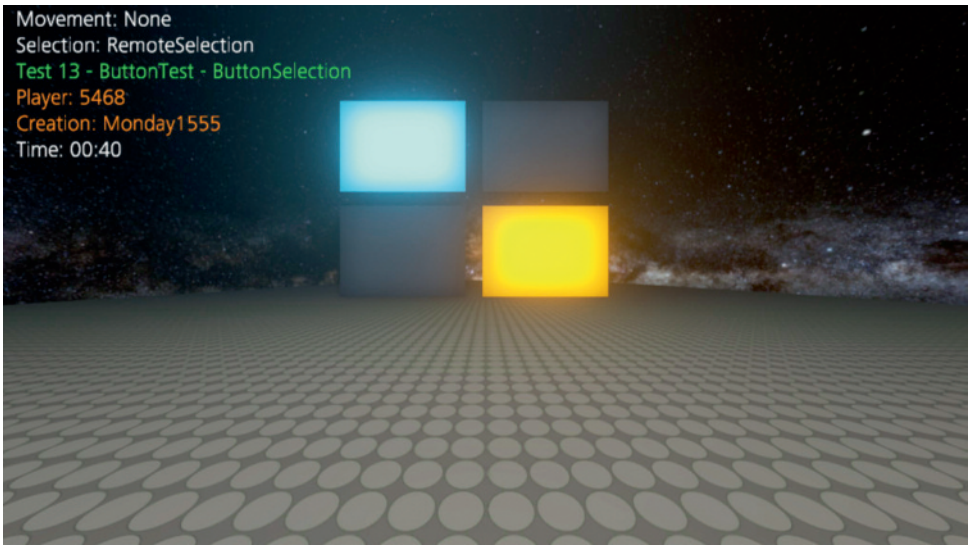


ABB. 18 Bildschirmfoto: Auswahl von UI Elementen (1/3)

Die Quadrate können mit einer Interaktionsmethode ausgewählt werden. Das Quadrat, das ausgewählt werden soll, wird blau hervorgehoben. Das Quadrat, das aktuell ausgewählt ist, wird in einer anderen Farbe hervorgehoben. Der Anwender muss das blau hervorgehobene Quadrat auswählen und die Auswahl bestätigen. Danach wird ein neues Quadrat blau markiert.

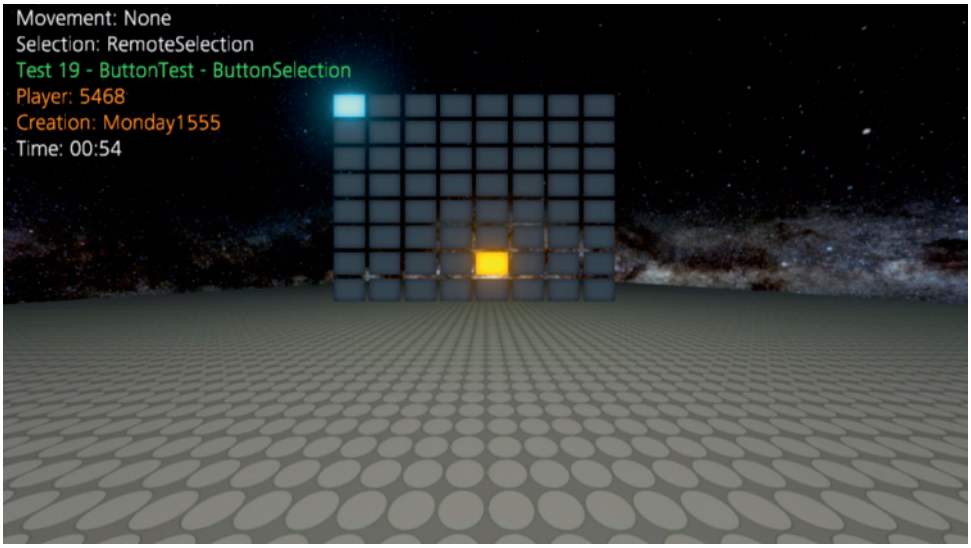


ABB. 19 Bildschirmfoto: Auswahl von UI-Elementen (3/3)

Nach ein paar Durchläufen nimmt die Anzahl der Quadrate zu, gleichzeitig verkleinern sie sich. Das geschieht in 4 Stufen, wobei die erste 4, die zweite 8, die dritte 16 und die letzte 64 Quadrate beinhaltet. Die Quadrate werden also stufenweise immer mehr und immer kleiner.

Für jede Interaktionsmethode gibt es einen solchen Durchlauf. Es gibt insgesamt fünf Interaktionsmethoden mit dem UI, drei für die Oculus Remote und zwei für die Oculus Touch:

Technik	Controller	Selection Pattern	Auswahl Bestätigung
Anschauen	Oculus Remote	Head Pointing	1 Sekunde warten
Zeigen	Oculus Remote	Head Select	Mittlerer Knopf
Steuerkreuz	Oculus Remote	Steuerkreuz	Mittlerer Knopf
Zeigen mit Touch	Oculus Touch	Hand Pointing	Grip Button
Joystick	Oculus Touch	Joystick	Grip Button

Anschauen (Oculus Remote)
Die Auswahl der Quadrate erfolgt mit Hilfe der Blickrichtung, die Auswahl wird durch kurzes Warten bestätigt. Dabei füllt sich ein kleiner Discus auf dem Blickpunkt langsam auf, bis die Auswahl bestätigt wurde.

Zeigen mit Remote
Die Auswahl der Quadrate erfolgt mit Hilfe der Blickrichtung, die Auswahl wird durch Drücken des mittleren Buttons bestätigt.

Steuerkreuz (Oculus Remote)
Die Auswahl des Quadrats erfolgt mit den 4 Richtungstasten (dem Steuerkreuz) der Oculus Remote. Die Bestätigung der Auswahl erfolgt durch Drücken des mittleren Buttons.

Zeigen mit Touch
Die Auswahl der Quadrate erfolgt mit Hilfe der Zeigerichtung des Controllers, die Bestätigung der Auswahl erfolgt durch Drücken der Grip Taste.

Joystick (Oculus Touch)
Die Selektion der Quadrate erfolgt mit den 4 Richtungen des Oculus Touch Controller Joysticks, die Bestätigung der Auswahl erfolgt durch Drücken der Grip Taste.

5.4 Ergebnisse der Nutzerstudie

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Selektion durch Blickrichtung erzeugt mehr Cyber Sickness als Selektion mit Buttons, wenn man die Remote verwendet.
- Die Selektion mit Buttons wird als anstrengender empfunden als Selektion durch Blickrichtung
- Die Oculus Remote ist anstrengender als Oculus Touch

5.5 Detaillierte Auswertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Benutzertests für die Bewegung im virtuellen Raum ausführlich dargestellt.

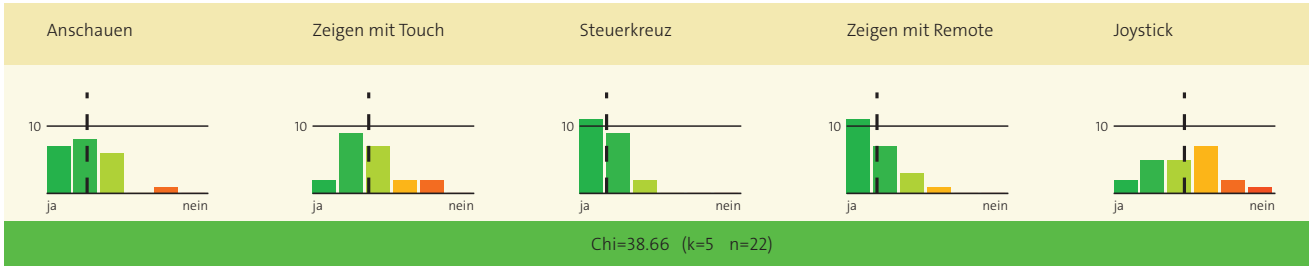
Bei den Aufgaben wurden die folgenden vier Interaktionstechniken für die jeweilige Aufgabe untersucht:

- Anschauen
- Zeigen mit Touch
- Steuerkreuz
- Zeigen mit Remote
- Joystick

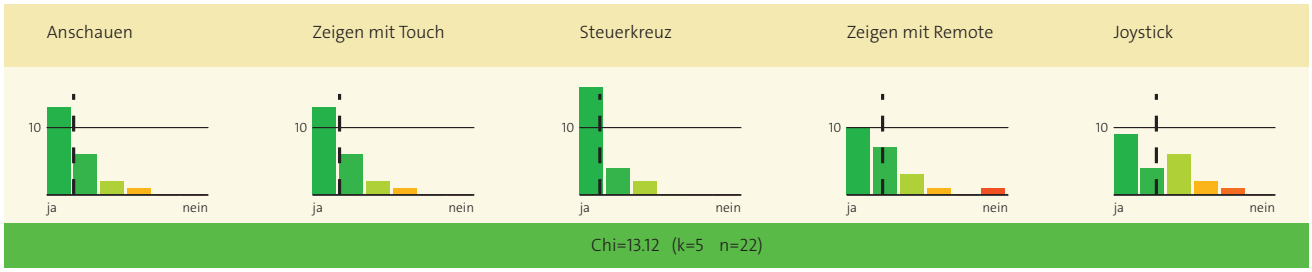
Zu jeder Frage werden die Antworten für jeden Bewegungstyp zunächst wieder grafisch als Balkendiagramm gezeigt. Dabei werden von links nach rechts die Anzahl der Antworten von *trifft voll zu* bis zu *trifft gar nicht zu* dargestellt. Die Höhe der Balken zeigt an, wie viele Anwender die jeweilige Antwort gewählt haben.

Der Balken unter den Diagrammen zeigt wieder die Signifikanz der Ergebnisse, welche mit Hilfe des Friedman-Tests ermittelt wurden. Für den Friedman-Test gelten für k=4 untersuchte Interaktionsarten und n=22 Probanden folgende Schwellwerte für die Signifikanzniveaus alpha=0,01 und alpha=0,05:
chi>=12.4 für alpha=0,01 (Grün), chi>=9.24 für alpha=0,05 (Gelb), chi<9.24 für alpha>0,05 (Rot)

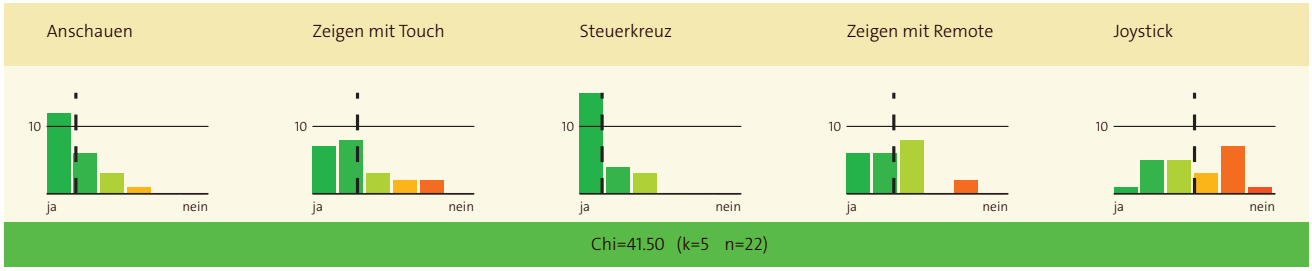
Fragen zum Aspekt Fun – macht die Interaktion Spaß?



1: Ich hatte Spaß an der Interaktion



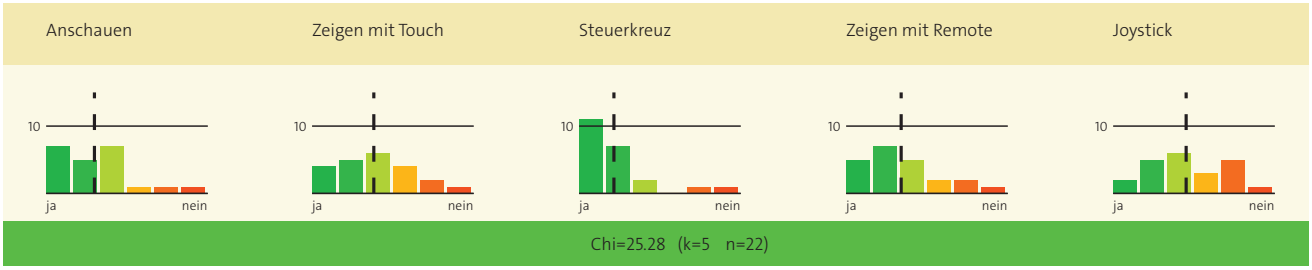
5: Ich könnte diese Interaktion länger als 10 Minuten anwenden



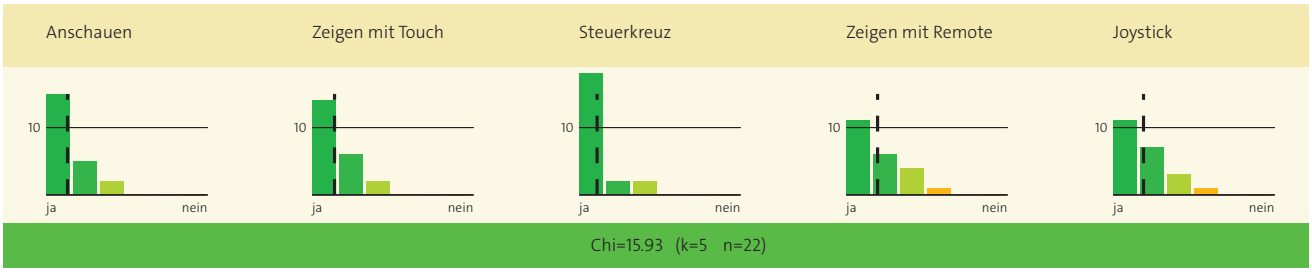
9: Ich war während des Tests entspannt

Die Interaktionen mit dem Joystick schneidet bei allen Fragen dieses Bereichs schlechter ab als die anderen Interaktionsverfahren, während das Steuerkreuz die beste Bewertung bekommt.

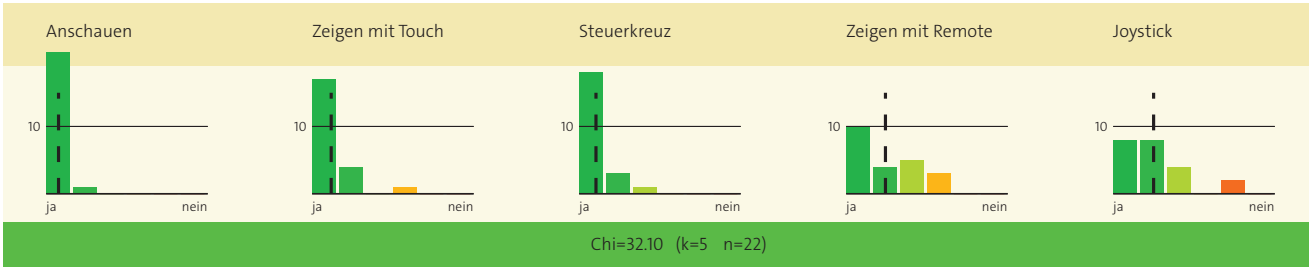
Fragen zum Aspekt Naturalness – fühlt sich die Interaktion natürlich an?



2: Ich habe die Interaktion als natürlich empfunden



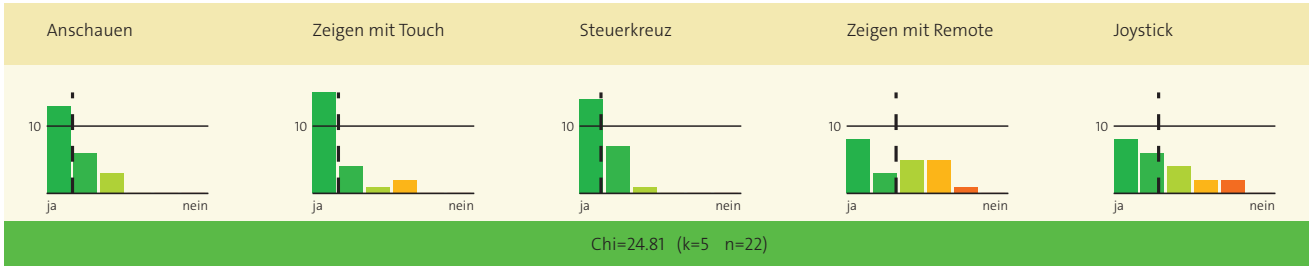
6: Ich habe mich während des Tests wohlgefühlt



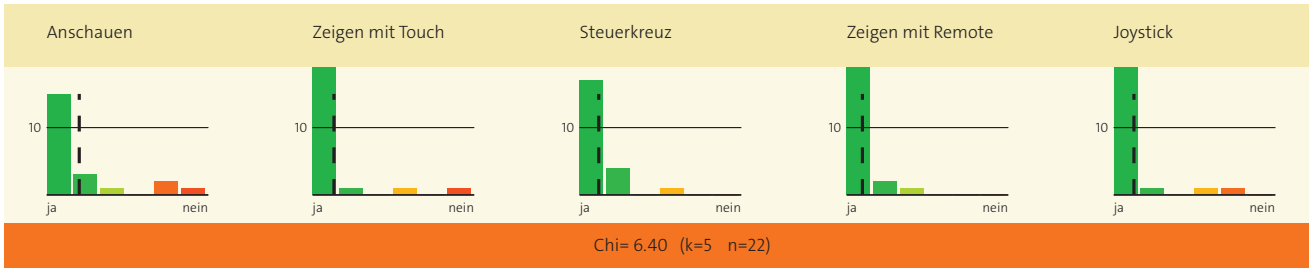
10: Ich fand die Verwendung des Controllers angenehm

Auch bei dem Aspekt Natürlichkeit schneidet der Joystick schlecht ab, während das Steuerkreuz als beste Variante empfunden wird.

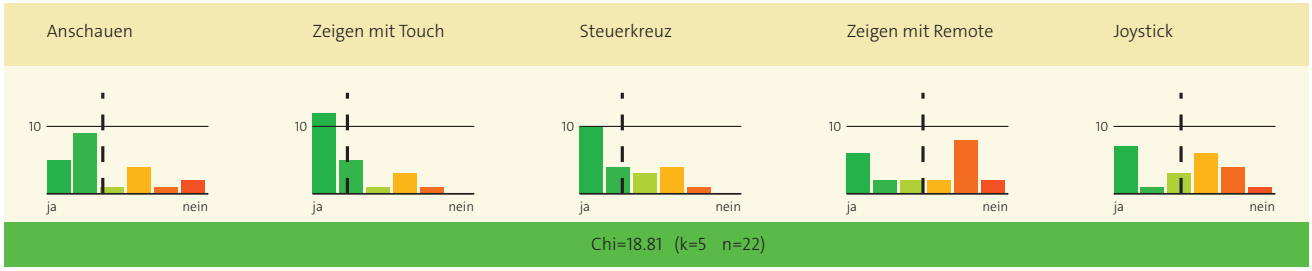
Fragen zum Aspekt Learnability – ist es einfach, die Interaktion zu lernen?



3: Die Aufgabe war einfach zu bewältigen



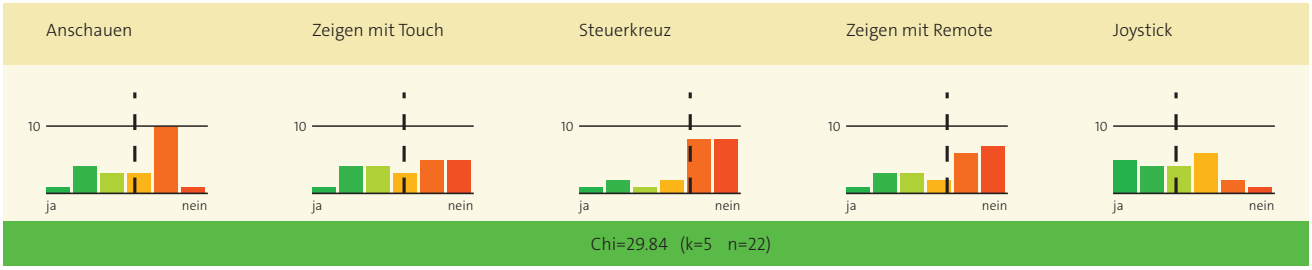
7: Ich konnte mir die benötigten Buttons gut merken



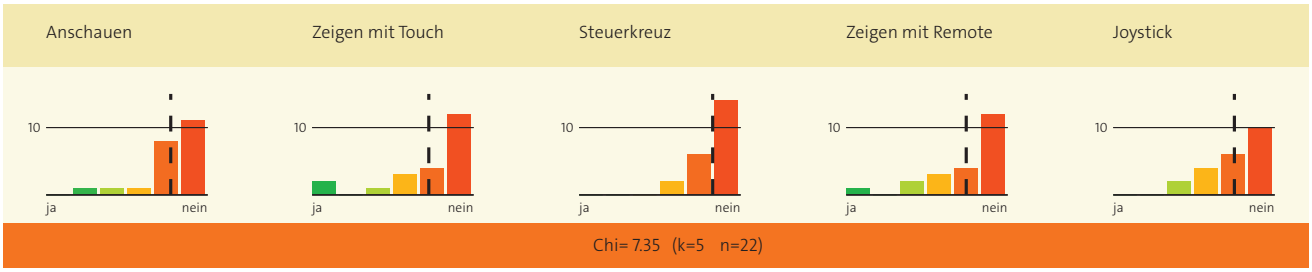
11: Ich konnte die Steuerung schnell lernen

Auch bei den Fragen zum leichten Erlernen wird das Steuerkreuz bevorzugt, während der Joystick schlecht bewertet wird..

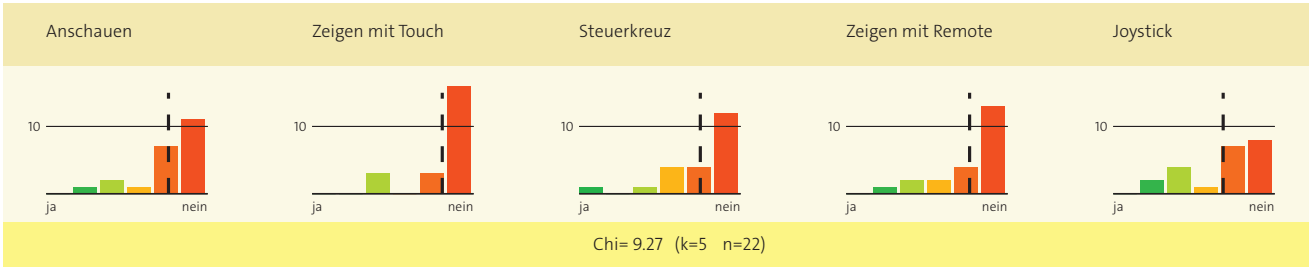
Fragen zur Physis – führt die Interaktion zu Ermüdung oder zu Motion Sickness?



4: Der Test war körperlich ermüdend für mich



8: Ich verspürte während des Tests Schwindel oder Übelkeit



12: Ich musste mich anstrengen, um die Aufgabe zu bewältigen

Beim Aspekt Ermüdung scheiden die Interaktionen mittels Steuerkreuz und Touch Controller besser ab als die anderen Varianten.

6 Schlussbetrachtung

Die Steuerung und Interaktion in VR Anwendungen ist noch weit von einem defacto Standard wie bei der Bedienung von Desktop-Oberflächen entfernt. VR Entwickler müssen ihre Anwendung individuell nicht nur an die Bedürfnisse des Anwenders, sondern auch an die unterschiedlichen Eingabegeräte und VR Brillen anpassen. Dabei müssen nicht nur Aspekte der Ergonomie beachtet werden, sondern es kommen noch physische Aspekte hinzu, besonders die Vermeidung oder Reduzierung von Motion Sickness. Strategien zur Vermeidung von Übelkeit müssen, wie die aktuelle Studie zeigt, die Konzepte der Steuerung und Interaktion mit einbeziehen.

Anders als bei herkömmlichen Anwendungen müssen die Interaktionen individuell programmiert werden und an die VR Hardware angepasst werden. Bei Strategien zur Navigation im virtuellen Raum kann dies mit einem erheblichen Aufwand verbunden sein, was sowohl die Entwicklung als auch die Wartung der Software verteuert. Für besondere Einsatzgebiete kann es sogar notwendig sein, eigene Controller für die Interaktion zu entwickeln und entsprechend zu programmieren. Dieser Aufwand kann für große Spielentwicklungen mit einem Budget von mehreren Millionen gerechtfertigt sein, für kleiner Anwendungen im Business Bereich ist das oft nicht zu leisten, aber Defizite im Bereich der Interaktion oder Bedienung von Menüs können die Akzeptanz solcher Anwendungen erheblich verringern.

Hinzu kommt, dass die Entwicklung von VR Anwendungen innerhalb der Spiele Engines Unity und Unreal stattfindet, mit denen viele Softwareentwickler keine oder geringe Erfahrungen haben. Für diese Entwickler gibt die vorliegende Arbeit Hilfestellung dazu, welche Interaktionen zu bevorzugen sind, darüber hinaus wird auf der Webseite des Projekts *(www.invira.de)* der Programmcode für einige Interaktions- und Navigationsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt. Die im Rahmen des Projekts durchgeführte Benutzerstudie gibt Hinweise zur Akzeptanz der verschiedenen Steuerungen mit den heute üblichen Controllern der High-End VR Brillen.

Langfristig ist zu hoffen, dass es zu einer weiteren Vereinheitlichung der Paradigmen für Steuerung und Interaktion innerhalb von VR Umgebungen kommt, die es auch kleineren Entwicklerteams erlaubt, solche Anwendungen mit vertretbarem Aufwand zu programmieren.

Quellen

BHAGAT, K.K., LIOU, W.-K., AND CHANG, C.-Y. 2016. A cost-effective Interactive 3D Virtual Reality System Applied to Military Live Firing Training. *Virtual Reality 20,* 2, 127–140.

BOWMAN, D.A. AND HODGES, L.F. 1997. An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments. *Proceedings of the 1997 symposium on interactive 3D graphics,* ACM, 35–ff.

BOWMAN, D.A., MCMAHAN, R.P., AND RAGAN, E.D. 2012. Questioning Naturalism in 3D User Interfaces. *Communications of the ACM 55,* 9, 78–88.

BRONGO, R. 2017. How to Design the Best UI for Room-Scale VR. https://virtualrealitypop.com/designforroomscalevr-a41e646444e7.

CAPUTO, F.M. AND GIACHETTI, A. 2015. Evaluation of Basic Object Manipulation Modes for Low-Cost Immersive Virtual Reality. *Proceedings of the 11th biannual conference of the acm sigchi italian chapter,* ACM, 74–77.

CARDOSO, J.C.S. 2016. Comparison of Gesture, Gamepad, and Gaze-Based Locomotion for VR Worlds. *Proceedings of the 22nd acm conference on virtual reality software and technology,* ACM, 319–320.

CARTER, L. AND POTTER, L.E. 2016. Designing Games for Presence in Consumer Virtual Reality. *SIGMIS-cpr'16 proceedings of the 2016 conference on computers and people research,* ACM, 141–148.

CRYTEK. 2016. Robinson: The Journey (Computerspiel) http://www.robinsonthegame.com/.

DAVIS, S., NESBITT, K., AND NALIVAIKO, E. 2014. A Systematic Review of Cybersickness. *IE2014 proceedings of the 2014 conference on interactive entertainment,* ACM, 1–9.

DÖRNER, R., BROLL, W., GRIMM, P., AND JUNG, B. 2013. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der virtuellen und augmentierten Realität.* Springer Vieweg, Berlin.

FIGUEROA, P.A. AND DORADO, J.L. 2014. Ramps are Better than Stairs to Reduce Cybersickness in Applications Based on a HMD and a Gamepad. *2014 ieee symposium on 3D user interfaces,* IEEE, 47–50.

GILLIES, M. 2016. What is Movement Interaction in Virtual Reality for? *Proceedings of the 3rd international symposium on movement and computing,* ACM.

GOOGLE. 2016. Tiltbrush.

HODGSON, E., BACHMANN, E., AND WALLER, D. 2011. Redirected Walking to Explore Virtual Environments. *ACM Transactions on Applied Perception 8,* 4, 1–22.

JACOB, R.J., GIROUARD, A., HIRSHFIELD, L.M., AND HORN, M.S. 2008. Reality Based Interaction: A Framework for Post-Wimp Interfaces. *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems,* ACM, 201–210.

JERALD, J. 2016. *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality.* Association for Computing Machinery; Morgan & Claypool Publishers, New York, NY; San Rafael.

KUCHERA, B. 2014. Why re-create a Game's Menus in VR when you can Simply Design Reality Around them? https://www.polygon.com/2014/11/3/7150591/oculus-rift-menus.

LINDEMAN, R.W. AND BECKHAUS, S. Crafting memorable vr experiences using experiential fidelity. *Proceedings of VRST 2009, Kyoto, Japan, November 18 – 20, 2009.*

LLORACH, G., EVANS, A., AND BLAT, J. 2014. Simulator sickness and presence using hmds. *Proceedings of the 20th acm symposium on virtual reality software and technology,* ACM, 137–140.

MAGNOPUS. 2017. Mission: ISS.

MAMMEN, S. VON, KNOTE, A., AND EDENHOFER, S. 2016. Cyber Sick but Still Having Fun. *Proceedings of the 22nd acm conference on virtual reality software and technology, ACM,* 325–326.

MINE, M.R., BROOKS, F.P., AND SEQUIN, C.H. 1997. Moving Objects in Space: Exploiting Proprioception in Virtual-Environment Interaction. *Proceedings of the 24th annual conference on computer graphics and interactive techniques,* ACM, 19–26.

UBISOFT MONTREAL. 2016. Eagle Flight (Computerspiel), https://montreal.ubisoft.com.

OWLCHEMY LABS. 2016. Job Simluator (Computerspiel).

PAUSCH, R., CREA, T., AND CONWAY, M. 1992. A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 1,* 3, 344–363.

PRIMAX TECHNOLOGY (SHANGHAI) Co., LTD. 2017. Primax 8K. https://www.primaxvr.com/.

SLATER, M., USCH, M., AND STEED, A. 1995. Taking steps: The Influence of a Walking Technique on Presence in Virtual Reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* Volume 2 Issue 3, 201–219.

SONY INTERACTIVE. 2016. VR Worlds (Computerspiel).

SPROLL, D. 2015. Virtual Reality Menu Design – part 1. https://www.re-flekt.com/blog/virtual-reality-menu-design-part1/.

STARVR CORP. 2017. Star VR. https://www.starvr.com.

STONEHOUSE, A. 2014. User Interface Design in Video Games. https://www.gamasutra.com/blogs/AnthonyStonehouse/20140227/211823/User_interface_design_in_video_games.php.

SUPERHOT CORP. 2016. Super Hot VR (Computerspiel). https://superhotgame.com/vr/

TAN, D.S., ROBERTSON, G.G., AND CZERWINSKI, M. 2001. Exploring 3D Navigation: Combining Speed-Coupled Flying with Orbiting. *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems,* ACM, 418–425.

ZHANG, R. AND KUHL, S.A. 2013. Human Sensitivity to Dynamic Rotation Gains in Head-Mounted Displays. *Proceedings of the acm symposium on applied perception - sap '13,* ACM Press, 71.

Über die Autoren

KASIMIR BLUST war 2016 – 2018 akademischer Mitarbeiter an der Hochschule der Medien. Er studierte Medieninformatik und war maßgeblich an der Entwicklung des First-Person-Exploration Videospiels „Elena – Displaced Reality“ beteiligt, einem Spiel für VR-Brillen. „Elena" gewann beim deutschen Computerspielpreis 2016 den zweiten Platz in der Kategorie Newcomer. Er arbeitet bei FRIDIE interactive, einer der führenden Anbieter für interaktive Produktpräsentationen.

EVA MATTAUSCH ist Studentin an der Hochschule der Medien und schließt 2018 ihr Masterstudium im Bereich Audiovisuelle Medien ab. Ihr Schwerpunkt sind interaktive Systeme und Games. Während des Studiums hat sie bereits diverse Virtual Reality Projekte umgesetzt, darunter auch das VR Adventure „Elena – Displaced Reality“, das auf Steam veröffentlicht wurde.

PROF. DR.-ING. MARTIN FUCHS ist seit 2016 Professor für Interaktive Medien und Games an der Hochschule der Medien in Stuttgart. Seine akademische Karriere begann als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts Informatik in Saarbrücken sowie von 2009 bis 2011 als Postdoc an der Princeton University in New Jersey, USA. Von 2011 bis Mitte 2016 war er als Juniorprofessor an der Universität Stuttgart, bevor seine Berufung an die HdM erfolgte. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Data-Driven Visual Computing, in der Computational Photography sowie in der visuell unterstützten Programmierung prozeduraler Modelle und visuellen Materialbeschreibungen.

PROF. UWE SCHULZ ist seit 1997 Professor für Interaktive Medien und Informatik an der Hochschule der Medien in Stuttgart. Seit der Gründung 2013 ist er zusammen mit Prof. Dr. Jens Hahn Leiter des Instituts für Games an der Hochschule der Medien. Vor der Berufung an die Hochschule hat er sich mit der Entwicklung von Software für die numerische Simulation im Bereich der Statik und Dynamik beschäftigt.

Über die MFG Stiftung Baden-Württemberg

MFG STIFTUNG

Die gemeinnützige MFG Stiftung wurde 2003 als Geschäftsbereich der MFG Medien- und Filmgesellschaft Baden-Württemberg ins Leben gerufen. Stifter ist die Wirtschafts- und Clusterinitiative bwcon (Baden-Württemberg: Connected). Das Ziel der MFG Stiftung ist die Aus- und Weiterbildung sowie die Förderung von Kunst, Kreativität und Kultur. Dabei sind ihre Schwerpunkte die Forschung und Entwicklung in den Bereichen Medien, IT und Film. Die MFG Stiftung vergibt Stipendien, leitet Forschungsprogramme und beauftragt wissenschaftliche Studien.

Mehr Informationen finden Sie im Internet unter
http://stiftung.mfg.de

Über die Reihe

Die Berichte aus dem Karl-Steinbuch-Forschungsprogramm präsentieren aktuelle Erkenntnisse und Lösungen an der Schnittstelle von Kreativwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie. Ziel der Reihe ist es, Forschungsergebnisse praxisorientiert aufzubereiten und damit neben Wissenschaftlern auch Anwenderbranchen anzusprechen.

Mit dem Karl-Steinbuch-Forschungsprogramm unterstützt die MFG Stiftung Baden-Württemberg seit 2011 besonders innovative Forschungsarbeiten an baden-württembergischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften. Im Rahmen von KSF-VR wurden 2016 einmalig zusätzlich Forschungsarbeiten mit dem speziellen Fokus auf Virtual Reality ausgewählt. Weitere Informationen und aktuelle Neuigkeiten finden sich im Internet unter www.stiftung.mfg.de.