

# **Einfluss unterschiedlicher Spielecontroller auf die Immersion und den Motion Sickness Effekt in der virtuellen Realität**

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des Grades Bachelor of Science (B.Sc.)  
im Studiengang Computervisualistik

vorgelegt von  
**Hussam Itani**

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Müller  
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)  
Zweitgutachter: Nils Höhner, M.Sc.  
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)

Koblenz, im September 2019





Aufgabenstellung für die Bachelorarbeit  
Hussam Itani  
(Mat. Nr. 213 200 415)

**Thema: Einfluss unterschiedlicher Spielecontroller auf die Immersion und den Motion Sickness Effekt in der virtuellen Realität**

Anwendungen im Bereich der virtuellen Realität etablieren sich langsam aber stetig weiter. Vor allem in der Computerspielbranche und in der industriellen Anwendung ermöglicht moderne Hardware, wie etwa die HTC Vive, glaubhafte, immersive Applikationen zu schaffen. Ein wichtiger Faktor stellt in diesem Zusammenhang die Fortbewegung des virtuellen Avatars dar. Der Nutzer kann sich im realen Raum oftmals nur über kurze Strecken bewegen, sodass der virtuelle Part durch Knopfdruck größere Strecken zurücklegen muss. Diese Diskrepanz von virtueller und realer Bewegung führt zum Immersionsbruch und kann bei einigen Menschen Motion Sickness auslösen.

In dieser Arbeit wird die Verwendung eines Wii Balance Boards der Verwendung eines herkömmlichen Xbox Controllers gegenübergestellt. Hierzu wird ein VR Szenario implementiert, in dem das Wii Balance Board ein möglichst immersives Eingabegerät darstellt. In Frage kommt eine Snow Board Applikation, wobei das Board als Fortbewegungsmittel dient.

Ziel der Arbeit ist es zu ermitteln, ob die Verwendung dieses Eingabegerätes in der virtuellen Realität die Immersion steigert. Außerdem soll untersucht werden, ob eine realistischere Eingabemethode Einfluss auf den Motion Sickness Effekt hat.

Die inhaltlichen Schwerpunkte der Arbeit sind:

1. Recherche über ähnliche Applikationen zur Prävention von Motion Sickness
2. Einarbeitung in die Unity Game Engine
3. Erstellen einer VR Simulation und das Einbinden der Steuerung mittels WBB
4. Vergleich zwischen herkömmlichen Controllern und des Wii Balance Boards
5. Evaluation des Immersionseffekts und des Motion Sickness Effekts durch jene
6. Dokumentation der Ergebnisse

Koblenz, 13.03.2019

## **Zusammenfassung**

In dieser Bachelorarbeit geht es um den Einsatz des Wii Balance Boards in -Realität-Anwendungen. Als Anwendungsbeispiel wird ein Snowboard Spiel implementiert, in dem der virtuelle Avatar mit den Drucksensoren des Wii Balance Board gesteuert werden kann. Der Anwender soll mit seiner Körperbalancierung, spielerisch und intuitiv in der virtuellen Umgebung manövrieren. Es werden die Immersion und der Einfluss auf Motion-Sickness beziehungsweise Cybersickness erforscht. Außerdem wird das Wii Balance Board mit dem Xbox Controller verglichen was die Steuerung betrifft. Ziel der Arbeit ist es zu evaluieren, ob das Wii Balance Board in der Lage ist, freies Bewegen in der virtuellen Umgebung zu ermöglichen. Außerdem soll untersucht werden, welcher der beiden Geräte vorteilhafter ist. Die Umfrageergebnisse laufen darauf hinaus, dass das Wii Balance Board einen wesentlich positiveren Einfluss auf die Immersion hat, als der Controller, trotz der besseren Spielergebnisse. Außerdem hat die Untersuchung ergeben, dass die Verwendung des Wii Balance Board viel häufiger für Motion-Sickness und Cybersickness Fälle verantwortlich ist.

## **Abstract**

This bachelor thesis investigates the utilization of the Wii Balance Board in virtual reality applications. For the investigation a snowboard game is implemented, in which the virtual avatar can be controlled with the pressure sensors of the Wii Balance Board. The user should be able to move playfully and intuitively through the virtual environment by balancing his body. The immersiveness and the influence on motion sickness and cybersickness will be investigated. In Addition, the Wii Balance Board will be compared with the Xbox Controller. The aim of the work is to evaluate whether the Wii Balance Board is able to allow free movement in virtual environments and whether it is more advantageous to use it rather than a conventional controller. The results of the survey indicate that the Wii Balance Board has a positive influence on the immersiveness of the game, despite better game results by using a conventional controller. The survey also reveals that the use of the Wii Balance Board is responsible for more motion-sickness/cybersickness cases.

# Inhaltsverzeichnis

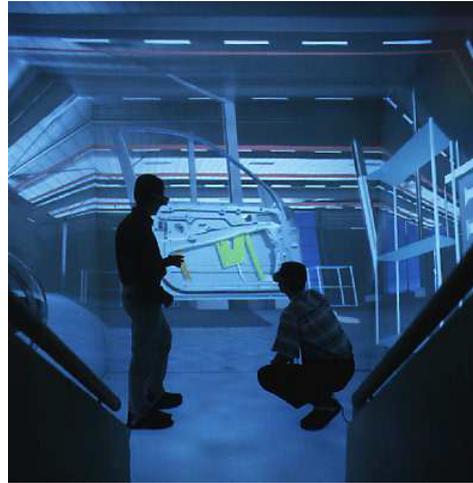
<b>1 Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1 Virtual Reality . . . . .	3
1.1.1 Motion Sickness und Cybersickness . . . . .	5
1.1.2 Virtual Reality Heute . . . . .	6
1.2 Technologie . . . . .	8
1.2.1 HTC Vive . . . . .	8
1.2.2 Steuerung und Degrees-of-Freedom . . . . .	9
1.2.3 Unity Game Engine . . . . .	10
1.2.4 Wii Balance Board . . . . .	11
1.2.5 Microsoft Xbox Controller . . . . .	12
<b>2 Related Works</b>	<b>13</b>
<b>3 Implementation</b>	<b>15</b>
3.1 Virtual-Reality-Umgebung Wintergebirge . . . . .	15
3.2 Bedienelemente . . . . .	16
3.3 Wii Balance Board Integration . . . . .	17
3.4 Trainingsstrecke und Hindernisse . . . . .	19
3.5 Gewertete Strecken . . . . .	20
<b>4 Evaluation</b>	<b>23</b>
4.1 Hypothesen . . . . .	23
4.2 Testumfang und Ablauf . . . . .	24
4.3 Fragebogen . . . . .	24
4.4 Ergebnisse des Spiels . . . . .	24
4.5 Auswertung des Fragebogen . . . . .	32
<b>5 Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>39</b>

# 1 Grundlagen

Zielsetzung der Arbeit ist es das Wii Balance Board als Eingabegerät für Virtual-Reality-Anwendungen zu untersuchen. Zunächst muss geklärt werden, was Virtual-Reality-Anwendungen sind und was für Kriterien ein Eingabegerät erfüllen muss, um Virtual-Reality-Standards zu erfüllen. Motion Sickness, Cybersickness und Immersion spielen eine große Rolle in Virtual-Reality-Anwendungen, daher müssen diese Begrifflichkeiten zunächst erläutert werden und welchen Rolle das Wii Balance Board in diesen Bereichen übernimmt. Als Anwendungsbeispiel wurde eine Snowboard Simulation erstellt. Durch Gewichtsverlagerung auf dem Board können Spieler im Spiel manövrieren. Hierzu wird eine Evaluation durchgeführt und in dieser Bachelorarbeit analysiert.

## 1.1 Virtual Reality

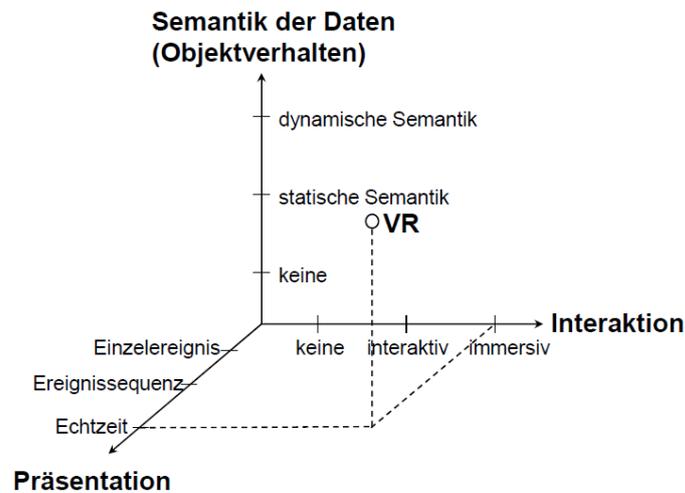
Anwendungen und Hardware im Virtual-Reality-Bereich entwickeln sich stetig weiter, sowohl für die Spielbranche als auch die Industrie. 1989 gründete Jaron Lanier die erste Virtual-Reality-Firma namens "VPL-Research" [Mü18a]. Erste Ansatz waren schon damals ein Bildschirm der am Kopf direkt vor den Augen getragen wird. Ebenso musste ein Eingabegerät entwickelt werden, weil Maus und Tastatur schwierig zu bedienen sind während man besagte Geräte trägt. So wurde der Datenhandschuh entwickelt (siehe Abbildung 1a). Ein anderer Ansatz, um Anwendungen so nah wie möglich an die virtuelle Realität zu bringen, ist die *Virtual Reality CAVE*. Hier wird die virtuelle Umgebung auf vier Wände projiziert, die die Interaktion von einem oder mehreren Benutzern gleichzeitig ermöglicht. Für diese ist keine Brille nötig, die die Sicht verdeckt (siehe Abbildung 1b). Quelle: [Mü18a]



(a) Datenhandschuh und Virtual Reality Brille Quelle: [Mü18a] (b) Virtual Reality Cave. Projektion auf vier Wänden Quelle: [Mü18a]

**Abbildung 1:** Virtuelle Realität in der Anfangsphase

Der Einsatz bestimmter Hardware macht nicht den Unterschied zwischen normaler Software und Virtual Reality Software aus. Drei Faktoren spielen eine wichtige Rolle: **Präsentation, Interaktion und die Semantik der Daten** (siehe Abbildung 2). Nur so kann die Software immersiv genug sein, sodass der Anwender das Gefühl hat, in eine andere Realität eingetaucht zu sein. **Präsentation** bedeutet, dass die Anwendung weder ein Standbild, noch eine einfache Ereignissequenz ist. Die Anwendung muss in der Lage sein in Echtzeit zu laufen und sich auf die Aktionen des Benutzers anzupassen. Der zweite Faktor für Virtual-Reality ist die **Semantik der Daten**. Es sollen so viele Informationen wie notwendig oder möglich präsentiert werden. Beispielsweise ein Herz mit allen Kammern, in die hineingeschaut werden kann und den Blutfluss sieht, oder der Motor eines Fahrzeugs, der sich in Einzelteile zerlegen lässt. Je dynamischer und detailreicher die Umgebung ist, desto mehr kann sich der Benutzer mit der virtuellen Umgebung auseinandersetzen. Des Weiteren spielt die **Interaktion** eine wichtige Rolle. Der Benutzer soll nicht nur die Simulation in allen Winkeln betrachten, sondern mit der Szene auch interagieren können. Sei es das Drehen, Verschieben oder Skalieren des Kontextes oder komplexere Vorgehen. Quelle [Mü18a]



**Abbildung 2:** Referenz Modell zu virtueller Realität. Drei Faktoren: Präsentation, Interaktion, Semantik der Daten, Quelle: [Mü18a]

### 1.1.1 Motion Sickness und Cybersickness

“Motion sickness is a malady characterized by a combination of signs and symptoms that accompany movement or perceived movement in the environment. [...] Many different circumstances can elicit motion sickness, including travel in automobiles, aircraft, spacecraft and boats and exposure to moving visual scenes.” Quelle: [YML98]

Motion Sickness ist ein Begleiterscheinung, die häufig bei Autofahrten, Flügen und Seefahrten auftauchen kann [YML98]. Sie taucht häufig auf, wenn über Sensoren wahrgenommene Bewegung(en) nicht mit den erwarteten Bewegungen übereinstimmen [Rea75]. Symptome die auftauchen können sind Schwindelgefühl, Schwitzen, Übelkeit und im äußersten Fall Erbrechen. Motion Sickness ist ein großes Problem bei Virtual-Reality-Anwendungen. Es wird auch als **Cybersickness** referriert: “*Cybersickness is a form of motion sickness that results from interaction with or immersion in virtual environments. Its main symptoms are eye strain, disorientation, postural instability, sweating, pallor, drowsiness, nausea, and (in rare cases) vomitin.*” [BC03]  
 “Cyberkrankheit ist eine Form der Bewegungskrankheit, die durch Interaktion mit oder Immersion in virtuelle Umgebungen entsteht. Die Hauptsymptome sind Augenbelastung, Orientierungslosigkeit, Haltungsinstabilität, Schwitzen, Blässe, Schläfrigkeit, Übelkeit und (in seltenen Fällen) Erbrechen.” [BC03]

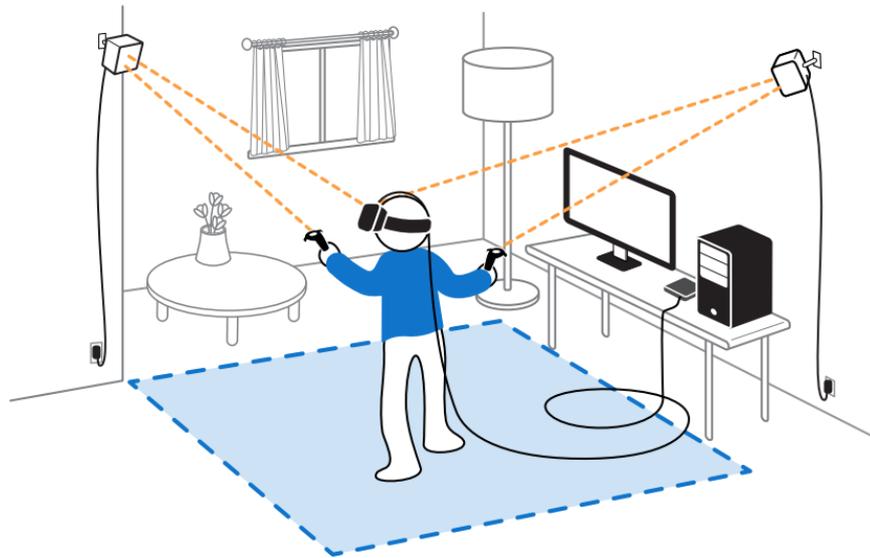
Damit in Virtual-Reality-Anwendungen der Cybersickness-Effekt möglichst vorgebeugt wird, muss also folgendes gelten: Der Benutzer muss in der Lage sein, vorherzusehen, welchen Effekt Bewegungen die er ausführt auf die virtuelle Umgebung haben. Wenn sich der Benutzer also im blau gekennzeichnetem Bereich aus Abbildung 3 bewegt, bewegt sich sein virtueller Avatar in die selbe Richtung. Eine ausführliche Studie wurde vollzogen,

um die maximale und minimale Distanz zu ermitteln, in der sich der virtuelle Avatar im Verhältnis zu den Bewegungen des Benutzers bewegen darf. Ziel war es, den Cybersickness Effekt bei einem möglichst breitem Spektrum an Benutzern vorzubeugen. Quelle [HZMR18]

Für diese Bachelorarbeit wurde ein Virtual-Reality Snowboard Spiel entwickelt, um Peripheriegeräte auf ihre Tauglichkeit zu untersuchen, möglichst große Distanzen in der virtuellen Umgebung zurückzulegen. Demnach sind die Erwartungen, dass der Cybersickness Effekt eintritt sehr hoch. Hinzu kommt, dass im Gegensatz zum Xbox Controller, das Wii Balance Board Körpereinsatz benötigt, um bedient zu werden.

### **1.1.2 Virtual Reality Heute**

Die heute gängigsten Virtual-Reality-Geräte sind zum Beispiel die HTC Vive, die Oculus Rift oder das Samsung Gear VR. Alle Modelle sind Headsets, welche nur ein Benutzer gleichzeitig tragen kann. Diese haben sich für die breite Masse etabliert und werden auch häufig in Firmen verwendet. Das Projizieren der virtuellen Umgebung auf eine Wand, um mehreren Benutzern die Interaktion gleichzeitig zu ermöglichen ist bei der CAVE der Fall (siehe Abbildung 3). Diese Technologie ist in den Hintergrund geraten und nur noch als Attraktion oder in Forschungseinrichtungen oder ähnlichem vorzufinden. Mittlerweile sind VR-Anwendungen über das Netzwerk möglich, sodass mehrere Benutzer miteinander interagieren können. Virtual Reality hat sich erst in den letzten Jahren für die breite Masse etabliert. Die Hardware ist günstiger geworden und das Angebot an Software steigt. In Abbildung 3 ist ein mögliches Setup abgebildet, wie es der Verbraucher bei sich zu Hause aufgebaut haben könnte.



**Abbildung 3:** Skizze der HTC Vive (Pro) im Einsatz. Spieler hat freien Bewegungsraum im blauen gekennzeichneten Bereich. Position der Brille und beider Controller werden von den Infrarotsensoren gemessen.  
Quelle: [Ven19]

## 1.2 Technologie

In dieser Bachelorarbeit geht es um die Verwendung des Wii Balance Boards in Virtual Reality Anwendungen. Hierbei wird die HTC Vive Pro als VR-Gerät verwendet. Das Spiel wurde mit der Unity Game Engine implementiert. Um Virtual-Reality-Spiele mit der HTC Vive zu implementieren, wurde das SteamVR Plugin in die Unity Game Engine importiert. Auf die Verwendung der HTC Vive Controller wurde vorerst verzichtet.

### 1.2.1 HTC Vive

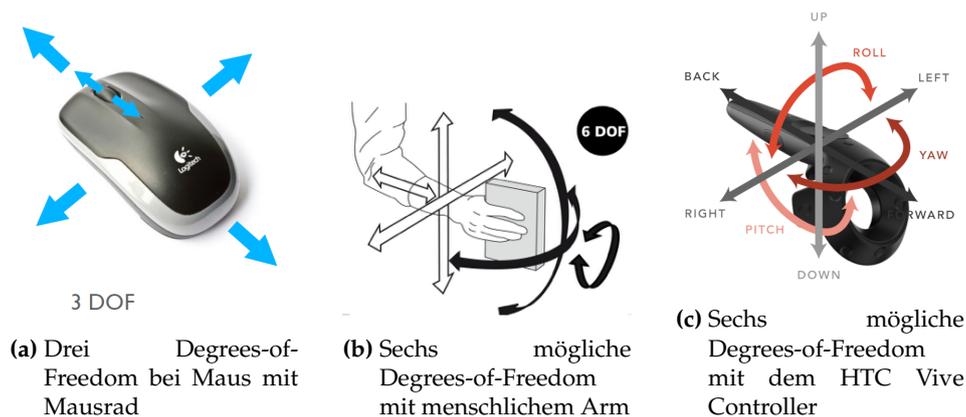


Abbildung 4: HTC Vive Pro Brille in ihre Einzelteile zerlegt. Quelle: [iFi19]

Die HTC Vive (Pro) ist ein Headset, das auf Virtual-Reality-Anwendungen spezialisiert ist. Mit dem Gerät ist es auch möglich, sich 360-Grad Videos und Bilder anzuschauen. Oft wird es auch als Virtual-Reality-Brille bezeichnet, da die zwei Displays wie eine Brille direkt vor den Augen sitzen. Das Headset alleine bietet sechs *Degrees-of-Freedom* durch das Positionstracking. Der Benutzer kann sich entlang aller drei Achsen bewegen und sich in um alle 3 Achsen drehen und neigen. Des weiteren verfügt die HTC Vive über eine im Headset eingebaute Kamera, mit der Virtual-Augmented-Reality Anwendungen umsetzbar sind kann. In Abbildung 4 sieht man die HTC Vive Pro in ihre Einzelteile zerlegt.

## 1.2.2 Steuerung und Degrees-of-Freedom

Durch das tragen der Virtual-Reality-Brille ist die Sicht des Benutzers auf die reale Umgebung behindert. Daher sind herkömmliche Maus und Tastatur keine hilfreichen Eingabegeräte für Virtual-Reality-Anwendungen. Die erste Lösung war der virtuelle Handschuh von "VPL-Research" (siehe Abbildung 1a). Der Benutzer soll, ohne das Eingabegerät sehen zu können, volle Kontrolle darüber zu besitzen. Um eine hohe Immersion zu erreichen, muss der Benutzer komplexe, jedoch für ihn intuitive und schlüssige Handlungen ausführen können. In gewöhnlichen Anwendungen bewegt sich der Mauszeiger nur auf einer zweidimensionalen Fläche. Interaktionen in der dreidimensionalen Welt sind wesentlich komplexer. Die Eigenschaft der Bewegung und Rotation um verschiedene Achsen heißt *Degrees-of-Freedom*. Quelle: [Mü18b]



**Abbildung 5:** Degrees-of-Freedom: Freiheit sich in verfügbaren Achsen zu bewegen oder drehen. Quelle: [Mü18b]

Die Maus bietet nur zwei bis drei mögliche *Degrees-of-Freedom*, wobei die Controller der HTC Vive jeweils sechs mögliche *Degrees-of-Freedom* bieten (siehe Abbildungen 5a und 5c). Die HTC Vive Controller haben die besondere Eigenschaft, dass sie durch die Infrarot-Sensoren ebenso wie die Brille getrackt werden. Dadurch können ihre Positionen perfekt ermittelt werden und in der virtuellen Umgebung als 3D-Objekte an der richtigen Position dargestellt werden (siehe Tracker in Abbildungen 3). Dadurch erlangt der Benutzer volle Kontrolle über die Eingabegeräte und weiss sie sofort einzusetzen. Das performante Positionstracking und Rendering der Controller in Echtzeit lindert den Motion-Sickness- und Cybersickness-Effekt.

### 1.2.3 Unity Game Engine

Die Unity Game Engine ist eine Entwicklungsumgebung um Spiele zu kreieren. Sie ermöglicht es, Spiele für verschiedene Plattformen zu erstellen wie zum Beispiel Computer, Konsolen und Smartphones. Außerdem ermöglicht sie das erstellen von 2D- und 3D-Spielen. Diese können verschiedene Genres sein, wie zum Beispiel Brett- und Kartenspiele, Open-World und linear, First-Person und Third-Person Spiele. Ebenso ermöglicht die Software die Implementation von Augmented Reality- und Virtual Reality-Spielen. Die Hauptbestandteile Unity's GUI sind das Szenen-Fenster, der Hierarchy, der Inspektor, der Projekt-Ordner und das Game-Fenster (siehe Abbildung 6). Im Projektordner befinden sich alle Bestandteile des Spiels wie 3D-Modelle, Texturen, Skripte, Audiodateien, Animationen und Weiteres. Im Szenen-Fenster wird die Spielumgebung vom Benutzer aufgebaut. Hier werden 3D-Modelle platziert, Beleuchtung eingestellt und die UI-Menüs erstellt. In der Hierarchie sieht man alle Objekte, die in die aktuelle Szene eingebaut sind. Der Inspektor ermöglicht es, jedem Objekt aus dem Spiel verschiedene Eigenschaften, Attribute, Hitboxen, RigidBody und Skripte zuzuweisen und die Werte zu manipulieren. Beispielsweise kann die Transformations-Matrix eines Objekts bearbeitet werden und es ist möglich festzulegen, an welcher Position sich das Objekt befindet, wie es rotiert ist und wie es skaliert ist. Das Game-Fenster ermöglicht es, das Spiel zu spielen um die neuesten Änderungen auszuprobieren. Quelle: [Uni19]

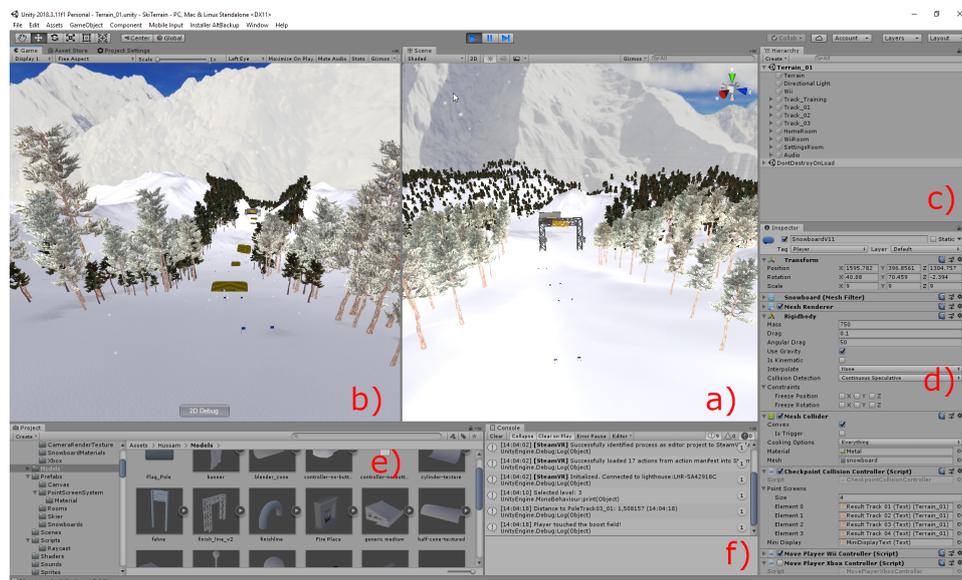
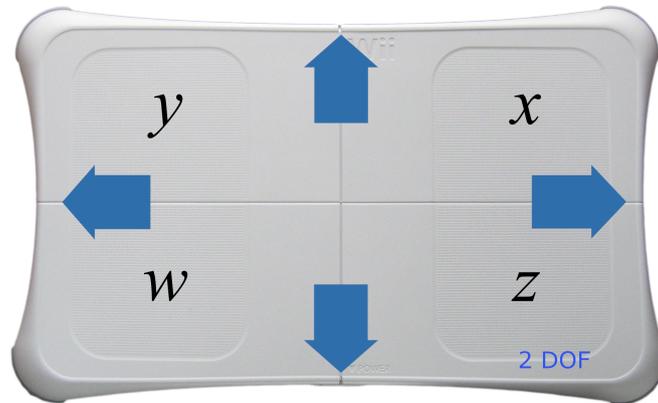


Abbildung 6: (Möglicher) Aufbau der GUI von Unity. a) Szene, b) Game-Window, c) Hierarchie, d) Inspektor, e) Projektordner, f) Konsole für Benachrichtigungen.

### 1.2.4 Wii Balance Board



**Abbildung 7:** Wii Balance Board. Vier Sensoren als  $w,x,y,z$  abgebildet. Quelle: [Wik19]

Das Wii Balance Board (von nun an *WBB*) wurde im Jahr 2007 von Nintendo veröffentlicht. Es dient als Eingabegerät für die Nintendo Wii und kommuniziert über Bluetooth. Es ist ein Brett von der Größe einer Körperwaage, auf das sich der Anwender mit beiden Beinen stellt (siehe Abbildungen 7 und 13b). Durch die vier Drucksensoren die im *WBB* eingebaut sind (gekennzeichnet als  $w,x,y,z$  in Abbildung 7), kann das Zentrum des Balancepunktes ausgerechnet werden. Somit kann ermittelt werden, wie intensiv sich der Anwender nach rechts, links, vorne oder hinten lehnt und wie stark dabei Druck ausgeübt wird. Diese Informationen können auf beliebige Art in Anwendungen verwendet werden. Dadurch, dass der Benutzer statisch auf dem *WBB* steht, muss auf das Positionstracking der HTC Vive verzichtet werden.

Der gewünschte Effekt, der mit dem *WBB* erzielt werden soll, ist das zurücklegen und manövrieren auf größeren Strecken. Diese Distanzen sollen größer sein als der reale Raum, der zur Verfügung steht (blau gekennzeichnet in Abbildung 3). Das *WBB* bietet in diesem Spiel zwei *Degrees-of-Freedom*, welche in Abbildung 7 dargestellt werden. Zum Vergleich wird die andere Steuerungsart mit dem Xbox Controller implementiert, welcher 6 *Degrees-of-Freedom* bietet.

### 1.2.5 Microsoft Xbox Controller



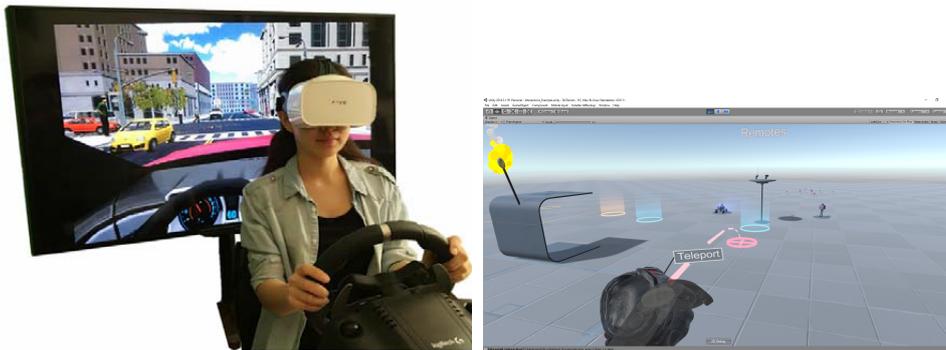
**Abbildung 8:** Microsoft Xbox One Controller (November 2013) Quelle: [Cle19]

Analog Sticks werden schon seit der 70er Jahre für Videospiele benutzt. Seitdem wurden sie immer weiter verbessert und sind heutzutage nicht mehr von Spielkonsolen wegzudenken. Die Microsoft Xbox Spielkonsole erschien 2001 mit ihren Controllern auf dem Markt. Sowohl diese, als auch der Xbox One Controller, der für die Evaluation verwendet wurde, haben zwei solcher Analogsticks eingebaut. Für das Snowboard Spiel wurden 3 *Degrees-of-Freedom* ausgenutzt. Im *Snowboard VR Spiel* erfüllen sie verschiedene Zwecke wie Bremsen, Beschleunigen, Ausweichen und um die Y-Achse drehen (siehe Abbildung 8).

Die Knöpfe des Xbox Controllers werden für die Menüsteuerung verwendet, um eine der Strecken auszuwählen oder zurück in den Startraum zu gelangen. Das WBB und der Xbox Controller werden im Spiel dafür genutzt, Strecken zurückzulegen, die in der realen Spielumgebung nicht zur Verfügung stehen. Der Spieler steht dabei auf der selben Stelle, bewegt sich aber im virtuellen Raum weiter.

## 2 Related Works

Viele Virtual-Reality-Anwendungen benötigen keine simulierte Fortbewegung. Es sind beispielsweise Simulationen eines (interaktiven) 3D-Modells wie Fahrzeuge oder Organe. Mit der HTC Vive und ähnlichen VR-Geräten ist der Nutzer in der Lage, sich um das Objekt herum zu bewegen, solange es der reale Raum ermöglicht und das Gerät Positionstracking unterstützt. Bei Anwendungen aus dem Bereich des Autofahren wird oft zu einem Lenkrad-ähnlichem Controller mit Pedalen zurückgegriffen (siehe Abbildung 9a). Dies ist allerdings sehr anwendungsspezifisch und für Snowboard oder andere Simulationen nicht von Gebrauch. Eine weitere Möglichkeit sich über großen Raum zu bewegen, ist das Teleport-Tool. Hier wird vom Controller ein virtueller Strahl geschossen, sodass der Anwender sieht, wo er als nächstes in der virtuellen Umgebung stehen wird (siehe Abbildung 9b).



(a) Virtual Reality Autofahrt Simulation mit Lenkrad und Pedale Quelle: [LWX<sup>+</sup>18] (b) Virtual Reality Anwendung mit Teleportation als Fortbewegungstechnik

**Abbildung 9:** Gängige Techniken in Virtual Reality Anwendungen zum Bewältigen großer Distanzen.

Den Ansatz eine Snowboard Simulation für virtuelle Anwendungen zu implementieren wurde Zwecks eines Trainings für Anfänger entwickelt. Ziel dieser Arbeit ist es, ein Simulationssystem zu entwickeln, das Anfängern das Nötige können auf dem Snowboard vermittelt, um sie vor verletzenden Stürzen mit dem Snowboard zu bewahren. [HCO17]



(a) Anwender mit HTC Vive Headset auf der Bewegungsplattform. Snowboard ist an der Bewegungsplattform befestigt mit einem HTC Vive Controller. Quelle [HCO17]



(b) Virtuix Omni Laufband für Virtual Reality Anwendungen (2014). Runde Plattform mit Wölbung nach unten. Quelle [AB14]

### Abbildung 10: Hardwarelösungen zum Simulieren von Fortbewegung

Die Bewegungsplattform (siehe Abbildung 10a) ist speziell für Snowboard Simulationen gebaut worden. Der Benutzer ist in der Lage, wahrheitsgetreue Lenkung eines Snowboards in verschiedenen Situationen zu erlernen, während die Bewegungsplattform sich der Steuerung entsprechend dreht und neigt.

Eine weitere Hardware Lösung, die es ermöglicht im virtuellen Raum größere Strecken zu bewältigen, ist das Virtuix Omni Laufband (siehe Abbildung 10b). Das Virtuix Omni ist ein rundes Objekt in Form einer flachen Schale, das ähnlich wie ein Laufband funktioniert. Die Oberfläche hat eine geringe Reibung, wodurch der Benutzer beim Laufen mit den Füßen rutscht und so auf der selben Stelle bleibt. Mit dem Virtuix ist man in der Lage, Gehen, Laufen und Springen zu simulieren. Quelle: [AB14]

Zwar ermöglicht dieses Gerät sehr intuitive Bewegungen, jedoch zu einem, im Vergleich zum *WBB*, hohen Preis. Des Weiteren ist man mit dem Gerät auf das tatsächliche Laufen und Springen angewiesen, was bei Simulationen wie Snowboard-fahren, Surfen, Skifahren oder Hoverboard-fahren die Steuerung erschwert. Hintergrund der Bachelorarbeit ist, eine Steuerungsmöglichkeit für Virtual-Reality-Anwendungen zu evaluieren, die sowohl verschiedene Kriterien wie hohe Immersion, intuitive Anwendung und Konkurrenzfähigkeit erfüllt, als auch tauglich für die Masse ist. Hierbei spielen ein niedriger Preis und die Verfügbarkeit eine wichtige Rolle.

### 3 Implementation

Um die Evaluation durchzuführen und die Kriterien zu untersuchen wurde ein Snowboard Spiel für die HTC Vive implementiert. Es ist sowohl mit dem *WBB* als auch dem Xbox Controller spielbar. Hauptfunktion dieser beiden Eingabegeräte ist die Simulation von Bewegung über größere Strecken. Das *WBB* soll intuitiv von dem Anwender benutzt werden können um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erlangen. Als Basis des Evaluation wurden 3 Strecken mit jeweils 10 zu sammelnden Punkten kreiert.

#### 3.1 Virtual-Reality-Umgebung Wintergebirge



**Abbildung 11:** Winterlandschaft und Schneepartikel im Snowboard Spiel.

Eine Winterlandschaft wurde für das *Snowboard VR Spiel* erstellt. Es besteht aus einem Gebirge auf dem verschiedene Schneetexturen abgebildet sind und drei Räumen. Um die Echtheit dieser Umgebung zu verbessern wurden schneebedeckte Bäume platziert, fallende Schneeflocken simuliert und Windgeräusche in der Welt abgespielt (siehe Abbildung 11).

### 3.2 Bedienelemente



(a) Snowboard Spiel Startraum mit Bildschirmen



(b) Snowboard Spiel Raum in dem man Einstellungen ändern kann

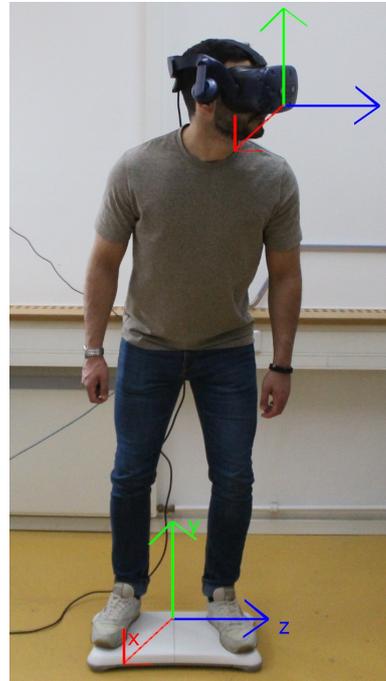
**Abbildung 12:** Links: Startraum mit den Bildschirmen für spielbaren Strecken, wechseln der Räume und die Punkteanzeigen; Rechts: Raum um die Steuerung zu wechseln und das virtuelle Snowboard auszuwählen.

Um eine der spielbaren Strecken zu starten oder in einen der Räume zu wechseln wird immer der Xbox Controller verwendet, da das *WBB* keine Eingabeknöpfe besitzt. Im Startraum stehen virtuelle Bildschirme, die jeder eine Strecke oder einen anderen Raum repräsentieren. Durch einen Raycast, der aus den Augen des Avatars schießt, können diese aktiviert werden. Nun kann durch Eingabe auf dem Xbox Controller die jeweilige Strecke gestartet werden beziehungsweise der Raum gewechselt werden. Um die Umgebung interaktiver zu gestalten, wurde dem Spieler die Möglichkeit geboten, sich eines von sechs virtuellen Snowboards auszusuchen. Außerdem wurde viel Wert auf die Gestaltung der Räumlichkeiten und Dekoration gelegt. Es gab eine Anzeigetafel mit den erreichten Punkten und eine Anzeigetafel mit Highscores anderer Spieler, um mehr Motivation zu schaffen.

### 3.3 Wii Balance Board Integration



(a) Spieler auf dem WBB mit der HTC Vive. Ansicht von hinten



(b) Spieler auf dem WBB mit der HTC Vive. Ansicht von der Seite

**Abbildung 13:** Blickrichtung des Spielers entlang der Z-Achse (blau). Entspricht der Fahrtrichtung des Snowboard Spiel

Im *Snowboard VR Spiel* wird das WBB dazu verwendet, die Steuerung des virtuellen Snowboards zu simulieren. Der Anwender steht dabei gerade auf dem WBB und schaut entlang seiner linken Schulter, was auch der Fahrtrichtung entspricht (siehe z-Achse in Abbildung 13b). Optional kann sich der Benutzer umgekehrt auf das WBB stellen, dann entspräche die Fahrtrichtung der rechten Schulter. Die Drucksensoren liefern alle einen positiven Wert entsprechend dem aufgelegtem Gewicht. Aus den vier Werten lässt sich mit folgender Formel ein 2D-Vektor berechnen, der Werte zwischen -1 und 1 liefert:

$$\vec{m} = \begin{pmatrix} \frac{(x + y) - (w + z)}{w + x + y + z} \\ \frac{(x + z) - (w + y)}{w + x + y + z} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Im Nenner steht immer das vom WBB gemessene Gesamtgewicht, welcher sich aus der Summe aller vier Messwerte, die die Sensoren zurückgeben,

berechnen lässt. So lässt sich ein Wert zwischen -1 und 1 für  $m.x$  und  $m.y$  ausrechnen. Der Wert  $m.x$  beschreibt Gewichtsverlagerung in die Versen oder Fußspitzen beziehungsweise den Translierungvektor des Snowboards nach Rechts und Links. Der Wert  $m.y$  beschreibt die Gewichtsverlagerung auf das rechte beziehungsweise linke Bein, oder im Bezug auf das *Snowboard VR Spiel* ist es das Beschleunigen und Bremsen. Im Wii-Raum hat man die Möglichkeit, die Drucksensoren des *WBB* zu testen. Das *WBB* kommuniziert über Bluetooth mit dem Computer. Die Belastung, welche die Sensoren messen, wird in Kilogramm-Werten übertragen und in der Unity Engine an der richtigen Stelle für die Steuerung verwendet. Zwei visuelle Darstellungsmethoden helfen dem Spieler zu verstehen, wie das *WBB* reagiert und die Steuerung des Snowboards funktioniert. Zum einem hat man vier rote Boxen die den ausgeübten Druck auf jeden Sensor visuell darstellen, indem sie schrumpfen und wieder wachsen. Die andere Darstellungsmethode ist ein 3D-Modell des *WBB* auf dem der Avatar im virtuellen Raum steht. Darauf ist ein grüner Lichtpunkt abgebildet, der sich mit der Gewichtsverlagerung des Spielers bewegt (siehe Abbildung ??). So lernt der Spieler die Steuerung des Boards kennen und kann sich initial richtig auf dem *WBB* positionieren.

```

void FixedUpdate()
{
    // Referenz zum Wii Balance Board erstellen
    // Verbindung muss bereits bestehen
    Vector4 theBalanceBoard = Wii.GetBalanceBoard(remoteIndex);
    float baseWeight = theBalanceBoard.w + theBalanceBoard.x +
        theBalanceBoard.y + theBalanceBoard.z;

    // 2 Werte fuer vertical and horizontal berechnen
    float forwardTransition = ((theBalanceBoard.x +
        theBalanceBoard.y) - (theBalanceBoard.w +
        theBalanceBoard.z)) / baseWeight;
    float leftRightTransition = ((theBalanceBoard.x +
        theBalanceBoard.z) - (theBalanceBoard.y +
        theBalanceBoard.w)) / baseWeight;

    // Zwei Vektoren forward und right berechnen
    // alterMovement sagt, Steuerung Snowboard oder Skier ist
    Vector3 moveForwardDirection = (alterMovement ?
        forwardTransition : leftRightTransition) *
        m_MoveVerticalPower * transform.forward;
    Vector3 moveSidewaysDirection = (alterMovement ?
        leftRightTransition : forwardTransition) *
        m_MoveHorizontalPower * transform.right;

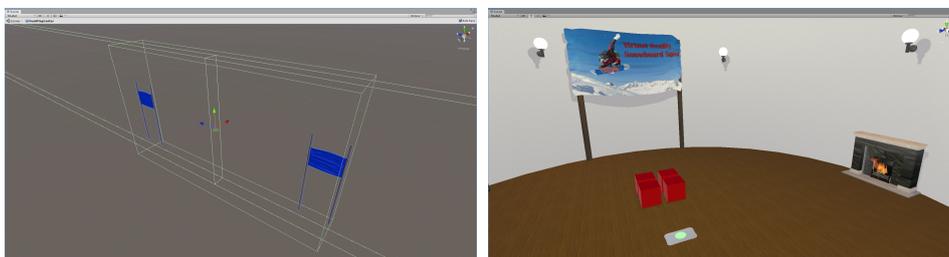
    // Auf den Rigidbody des Spielers addieren
    m_Rigidbody.AddForce(moveSidewaysDirection +
        moveForwardDirection);

    // Rotation moeglich, wenn Eingabe einen Wert ueberschreitet
}

```

**Listing 1:** Code fuer Steuerung mit dem Wii Balance Board

### 3.4 Trainingsstrecke und Hindernisse



(a) Hindernis im *Snowboard VR Spiel*. Zwei Fähnchen umgeben von grünen Hitboxen, die im Spiel nicht sichtbar sind. (b) Umgebung im Spiel in der Spieler die Steuerung mit dem Wii Balance Board üben kann.

Um bei der Evaluation aussagekräftige Werte zu ermitteln, sollen die Probanden jeweils mit Xbox-Controller und WBB fahren. Mit beiden Eingabegeräten hat man die Möglichkeit, die Trainingsstrecke zu fahren, bevor man die gewerteten Strecken beginnt. Diese besteht aus fünf Hindernissen auf einer leichten Neigung. Um Punkte zu sammeln muss der Spieler zwischen die Fähnchen durch fahren. Die Hindernisse bestehen aus zwei Fähnchen und mehreren unsichtbaren Hitboxen (siehe Abbildung 14a). Sobald der Spieler diese Hitbox trifft, werden verschiedene Werte gesammelt, die zur Auswertung dienen. Es werden Zeitpunkt, Abstand, Erfolg und Punktestand festgehalten. Außerdem wird festgehalten, ob man sich rechts oder links vom Zentrum befand. Die Werte die entstehen werden pro Spieler in einer CSV-Datei gespeichert und später ausgewertet.

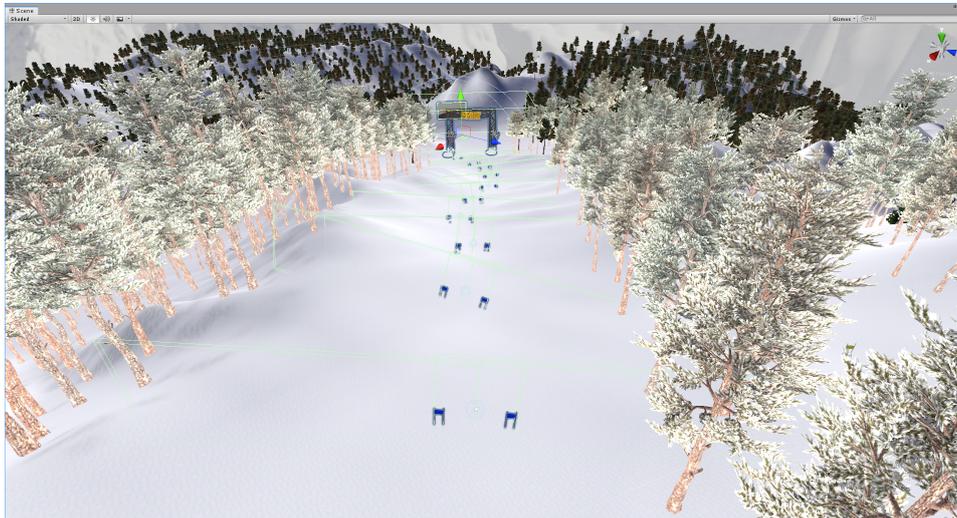
```
void FixedUpdate()
{
    // linker Stick fuer Rechts, Links, Bremsen, Beschleunigen
    // Multipliziere beide Werte mit dem right- und forward-Vektor
    Vector3 moveRightDirection =
        (Input.GetAxis("JoystickHorizontalLeft") *
         m_MovePowerHorizontal) * transform.right;
    Vector3 moveForwardDirection =
        (Input.GetAxis("JoystickVerticalLeft") *
         m_MovePowerVertical) * transform.forward;

    // Beide Vektoren auf Rigidbody addieren
    m_Rigidbody.AddForce(moveForwardDirection +
        moveRightDirection);

    // rechter Stick fue Rotation
    // AddRelativeTorque Rotation um y-Achse der Spieler
    m_Rigidbody.AddRelativeTorque(new Vector3(0f,
        Input.GetAxis("JoystickHorizontalRight") *
        m_RotationPower, 0f), ForceMode.Force);
}
```

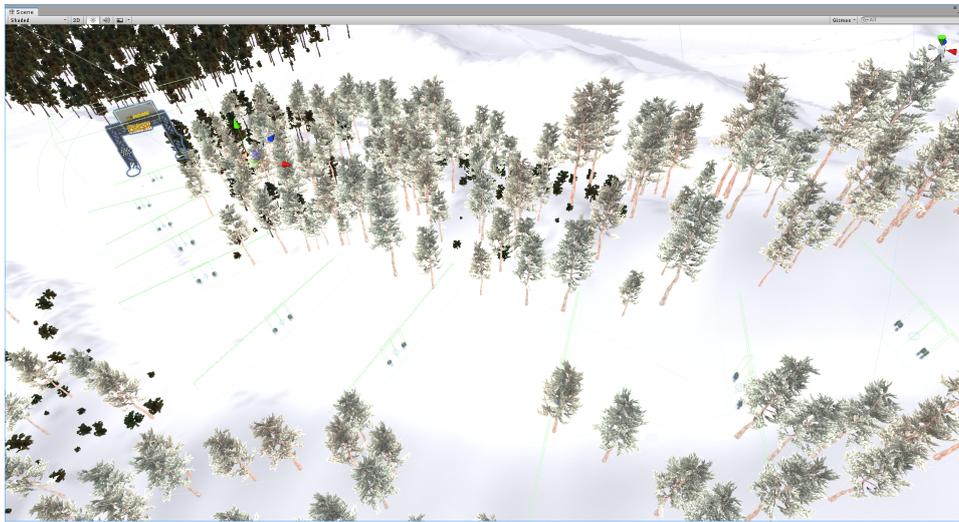
Listing 2: Code fuer Steuerung mit dem Xbox Controller

### 3.5 Gewertete Strecken



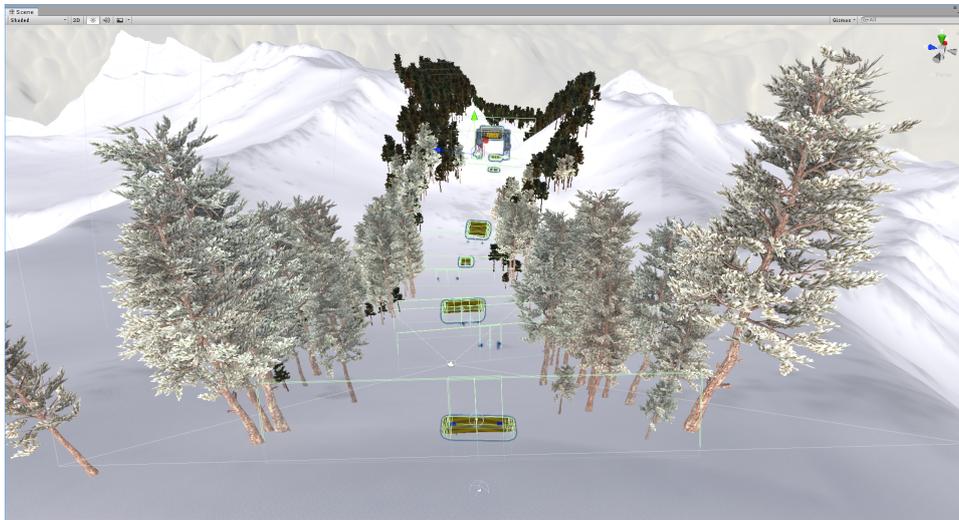
**Abbildung 15:** Erste gewertete Strecke im *Snowboard VR Spiel*. Geringes Gefälle, Hindernisse im leichten Slalom versetzt

**Erste Strecke** Im *Snowboard VR Spiel* gibt es drei gewertete Strecken mit jeweils 10 Punkten, die der Spieler sammeln muss. Die Strecken unterscheiden sich in der Schwierigkeit und in weiteren Aspekten. Die erste Strecke (siehe Abbildung 15) verläuft auf einer schwachen Neigung und die Hindernisse befinden sich auf einer geraden Strecke leicht voneinander versetzt, sodass der Spieler einen kleinen Slalom fährt. Hintergrund hierbei ist es, nicht von Beginn an den Motion-Sickness-Effekt/Cybersickness-Effekt zu erzwingen. Der Spieler soll so das auf der Trainingsstrecke erlernte ohne weitere Einflüsse anwenden können. Wie bei jeder anderen Strecke werden hier die Ergebnisse zwischen *WBB* und Xbox Controller verglichen und sowohl Immersion als auch der Motion Sickness Effekt mit Hilfe des Fragebogens und Beobachtung untersucht.



**Abbildung 16:** Zweite gewertete Strecke im *Snowboard VR Spiel*. Mittleres Gefälle, Streckenverlauf ist eine große Kurve

**Zweite Strecke** Die zweite Strecke verläuft in einer großen Kurve mit einer im Vergleich zur ersten Strecke stärkeren Neigung (siehe Abbildung 16). Mit dem *WBB* ist man in den Eingabe- beziehungsweise Steuerungsmöglichkeiten auf dieser Strecke eher eingeschränkt als mit dem Xbox Controller. Da das *WBB* nur vier Sensoren besitzt, ist es schwierig neben Beschleunigung, Bremsen und Ausweichen zusätzlich Rotation in die Steuerung einzubauen. Das könnte man mit einem Schwellenwert, den das *WBB* überschreiten müsste lösen, allerdings befasst sich diese Testumgebung nur mit dem Bewegen nach Rechts und Links. Durch die Beschaffenheit des Gefälles und der implementierten Physik hat sich das Snowboard während der Abfahrt minimal an die Fahrtrichtung anpassen können. Wichtig war hier zu untersuchen, ob den Probanden auffällt, dass sich die Fahrtrichtung ändert, also ob sich das Snowboard um die eigene *y*-Achse (*Up-Vektor*) dreht. Die Blickrichtung aller Probanden hat sich zum Ziel hin gedreht, wobei es ihnen nicht möglich war, das *WBB* zu drehen während sie drauf standen. Mit dem Xbox Controller in der Hand sind die Spieler dazu in der Lage gewesen. Die Umfrage zeigt, dass die Probanden zu 70% der Aussage 21.5 "Mir ist aufgefallen, dass sich meine Körperorientierung während der Fahrt geändert hat [Board Nutzung]" zustimmen konnten (siehe Abbildung 46 im Anhang).



**Abbildung 17:** Dritte gewertete Strecke im *Snowboard VR Spiel*. Starkes Gefälle, Rampen auf der Strecke verteilt die den Spieler beschleunigen und in die Luft schleudern

**Dritte Strecke** In die dritte Strecke sind zusätzlich zu den Hindernissen noch Rampen eingebaut, welche die Spieler, in unrealistischem Maße, weit und hoch in die Luft schleudern, sobald man auf sie fährt (siehe Abbildung 17). Die Strecke verläuft, wie die erste Strecke, gerade und die Hindernisse sind leicht von einander versetzt angeordnet. Die Neigung ist wesentlich stärker als die der vorherigen Strecken, um eine hohe passive Beschleunigung zu erzielen. Durch die Rampen und die starke Neigung soll der Motion Sickness Effekt bei den Probanden aktiv hervorgerufen werden. Aus der Umfrage haben die Teilnehmer der Aussage 21.4 "Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden [Board Nutzung]" zu 80% zustimmen können. Der selben Aussage im Bezug auf die anderen beiden Strecken konnten die Teilnehmer im Durchschnitt zu jeweils 20% zustimmen (siehe Abbildungen 44 und 42 im Anhang). Ebenso soll mit den Rampen und dem simulierten Sprung ein hoher Spaß-Faktor und eine hohe Immersion erzielt werden. Während der Evaluation war zu beobachten, dass ein großer Teil der Teilnehmer Hilfestellung benötigte, um nicht vom *WBB* zu stürzen. Zur Aussage 22.7 haben die Teilnehmer im Durchschnitt zu 30% von zugestimmt (siehe Abbildung 46 im Anhang).

Sobald der Spieler in den Hauptraum zurückkehrt, kann er seine erreichte Punktezahl sehen. Für die Evaluation wurde von den Probanden verlangt, jede Strecke jeweils mit dem *WBB* und dem Xbox Controller zu fahren. So ergeben sich für die nachfolgende Evaluation pro Testperson 60 Einträge mit den Spieldaten.

## 4 Evaluation

Ziel der Arbeit ist es, das *WBB* als Eingabegerät für Virtual Reality Anwendungen auf verschiedene Aspekte zu evaluieren. Hierzu wurde das *Snowboard VR Spiel* implementiert, und es wurde eine Evaluation mit 50 Teilnehmern vollzogen. Im Anschluss gab es einen Fragebogen auszufüllen (siehe **Auszug aus dem Fragebogen** im Anhang). Der Fragebogen dient zur Erfassung von Stammdaten wie Alter, Geschlecht, Sportlichkeit und Konsum von Videospiele. Des weiteren mussten die Probanden zu verschiedenen Aussagen ihre Zustimmung äußern. Es wurden Aussagen zur Immersion, des Motion-Sickness Effekt, der Steuerung von *WBB* und Xbox Controller und Aussagen zur der Interaktivität des Spiels gestellt.

### 4.1 Hypothesen

Mit Hilfe der Ergebnissen des Fragebogens, der gesammelten Spielergebnisse und der Beobachtung der Probanden sollen folgende Hypothesen beantwortet werden:

- 1. Hypothese:** Mit dem Wii Balance Board kann eine bessere Leistung erzielt werden, als mit dem Xbox Controller.
- 2. Hypothese:** Das Wii Balance Board ermöglicht dem Anwender sich intuitiv über größere Strecken im virtuellen Raum zu bewegen.
- 3. Hypothese:** Die Nutzung des Wii Balance Boards im Virtual Reality Snowboard Spiel hat einen positiven Einfluss auf die Immersion.
- 4. Hypothese:** Die Nutzung des Wii Balance Boards im Virtual Reality Snowboard Spiel ruft verstärkt den Motion Sickness Effekt hervor.

## 4.2 Testumfang und Ablauf

Die 50 Testpersonen wurden in zwei Kontrollgruppen aufgeteilt. **Gruppe A** sollte das Spiel zu Beginn mit dem *WBB* spielen und im Anschluss mit dem Xbox Controller. **Gruppe B** hat das selbe in Umgekehrter Reihenfolge getan. Da die Probanden das Spiel zum ersten Mal spielen, dient diese Methode dazu, negative Auswirkungen auf die Qualität der Ergebnisse vorzubeugen. Die Teilnehmer sollen bei der zweiten Fahrt keine Vorteile haben, weil sie die Strecke schon kennen.

## 4.3 Fragebogen

Die Probanden erhalten einen Fragebogen, der ihre Stammdaten sammelt wie Alter, Geschlecht, Sportlichkeit, Erfahrung mit virtueller Realität und Videospielen. Diese Informationen dienen dazu, Des weiteren dient der Fragebogen zur Erfassung des persönlichen Empfindens *Snowboard VR Spiel*. (siehe **Auszug aus dem Fragebogen** im Anhang).

An der Evaluation haben 31 männliche und 19 weibliche Personen teilgenommen (siehe Abbildung 29). 41 der 50 Teilnehmer sind im Informatik Bereich tätig. 37 der Teilnehmer haben schon mal Anwendungen in virtueller Realität genutzt, 2 Teilnehmer wussten nicht was Virtual Reality ist (siehe Abbildungen 30, 31 und 32).

## 4.4 Ergebnisse des Spiels

Um die Hypothesen beantworten zu können und zu einem Fazit zu kommen, müssen die Ergebnisse der Spiele und die Antworten des Fragebogens in Betracht gezogen werden. Zunächst werden die Durchschnittswerte der Spiele verglichen, und zwar zu jeder Strecke separat. Die mit dem *WBB* erreichten Ergebnisse müssen mit denen des Xbox Controllers verglichen werden. Außerdem werden unterschiedliche Gruppen untersucht wie zum Beispiel männlich, weiblich, keine Computerspiele, viele Computerspiele, Snowboard/Skateboard/Surfen/Ski und *WBB*-Nutzer.

**Strecke 01** Auf der ersten Strecke haben die Spieler im Schnitt 8.024 Punkte mit dem *WBB* erreicht und 9.714 mit dem Xbox Controller. Da die Spieler auch die Möglichkeit haben zu Bremsen und zu Beschleunigen, kann auch die durchschnittliche Fahrzeit verglichen werden. Die Probanden haben auf dem *WBB* durchschnittlich 9 Sekunden länger gebraucht, um die erste Strecke zu absolvieren (siehe Tabelle 1 auf Seite 26). Die Grafiken zeigen das Fahrverhalten der Spieler (siehe Abbildungen 18a und 19a auf Seite 27). Hierzu wurde der durchschnittliche Abstand zur Mitte verwendet. Sollte sich die absolute Mehrheit links von der Mitte befinden, wird ein negatives Vorzeichen gesetzt. Man kann beobachten, dass die Spieler mit dem Xbox Controller wesentlich kontrollierter die Strecke bewältigt haben. Sie waren schneller, dichter an der Mitte und haben durchgehend eine bessere Quote, was gleichzeitig mehr Punkte bedeutet. In Tabellen 4 und 5 sieht man detailliert die Endergebnisse.

**Strecke 02** Auf der zweiten Strecke haben die Probanden unter Verwendung des *WBB* durchschnittlich 9.02 Punkte erreicht und unter Verwendung des Xbox Controller 9.14 Punkte. Das ist im Gegensatz zur ersten Strecke ein sehr kleiner Unterschied. Der durchschnittliche Abstand zur Mitte der Strecke ist auch hier mit beiden Steuergeräten sehr gering gewesen mit 1.913 (*WBB*) und 1.718 (Xbox) (siehe Tabellen 4 und 5). Vergleicht man das Fahrverhalten auf der zweiten Strecke (siehe Abbildung 20b, so macht es den Anschein, dass die Probanden auf dem *WBB* mehr Kontrolle hätten, allerdings muss man berücksichtigen, dass die zweite Strecke eine große Rechtskurve ist (siehe Abbildung 16). Die Werte aus Tabelle 2 zeigen, dass die Spieler mit dem Xbox Controller während der Fahrt näher an der Mitte ist.

**Strecke 03** Auf der dritten Strecke haben die Testergebnisse erhebliche Unterschiede gezeigt. Unter Verwendung des Xbox Controllers haben die Probanden konstant eine Quote von über 90% gehalten. Unter Verwendung des Controllers gab es nur ein Hindernis welches über 90% der Probanden geschafft haben. Bei allen anderen Hindernissen war die Quote schlechter (siehe Tabellen 3, 4 und 5). Auch die Graphen 18c und 19c (kombiniert auf Abbildung 20c) zeigen deutlich, dass die Spieler auf dem *WBB* oft die Kontrolle verloren haben. Verantwortlich dafür waren wahrscheinlich die Rampen, die in die dritte Strecke eingebaut sind (siehe Abbildung 17 auf Seite 22).

Hindernis	Distanz	Zeit	Quote		Distanz	Zeit	Quote
1	-3.7255	00:00	73.47%		1.2874	00:00	97.96%
2	-3.7157	00:02	173.47%		-1.2598	00:02	93.88%
3	2.9617	00:05	77.55%		0.8958	00:03	97.96%
4	1.5978	00:07	93.88%		-0.9934	00:05	100%
5	-3.35	00:10	77.55%		1.0336	00:07	100%
6	-3.1556	00:13	67.35%		1.2366	00:09	93.88%
7	-2.0447	00:16	87.76%		-0.804	00:11	100%
8	-2.5405	00:19	83.67%		-1.4604	00:13	95.92%
9	-1.8895	00:22	87.76%		-1.1917	00:14	95.92%
10	-3.7476	00:25	79.59%		-1.1931	00:16	95.92%

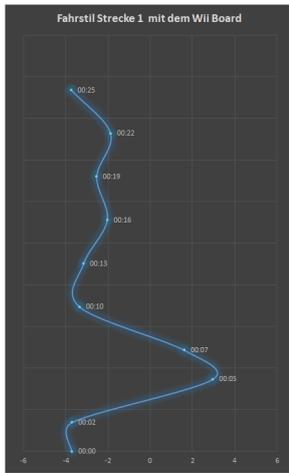
**Tabelle 1:** Ergebnisse der 1. Strecke. Links mit *WBB*, rechts mit Xbox Controller.

Hindernis	Distanz	Zeit	Quote		Distanz	Zeit	Quote
1	1.4438	00:00	100%		-1.6744	00:00	95.92%
2	-1.251	00:02	97.96%		-1.8663	00:02	93.88%
3	-1.5977	00:05	91.84%		1.8943	00:04	89.8%
4	1.7348	00:09	93.88%		0.9218	00:07	95.92%
5	1.552	00:13	95.92%		-1.2294	00:09	97.96%
6	1.8041	00:17	89.80%		1.199	00:12	95.92%
7	1.7819	00:20	87.76%		1.1392	00:15	95.92%
8	2.2558	00:24	85.71%		-0.8613	00:17	100%
9	2.1196	00:28	89.80%		-1.6437	00:20	85.71%
10	3.5898	00:32	69.39%		4.7529	00:23	63.27%

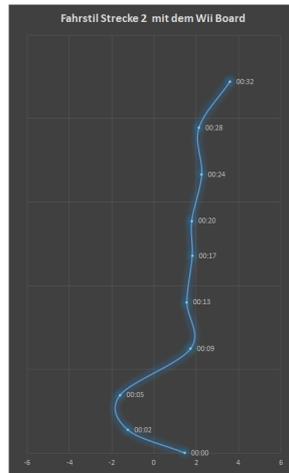
**Tabelle 2:** Ergebnisse der 2. Strecke. Links mit *WBB*, rechts mit Xbox Controller.

Hindernis	Distanz	Zeit	Quote		Distanz	Zeit	Quote
1	-1.489	00:00	89.80%		-0.425	00:00	100%
2	-3.1474	00:05	73.47%		-0.9474	00:05	97.96%
3	3.5845	00:06	53.06%		0.3909	00:06	100%
4	-4.3132	00:08	63.27%		-2.4129	00:07	97.96%
5	-5.0717	00:13	75.51%		-2.2179	00:12	97.96%
6	-7.6016	00:15	38.78%		-0.7836	00:14	97.96%
7	4.9511	00:19	69.39%		1.1281	00:18	97.96%
8	-3.1251	00:29	93.88%		1.8549	00:25	97.96%
9	-4.8923	00:33	38.78%		-1.404	00:28	93.88%
10	-2.8417	00:42	89.80%		-1.2957	00:36	95.92%

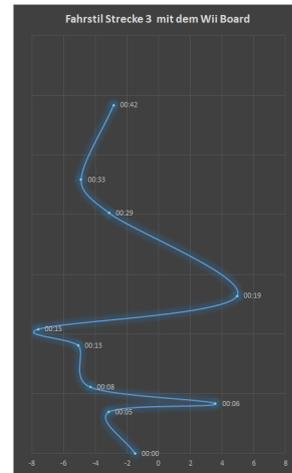
**Tabelle 3:** Ergebnisse der 3. Strecke. Links mit *WBB*, rechts mit Xbox Controller.



(a) Fahrverhalten auf der 1. Strecke

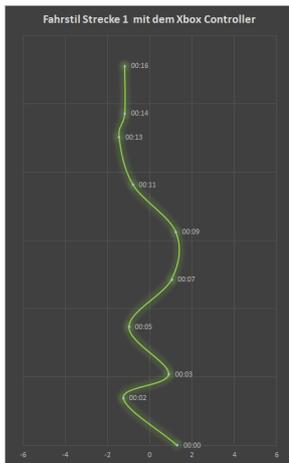


(b) Fahrverhalten auf der 2. Strecke

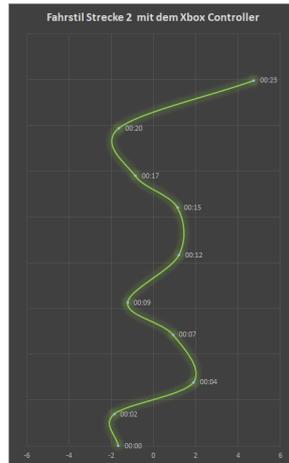


(c) Fahrverhalten auf der 3. Strecke

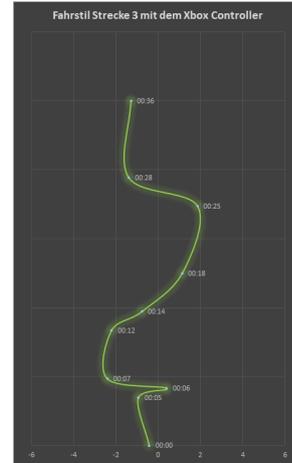
**Abbildung 18:** Fahrverhalten auf den 3 Fahrstrecken unter Verwendung des Wii Balance Boards



(a) Fahrverhalten auf der 1. Strecke



(b) Fahrverhalten auf der 2. Strecke



(c) Fahrverhalten auf der 3. Strecke

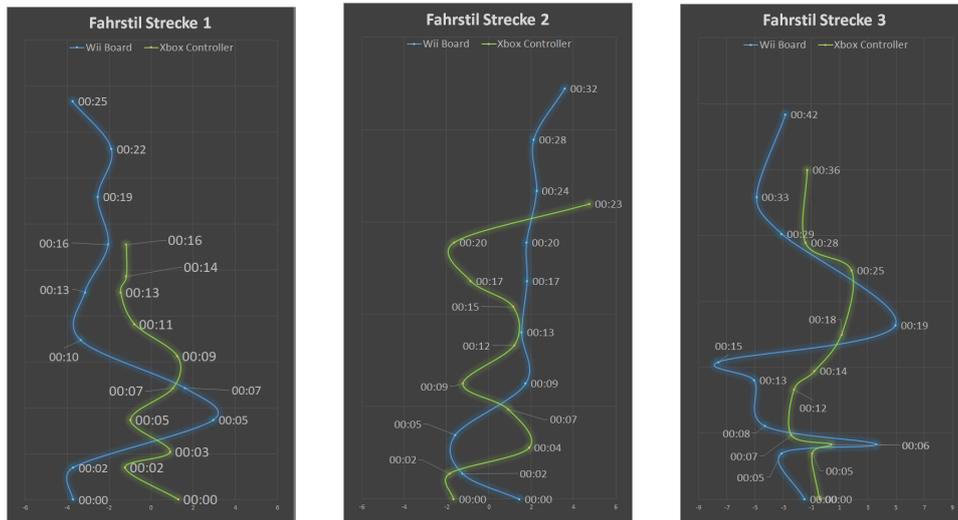
**Abbildung 19:** Fahrverhalten auf den 3 Fahrstrecken unter Verwendung des Xbox Controllers

WBB	Abstand	Zeit	Gesammelte Punkte	Quote
Strecke1	2.87286	00:25	8.0204	80.21%
Strecke2	1.91305	00:32	9.0204	90.21%
Strecke3	4.10176	00:42	6.8571	68.57%

**Tabelle 4:** Endergebnisse des Spiels unter Verwendung des WBB

Xbox Controller	Abstand	Zeit	Gesammelte Punkte	Quote
Strecke1	1.13558	00:16	9.7143	97.14%
Strecke2	1.71823	00:23	9.1429	91.43%
Strecke3	1.28604	00:36	9.7755	97.76%

**Tabelle 5:** Endergebnisse des Spiels unter Verwendung des Xbox Controller



**(a)** Fahrverhalten auf der 1. Strecke

**(b)** Fahrverhalten auf der 2. Strecke

**(c)** Fahrverhalten auf der 3. Strecke

**Abbildung 20:** Direkter Vergleich des Fahrverhaltens mit Berücksichtigung der Zeit. Fahrtbeginn ist im Graph unten.

**Detaillierte Ergebnisuntersuchung** Die Ergebnisse der Spiele haben gezeigt, dass die Probanden wesentlich bessere Leistungen erzielen, wenn sie mit dem Xbox Controller spielen. Um **Hypothese 1** stärker zu widerlegen, werden folgende Untergruppen untersucht:

**1a)** Erzielen die Probanden die Surfen, Snowboard oder Skateboard fahren auf dem *WBB* eine bessere Leistung als mit dem Xbox Controller?

**1b)** Erzielen die Probanden die keine Videospiele spielen auf dem *WBB* eine bessere Leistung als mit dem Xbox Controller?

**1c)** Erzielen die Probanden die mehr als 8 Stunden pro Woche Videospiele spielen auf dem *WBB* eine bessere Leistung als der Durchschnitt?

**1d)** Erzielen die Probanden auf dem *WBB* eine bessere Leistung, wenn sie es schon mal benutzt haben?

**1a) Leistungen der Probanden die Surfen, Snowboard oder Skateboard fahren** 3 Teilnehmer haben angegeben, dass sie Surfen. 14 Teilnehmer haben angegeben, dass sie Skateboard fahren und 8 Teilnehmer haben angegeben, dass sie Snowboard fahren (siehe Abbildung 35). Das *Snowboard VR Spiel* erfordert ähnliche Balance- und Manövrierfähigkeiten wie die genannten Sportarten, wenn mit dem *WBB* gesteuert wird. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Untergruppe mit dem Xbox Controller dennoch bessere Leistungen erzielt, als auf dem *WBB*. Demnach bleibt **Hypothese 1** unbestätigt. Allerdings ist zu beobachten, dass von dieser Untergruppe mit beiden Steuerungsmöglichkeiten bessere Leistungen erzielt wurden, als die Durchschnittswerte aller Teilnehmer (Vergleich Tabelle 6 und 4). Auf allen drei Strecken ist der Abstand zur Mitte geringer, die Fahrzeit ist kürzer und die Quote ist höher, was eine bessere Punktezahl bedeutet. Demnach zu Urteilen haben Spieler mit Erfahrung auf dem Snowboard, Skateboard oder Surfbrett einen Vorteil, was **Hypothese 2** unterstützt.

18 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	1.68072	00:21	94%	0.94171	00:20	100%
Strecke 2	1.57349	00:26	91%	1.31556	00:25	94%
Strecke 3	3.26292	00:41	76%	1.44913	00:37	97%

**Tabelle 6:** Leistungen der Spieler, die Surfen, Snowboard oder Skateboardfahren als einer ihrer Sportarten angegeben haben. Links Ergebnisse mit *WBB*, rechts mit Xbox Controller.

**1b) Leistungen der Probanden die keine Videospiele spielen** Von den 50 Teilnehmern haben 8 angegeben, keine Videospiele zu spielen. Beim Betrachten der Ergebnisse dieser Untergruppe zeigt sich, dass sowohl die erreichten Werte auf dem Wii Board als auch mit dem Xbox Controller unter dem Durchschnitt liegen (siehe Tabellen 4,5 und 7). Ebenso Wie der Durchschnitt erreichen Sie mit dem Xbox Controller bessere Werte als unter Verwendung des Wii Boards, was **Hypothese 1** weiterhin unbestätigt lässt.

8 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	3.49452	00:26	74%	1.36038	00:17	95%
Strecke 2	2.30406	00:35	88%	1.54062	00:23	90%
Strecke 3	3.65752	00:42	66%	1.1231	00:37	100%

**Tabelle 7:** Leistungen der Spieler die keine Videospiele spielen. Links mit WBB, rechts mit Xbox Controller

**1c) Leistungen der Probanden die mindestens 8 Stunden/Woche Videospiele spielen** Von den Teilnehmern haben 6 Teilnehmer angegeben, dass sie zwischen 8 und 14 Stunden pro Woche, 9 Teilnehmer haben angegeben, dass sie mehr als 14 Stunden pro Woche mit Videospiele verbringen (siehe Abbildungen 36 und 37). Die Ergebnisse dieser Untergruppe, die mit dem WBB erzielt wurden, weisen keine großen Abweichungen zu den Durchschnittswerten aller Spieler. Dies widerlegt **Hypothese 1c)** bestätigt und lässt somit auch **Hypothese 1** unbestätigt. Allerdings hat diese Untergruppe eine bessere Leistung mit dem Xbox Controller erzielt als der Durchschnitt, was ihrer Erfahrung mit Videospiele anzurechnen ist (Vergleich Tabellen 5 und 8).

15 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	3.43118	00:24	77%	1.01912	00:16	99%
Strecke 2	1.88928	00:30	91%	1.44502	00:23	94%
Strecke 3	3.94153	00:42	69%	1.15634	00:37	99%

**Tabelle 8:** Teilnehmer die mindestens 8 Stunde/Woche mit Videospiele verbringen.

**1d) Leistungen der Probanden mit Erfahrung auf dem WBB** An der Umfrage haben 14 Teilnehmer angegeben, dass sie das WBB schon mal verwendet haben (siehe Abbildung 32). Ihre Ergebnisse zeigen deutlich, dass sie, wie alle anderen Untergruppen und der Durchschnitt aller Teilnehmer, mit dem Xbox Controller eine bessere Leistung erzielen (siehe Tabelle 9). Somit

bleiben **Hypothese 1d)** und letztendlich **Hypothese 1** unbestätigt. Die Anwendung des *WBBs* bringt nicht so gute Leistungen wie der Xbox Controller. Des weiteren zeigt sich, dass die Leistungen dieser Untergruppe die mit dem *WBB* erzielt wurden, teilweise besser sind als der Durchschnitt (siehe Tabellen 9 und 4). Ebenso wie bei den vorherigen Gruppen ist dies ihrer Erfahrung anzurechnen. Dies untermauert **Hypothese 2** bezüglich der intuitiven Anwendung des *WBBs*.

14 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	2.05228	00:26	87%	1.31604	00:17	96%
Strecke 2	1.86771	00:31	89%	2.03941	00:24	91%
Strecke 3	3.7192	00:42	70%	1.3613	00:38	95%

**Tabelle 9:** Teilnehmer die das Wii Balance Board bereits genutzt haben.

## 4.5 Auswertung des Fragebogen

Die Auswertungen der Spielergebnisse alleine haben keine Aussagekraft über die Immersion oder den Motion-Sickness Effekt den die Verwendung des WBB mit sich bringt. Um **Hypothesen 2, 3 und 4** beantworten zu können, werden jetzt die Ergebnisse des Fragebogens ausführlich untersucht. Hierzu werden die Antworten aus den Frageblöcken 16. bis 22. des Fragebogens verwendet (siehe **Auszug aus dem Fragebogen der Evaluation** im Anhang).

**2. Hypothese - Intuitive Anwendung des Wii Balance Board** Um die intuitive Anwendung des WBBs zu beurteilen, müssen folgende Punkte mit Hilfe der Antworten der Probanden untersucht werden:

**2a)** Die Gewichtsverlagerung hat den gewünschten Effekt bei der Steuerung ausgelöst.

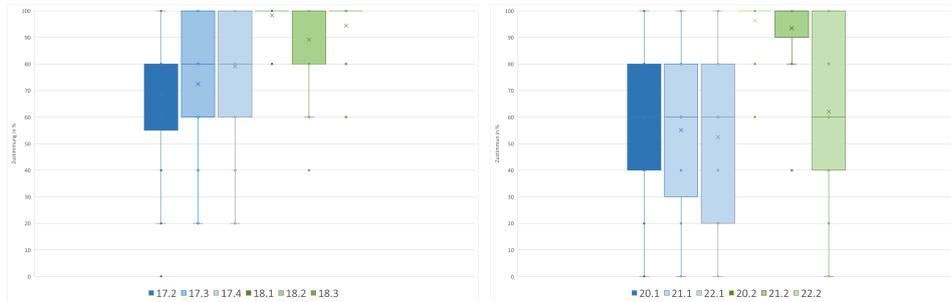
**2b)** Das WBB hat die Spieler dabei unterstützt, Punkte zu sammeln.

**2c)** Probanden die Erfahrung mit Snowboard-fahren haben konnten von ihrem Können Gebrauch machen.

**2d)** Probanden die wenig bis keine Videospiele spielen, konnten mit dem Wii Balance Board umgehen.

**2a) Funktionstüchtigkeit des Wii Balance Boards** In der Umfrage haben die Probanden den Aussagen im Bezug auf den Xbox Controller *“Das Bremsen hat gut auf meine Eingabe reagiert.”* im Durchschnitt zu 89.14% und der Aussage *“Das Beschleunigen hat gut auf meine Eingabe reagiert.”* im Durchschnitt zu 94.35% zugestimmt. Den selben Aussagen haben sie im Bezug auf das WBB viel weniger zustimmen können. Nur zu 72.5% und 77.14% (siehe Abbildung 21a). Trotzdem sind das für das WBB sehr gute Ergebnisse. Es hätte eine größere Zustimmung gegeben, würden die Faktoren der Eingabe erhöht werden (siehe **REFERENZ ZU MOVEPLAYERWII CODE**). Laut Aussagen der Probanden, habe das WBB zu langsam/zu spät gebremst beziehungsweise beschleunigt. Dies hat auch dazu geführt, dass die Probanden viel höhere Cybersickness Anzeichen zeigten. Ein erheblich größerer Unterschied hat sich bei der Aussage *“Die Rechts-Links Steuerung hat gut auf meine Eingaben reagiert”* gezeigt. Hier haben die Teilnehmer der Aussage zu 68.8% beziehungsweise 98.29% zustimmen können. Hier könnten verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. Zum Beispiel die höhere Schwierigkeit sich in die Versen beziehungsweise Fußspitzen zu lehnen (siehe Abbildung 13b), die Dimensionen des WBB weil es keine quadratisch

Form hat, oder der zu geringe Faktor der auf  $m \cdot x$  aus Formel Nummer 1 (Seite 17) multipliziert wird.



(a) Antworten bezüglich der Rechts-Links Ausweichen, Bremsen und Beschleunigen  
 (b) Zustimmung zur Aussage "Die 10 Punkte waren einfach zu holen" blau WBB, grün Xbox Controller

**Abbildung 21:** Direkter Vergleich des Fahrverhaltens mit Berücksichtigung der Zeit. Fahrtbeginn ist im Graph unten.

**2b) Tauglichkeit des Wii Balance Board für Snowboard Simulation** Um die 2. Hypothese beantworten zu können, müssen die Antworten der Teilnehmer bezüglich der Frage "Die 10 Punkte waren auf Gerät X einfach zu holen" betrachtet werden. Abbildung 21b zeigt, dass die Probanden es auf jeder Strecke als einfacher empfunden haben, diese mit dem Xbox Controller zu bewältigen. Dies spiegelt sich auch in den Spielergebnissen wieder. Dennoch stimmen die Teilnehmer den Aussagen wenn es um das WBB geht mit über 50% zu. Es liegt also näher, dass eine bessere Implementation der Steuerung notwendig ist, als dass das Board keine Unterstützung sei.

Zuletzt muss das intuitive Anwenden des WBB untersucht werden. Um Anwendungen möglichst interaktiv und immersiv zu halten, benötigt es ein Eingabegerät, die der Benutzer direkt versteht, um sich ausgiebig auf die Inhalte der virtuellen Umgebung fokussieren zu können. Das WBB soll dem Anwender keine schwierige Hürde darstellen. Es soll dabei unterstützen, die virtuelle Umgebung ausgiebig erkunden zu können. Für Snowboard Spiele oder ähnliche Sportspiele soll das WBB den Benutzern Spaß machen, und nicht Hauptbestandteil des Spiels sein. Daher werden jetzt Aussagen von zwei Gruppen untersucht. Die Teilnehmer, die regelmäßig Snowboard-, Skateboard-, Skifahren oder Surfen, und die Teilnehmer, die maximal 2 Stunden pro Woche Videospiele spielen. Hierzu werden die Spielergebnisse aus Tabellen 6 und 7 genauer betrachtet, und die Aussagen der beiden Gruppen analysiert.

**2c) Gruppe: Snowboard-Fahrer** Die Ergebnisse zeigen, dass die Gruppe mit dem Xbox Controller wesentlich zufriedener waren. Das Ausweichen nach Rechts/Links (Fragen **17.2** und **18.1**; Durchschnittlich 60% für das WBB und 98% für den Xbox Controller) hat ihnen nicht sehr gefallen. Mit dem Bremsen und Beschleunigen waren sie zufriedener (79% und 80% Zustimmung für das WBB; 92% und 93% Zustimmung für den Xbox Controller; siehe Abbildung ??). Das selbe spiegelt sich auch in den Fragen **20.1 bis 22.2** wieder, "wie einfach Sie die Punkte holen konnten" auf den verschiedenen Strecken. Hier haben sie der Steuerung mit dem Xbox Controller wesentlich mehr zugestimmt (siehe Abbildung 23a).

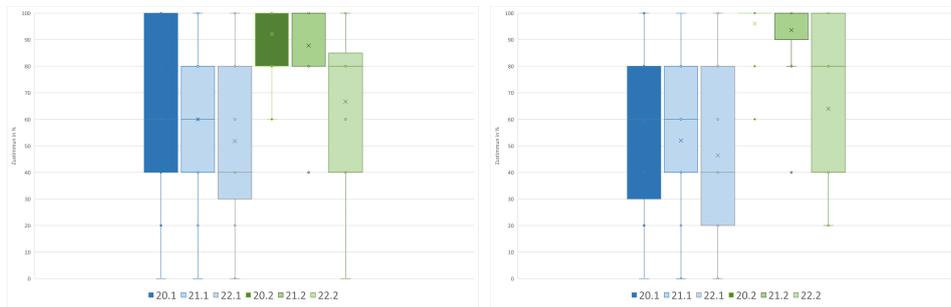


(a) Antworten der **Snowboard-Fahrer**

(b) Antworten der **Nicht-Videospieler**

**Abbildung 22:** Antworten zu den Eingaben des WBB und des Xbox Controllers (Rechts/Links, Bremsen, Beschleunigen)

**2d) Gruppe: Keine Videospiele** Die Ergebnisse zeigen auch hier, dass die Gruppe mit dem Xbox Controller wesentlich zufriedener waren. Das Ausweichen nach Rechts/Links (Fragen **17.2** und **18.1**; Durchschnittlich 80% für das WBB und 96% für den Xbox Controller) hat ihnen nicht sehr gefallen. Das Bremsen hat ihnen auf dem Xbox Controller besser gefallen als auf dem WBB (70% Zustimmung für das WBB und 80% Zustimmung für den Xbox Controller). Das Beschleunigen hat ihnen auf beiden Geräten gleichermaßen zugesagt (86% Zustimmung für das WBB und 90% Zustimmung für den Xbox Controller; siehe Abbildung ??). Auch diese Gruppe fand es für alle drei Strecken einfacher, den Xbox Controller zu verwenden um mehr Punkte zu sammeln. Dies zeigt sich in den Fragen **20.1 bis 22.2** (siehe Abbildung 23b).



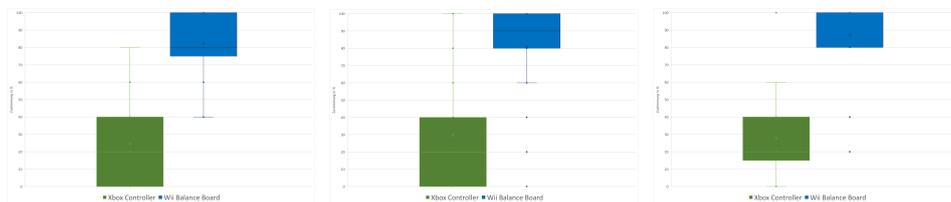
(a) Antworten bezüglich der Rechts-Links Ausweichen, Bremsen und Beschleunigen (b) Zustimmung zur Aussage "Die 10 Punkte waren einfach zu holen" blau WBB, grün Xbox Controller

**Abbildung 23:** Direkter Vergleich des Fahrverhaltens mit Berücksichtigung der Zeit. Fahrtbeginn ist im Graph unten.

Beiden Untergruppen fiel es einfacher, die Snowboard-Fahrt mit dem Xbox Controller zu manövrieren und haben eine Bessere Leistung erzielt (vergleiche Tabellen 6 und 7). Dennoch hat die Gruppe **Snowboard-Fahrer** mit dem *WBB* bessere Ergebnisse erzielt, als der allgemeine Durchschnitt (Vergleich Tabellen 4 und 6). Demnach zu Urteilen, hat ihnen ihre Erfahrung auf dem Snowboard einen Vorteil erbracht im Gegensatz zu den anderen Spielern. Also ist **Hypothese 2c** bestätigt.

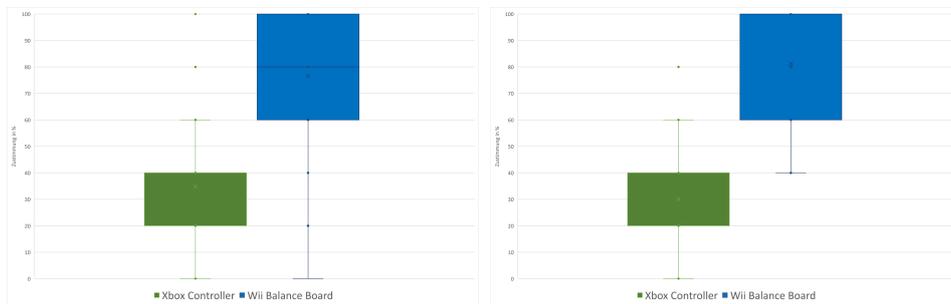
Die Umfrage zeigt, dass die Gruppe **Keine-Videospiele** den Steuerungstechniken immer mit über 70% im Durchschnitt zustimmen konnten (Fragen 17.2 - 17.4 und bezüglich der Einfachheit auf den Strecken Punkte zu sammeln zwischen 40% und 60% zugestimmt haben (Fragen 20.1, 21.1, 22.1). Demnach zu urteilen hat das *WBB* die Grundlegenden Funktionen für sie erfüllt, jedoch ist Verbesserung der Steuerung nötig. Die Spielergebnisse dieser Gruppe mit dem *WBB* zeigen keine große Abweichungen zur Durchschnittsleistung aller Teilnehmer. Also ist **Hypothese 2d** bestätigt und auch **Hypothese 2**.

**3. Hypothese - Immersion des Spiels** Um **Hypothese 3** bezüglich der einzelnen Steuermöglichkeiten zu beurteilen, müssen die Antworten zu den **Aussagen 17.5 - 17.8 und 18.4 - 18.7** betrachtet werden. Hier wird gefragt, ob sie eine der beiden Steuerungsarten als realistischer einschätzen als die andere. Die Graphiken in **Abbildung 24** zeigen, dass die Teilnehmer die Steuerung mit dem *WBB* als wesentlich realistischer empfinden als mit dem Xbox Controller. Die Umfrage sieht man in **Abbildung 24a** und **24c** nach Geschlechtern aufgeteilt. In **Abbildungen 25a** sieht man die Zustimmung der **Gruppe Snowboarder** und in **Abbildung 24a** sieht man die Antworten der Gruppe **Keine-Videospiele**.



**(a)** Antworten der männlichen Teilnehmer **(b)** Antworten aller Teilnehmer **(c)** Antworten der weiblichen Teilnehmer

**Abbildung 24: Aussagen 17.6+17.8 und 18.5+18.7 realistische Steuerungsart**

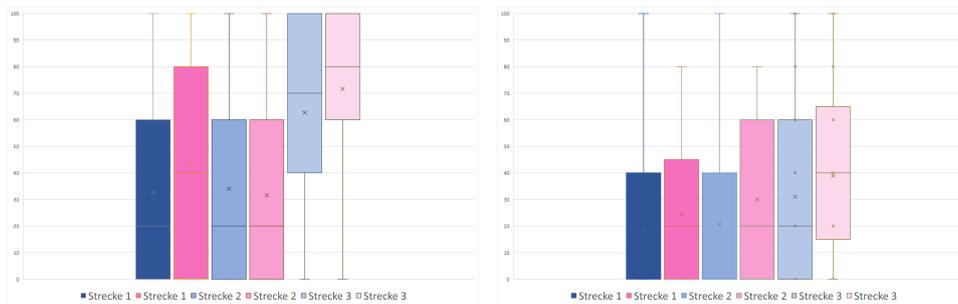


**(a)** Antworten der Untergruppe **Snowboard-Fahrer** **(b)** Aussagen der Untergruppe **Keine-Videospiele**

**Abbildung 25: Aussagen 17.6+17.8 und 18.5+18.7 realistische Steuerungsart**

Mit absoluter Mehrheit haben die Teilnehmer das *WBB* als realistischer empfunden. Daher ist **Hypothese 3** bestätigt, und das *WBB* hat seinen Zweck als Eingabegerät erfüllt.

**4. Hypothese - Motion-Sickness und Cybersickness** Die Anwendung des *WBBs* hat bei den Probanden häufig Schwindelgefühle ausgelöst oder ihnen das Gefühl gegeben, vom *WBB* zu stürzen. Eine Teilnehmerin musste nach der 2. Strecke den Versuch abbrechen, weil ihr viel zu schwindelig wurde. Dies war nur ein Extremfall. Die Umfrage hat ergeben, dass die Probanden viel mehr an Schwindelgefühlen leiden wenn sie das *WBB* verwenden (siehe Abbildungen 26a und 26b). Die Antworten entsprechen den Erwartungen: Die implementierten Rampen haben den Motion-Sickness beziehungsweise den Cybersickness Effekt verstärkt hervorgerufen. Vor allem weil die Körperbewegung der Spieler nicht mit dem von ihnen Erwarteten Manöver übereinstimmt. Wider Erwartens sind die Ergebnisse des Xbox Controllers sehr niedrig geblieben, verglichen mit denen des *WBB* auf der dritten Strecke. Dies könnte ein Indikator dafür sein, dass die Probanden von der Verwendung des Xbox Controllers nicht sehr überzeugt sind beziehungsweise sie es als sehr realitätsfern empfinden. Dies hat sich auch in den Umfrageergebnissen aus Abbildung 24b gezeigt.

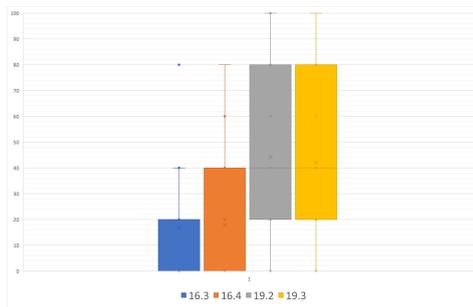


(a) Zustimmung der Teilnehmer unter Verwendung des *Wii Boards*. Antworten der männlichen Teilnehmer in blau, der weiblichen Teilnehmer in rosa.

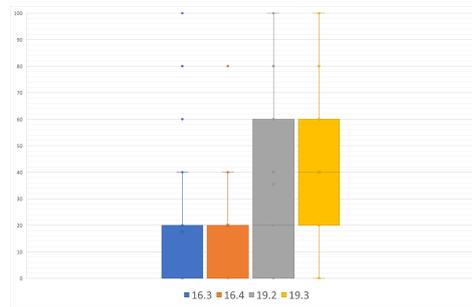
(b) Zustimmung der Teilnehmer unter Verwendung des *Xbox Controller*. Antworten der männlichen Teilnehmer in blau, der weiblichen Teilnehmer in rosa.

**Abbildung 26:** Zustimmung zur Aussage "Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden." Links weibliche Teilnehmer, rechts männliche Teilnehmer.

Weitere Hinweise auf Motion-Sickness, Übelkeit und Schwindelgefühle zeigen sich in den Fragen 16.3, 16.4, 19.2 und 19.3 des Fragebogens (siehe Abbildungen 27a und 27b). Diese Fragen sind unabhängig von den Steuerelementen. Die weiblichen Teilnehmer stimmen diesen Aussagen stärker als die männlichen Teilnehmer. Das grundsätzliche Auftreten von Motion-Sickness, Cybersickness, Übelkeit und Unwohlsein war zu erwarten. Allerdings sind diese sehr gering aufgetreten, sodass die Auswertung der Spieldaten repräsentativ genug ist. Die Verwendung des *WBB* weist ein höheres Auftreten dieser Phänomene auf als der *Xbox Controller*.



(a) Zustimmung der weiblichen Teilnehmer zu Fragen aus der Motion-Sickness Kategorie.



(b) Zustimmung der männlichen Teilnehmer zu Fragen aus der Motion-Sickness Kategorie.

**Abbildung 27:** 16.3: Beim Wechseln der Level ist mir schwindelig geworden. 16.4: Beim Wechseln der Level habe ich die Orientierung verloren. 19.2: Mir ist im Laufe des Spiels unwohl geworden. 19.4: Ich habe manchmal die Orientierung verloren.

## 5 Zusammenfassung und Fazit

Die Evaluation hat ergeben, dass das Wii Balance Board sehr gut bei den Probanden angekommen ist, wenn es um den Einsatz in Virtual-Reality-Anwendungen geht. Viele Probanden waren über den Einsatz des Wii Balance Boards positiv überrascht (siehe **Aussagen über das Spiel** im Anhang auf Seite 54) und konnten intuitiv die Steuerung anwenden. Spieler, die Erfahrung mit Snowboardfahren, Surfen oder Skateboardfahren haben, erzielten bessere Ergebnisse als der Durchschnitt, was das Argument über die intuitive Anwendung untermauert. Die Mehrheit der Teilnehmer haben die Anwendung des Wii Balance Board für realistischer und wahrheitsgetreuer empfunden als das Spielen mit dem Xbox Controller. Das Wii Balance Board bietet nur zwei *Degrees-of-Freedom*, allerdings reichen diese schon aus, um für die Snowboard-Fahrt ein realitätsnahes Virtual-Reality-Spiel zu implementieren.

Mit diesen Eigenschaften wäre das Wii Balance Board eine Bereicherung für den Virtual-Reality Markt und die breite Masse, die solche Spiele und Anwendungen konsumiert. Ein simples Brett mit vier eingebauten Drucksensoren, das über Bluetooth kommuniziert. Durch Implementation sind zwei *Degree-of-Freedom* zu erreichen, was ein breites Spektrum an möglichen Interaktionen erfüllen kann. Einziger Nachteil der Verwendung eines solchen Geräts ist der Verlust des freien Bewegens in der realen Umgebung. Der größte Vorteil ist, dass zur Benutzung des Wii Balance Boards nur die Gewichtsverlagerung, also Beinarbeit, notwendig ist, was wiederum bedeutet, dass man für andere Eingabegeräte die Hände frei hat. Es ist also möglich, für verschiedene Anwendungen das Wii Balance Board und die mitgelieferten Controller des VR-Headset gleichzeitig zu verwenden, um so mehr Interaktion in den Anwendungen bieten zu können (Beispiel siehe Abbildung 28).



**Abbildung 28:** Spieler mit HTC Vive, HTC Vive Controllern und dem Wii Balance Board gleichzeitig am benutzen.

## Abbildungsverzeichnis

1	Virtuelle Realität in der Anfangsphase . . . . .	4
2	Virtual Reality Referenz Modell . . . . .	5
3	Skizze Spieler mit HTC Vive . . . . .	7
4	HTC Vive Pro Einzelteile . . . . .	8
5	Degrees-of-Freedom: Freiheit sich in verfügbaren Achsen zu bewegen oder drehen. Quelle: [Mü18b] . . . . .	9
6	Unity GUI Aufbau . . . . .	10
7	Wii Balance Board mit Degrees-of-Freedom und Sensoren . .	11
8	Microsoft Xbox One Controller mit Steuerung . . . . .	12
9	Gängige Techniken in Virtual Reality Anwendungen zum Bewältigen großer Distanzen. . . . .	13
10	Hardwarelösungen zum Simulieren von Fortbewegung . . .	14
11	Winterlandschaft und Schneepartikel im Snowboard Spiel. .	15
12	Links: Startraum mit den Bildschirmen für spielbaren Strecken, wechseln der Räume und die Punkteanzeigen; Rechts: Raum um die Steuerung zu wechseln und das virtuelle Snowboard auszuwählen. . . . .	16
13	Blickrichtung des Spielers entlang der Z-Achse (blau). Entspricht der Fahrtrichtung des Snowboard Spiel . . . . .	17
15	SVRG Strecke 01 Screenshot . . . . .	20
16	SVRG Strecke 02 Screenshot . . . . .	21
17	SVRG Strecke 03 Screenshot . . . . .	22
18	Fahrverhalten auf den 3 Fahrstrecken unter Verwendung des Wii Balance Boards . . . . .	27
19	Fahrverhalten auf den 3 Fahrstrecken unter Verwendung des Xbox Controllers . . . . .	27
20	Direkter Vergleich des Fahrverhaltens mit Berücksichtigung der Zeit. Fahrtbeginn ist im Graph unten. . . . .	28
21	Direkter Vergleich des Fahrverhaltens mit Berücksichtigung der Zeit. Fahrtbeginn ist im Graph unten. . . . .	33
22	Antworten zu den Eingaben des <i>WBB</i> und des Xbox Controllers (Rechts/Links, Bremsen, Beschleunigen . . . . .	34
23	Direkter Vergleich des Fahrverhaltens mit Berücksichtigung der Zeit. Fahrtbeginn ist im Graph unten. . . . .	35
24	<b>Aussagen 17.6+17.8 und 18.5+18.7</b> realistische Steuerungsart	36
25	<b>Aussagen 17.6+17.8 und 18.5+18.7</b> realistische Steuerungsart	36
26	Zustimmung zur Aussage "Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden." Links weibliche Teilnehmer, rechts männliche Teilnehmer. . . . .	37

27	16.3: Beim Wechseln der Level ist mir schwindelig geworden. 16.4: Beim Wechseln der Level habe ich die Orientierung verloren. 19.2: Mir ist im Laufe des Spiels unwohl geworden. 19.4: Ich habe manchmal die Orientierung verloren.	38
28	HTC Vive und Wii Balance Board . . . . .	39
29	Männliche und weibliche Teilnehmer nach Hintergrund Informatik . . . . .	45
30	Virtual Reality schon Mal benutzt . . . . .	45
31	Computer-/Videospiele . . . . .	46
32	Wii Balance Board Nutzer . . . . .	46
33	Teilnehmer nach Alter und Geschlecht . . . . .	46
34	Sportlich Aktive Teilnehmer . . . . .	47
35	Teilnehmer nach Sportarten: Ski, Snowboard, Skateboard, Surfen . . . . .	47
36	Teilnehmer nach Stunden mit Videospiele . . . . .	47
37	Teilnehmer nach Stunden mit Videospiele Gruppirt . . . . .	48
38	Umfrageergebnisse zu den Menü Räumen (Block 16) . . . . .	48
39	Umfrageergebnisse zu der Steuerung mit dem Wii Balance Board (Block 17) . . . . .	48
40	Umfrageergebnisse zu der Steuerung mit dem Xbox Controller (Block 18) . . . . .	49
41	Umfrageergebnisse zum Spiel (Block 19) . . . . .	49
42	Umfrageergebnisse zur 1. Strecke (Block 20) . . . . .	49
43	Umfrageergebnisse zur 2. Strecke (Block 21) . . . . .	49
44	Weitere Umfrageergebnisse zur 2. Strecke (Block 21) . . . . .	50
45	Umfrageergebnisse zur 3. Strecke (Block 22) . . . . .	50
46	Weitere Umfrageergebnisse zur 3. Strecke (Block 22) . . . . .	50
47	Umfrageergebnisse direkter Vergleich zwischen Wii Balance Board und Xbox Controller (Gruppe A) . . . . .	51
48	Umfrageergebnisse direkter Vergleich zwischen Wii Balance Board und Xbox Controller (Gruppe B) . . . . .	51
49	Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 1 kategorisiert nach SStunden mit Videospiele" . . . . .	52
50	Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 2, kategorisiert nach SStunden mit Videospiele" . . . . .	52
51	Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 3, kategorisiert nach SStunden mit Videospiele" . . . . .	52
52	Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 1, kategorisiert nach Ssportlich aktiv" . . . . .	53
53	Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 2, kategorisiert nach Ssportlich aktiv" . . . . .	53
54	Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 3, kategorisiert nach Ssportlich aktiv" . . . . .	53

## Literatur

- [AB14] AVILA, Lisa ; BAILEY, Mike: Virtual Reality for the Masses. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 34 (2014), S. 103–104. <http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2014.103>. – DOI 10.1109/MCG.2014.103
- [BC03] BURDEA, Grigore C. ; COIFFET, Philippe: *Virtual Reality Technology, Second Edition with CD-ROM*. Wiley-IEEE Press, 2003. – 267–270 S. <https://www.amazon.com/Virtual-Reality-Technology-Second-CD-ROM/dp/0471360899?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0471360899>. – ISBN 9780471360896
- [Cle19] CLEANPNG@KOVSU: *Microsoft Xbox One Controller*. <https://www.cleanpng.com/png-xbox-one-controller-xbox-360-controller-black-game-2836455/>. Version: 2019
- [HCO17] HAMENT, Blake ; CATER, Alex ; OH, Paul Y.: Coupling virtual reality and motion platforms for snowboard training. In: *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2017* (2017), S. 556–560. <http://dx.doi.org/10.1109/URAI.2017.7992668>. – DOI 10.1109/URAI.2017.7992668. ISBN 9781509030552
- [HZMR18] HUTTON, Courtney ; ZICCARDI, Shelby ; MEDINA, Julio ; ROSENBERG, Evan S.: Please Don ' t Puke : Early Detection of Severe Motion Sickness in VR. (2018), S. 579–580. <http://dx.doi.org/10.1109/VR.2018.8446382>. – DOI 10.1109/VR.2018.8446382. ISBN 9781538633656
- [iFi19] IFIXIT: *HTC Vive parts*. <https://d3nevzfk7ii3be.cloudfront.net/igi/KQEufvFImKZ5shZo.full>. Version: 2019
- [LWX<sup>+</sup>18] LANG, Yining ; WEI, Liang ; XU, Fang ; ZHAO, Yibiao ; YU, Lap F.: Synthesizing Personalized Training Programs for Improving Driving Habits via Virtual Reality. In: *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings* (2018), S. 297–304. <http://dx.doi.org/10.1109/VR.2018.8448290>. – DOI 10.1109/VR.2018.8448290. ISBN 9781538633656

- [Mü18a] MÜLLER, Professor S.: *Vorlesung Augmented Reality und Virtual Reality*. 2018. – Vorlesungsfolie 01einführung.pdf
- [Mü18b] MÜLLER, Professor S.: *Vorlesung Augmented Reality und Virtual Reality*. 2018. – Vorlesungsfolie 09interaktion.pdf
- [Rea75] REASON, J. T.: *Motion sickness*. Academic Press, 1975 <https://www.amazon.com/Motion-sickness-J-T-Reason/dp/0125840500?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbiori05-20&linkCode=sm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0125840500>. – ISBN 0125840500
- [Uni19] UNITY3D: *Unity User Manual (2019.2)*. <https://docs.unity3d.com/Manual/>. Version: Version 2019.2, 2019
- [Ven19] VENTUREBEAT: *HTC Vive room setup sketch*. <https://venturebeat.com/wp-content/uploads/2016/02/HTC-Vive.jpg>. Version: 2019
- [Wik19] WIKIPEDIA@DDDECO: *Wii Balance Board Top View*. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Wii\\_Balance\\_Board\\_transparent.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Wii_Balance_Board_transparent.png). Version: 2019
- [YML98] YATES, B. J. ; MILLER, A. D. ; LUCOT, J. B.: Physiological basis and pharmacology of motion sickness: An update. In: *Brain Research Bulletin* 47 (1998), Nr. 5, S. 395–406. [http://dx.doi.org/10.1016/S0361-9230\(98\)00092-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0361-9230(98)00092-6). – DOI 10.1016/S0361-9230(98)00092-6. – ISSN 03619230

## Anhang

18 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	2.83254	00:27	81%	1.1491	00:17	97%
Strecke 2	1.9367	00:36	90%	1.68772	00:23	91%
Strecke 3	3.72288	00:45	73%	1.15179	00:36	99%

**Tabelle 10:** Weibliche Teilnehmer der Evaluation

31 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	2.89628	00:24	80%	1.12774	00:16	97%
Strecke 2	1.89932	00:30	90%	1.73596	00:22	92%
Strecke 3	4.32178	00:41	66%	1.36402	00:36	97%

**Tabelle 11:** Männliche Teilnehmer der Evaluation

20 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	2.47958	00:26	83%	1.20338	00:16	98%
Strecke 2	1.98844	00:31	91%	1.85537	00:23	91%
Strecke 3	4.25007	00:44	69%	1.25426	00:37	97%

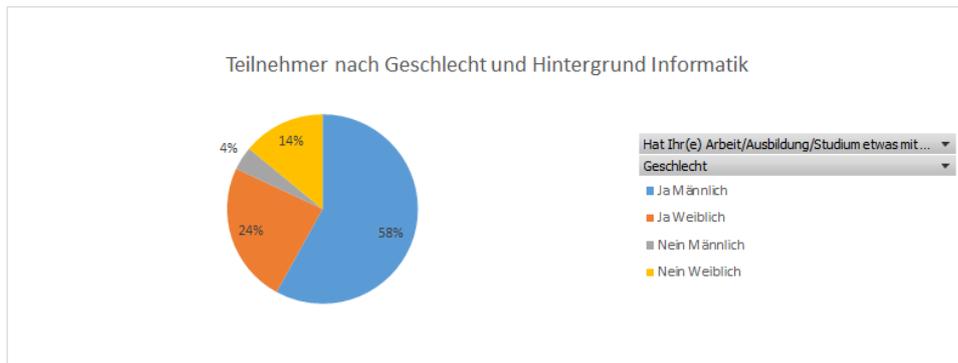
**Tabelle 12:** Teilnehmer im Alter zwischen 20 und 23

22 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	2.20979	00:23	86%	1.05681	00:16	98%
Strecke 2	1.64804	00:30	92%	1.53006	00:22	94%
Strecke 3	3.83409	00:42	70%	1.26478	00:35	99%

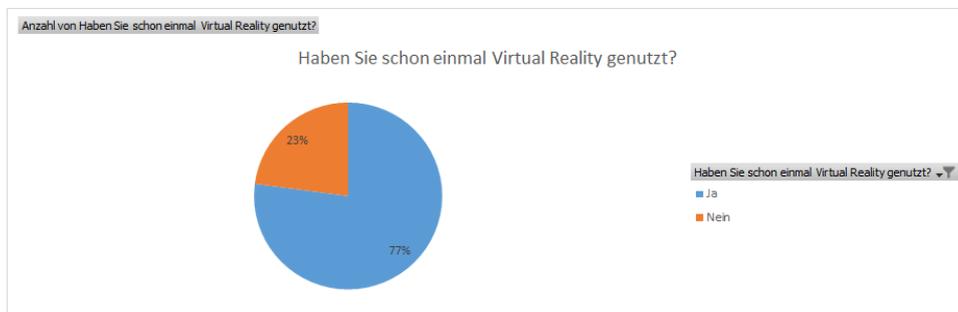
**Tabelle 13:** Teilnehmer im Alter zwischen 24 und 26

6 Teilnehmer	Wii Balance Board			Xbox Controller		
	Abstand	Zeit	Quote	Abstand	Zeit	Quote
Strecke 1	4.01613	00:25	71%	1.11872	00:17	96%
Strecke 2	2.05983	00:34	88%	1.71098	00:23	90%
Strecke 3	4.15387	00:42	67%	1.34831	00:36	98%

**Tabelle 14:** Teilnehmer im Alter zwischen 27 und 30



**Abbildung 29:** Männliche und weibliche Teilnehmer nach Hintergrund Informatik: 62% männlich, 38% weiblich. 82% Informatik, 18% nicht



**Abbildung 30:** Virtual Reality schon Mal benutzt: 77% Ja; 23% Nein



Abbildung 31: Computer-/Videospiele: 84% Ja, 16% Nein

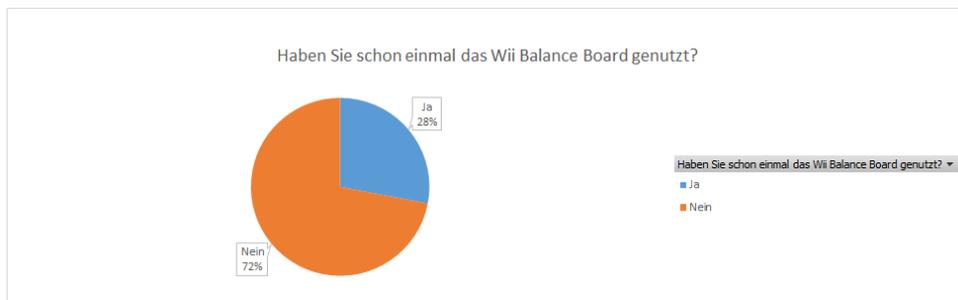


Abbildung 32: Wii Balance Board Nutzer: 28% Ja, 72% Nein

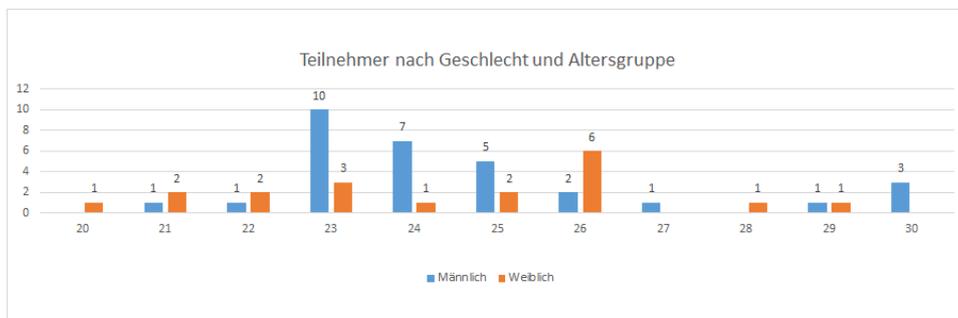


Abbildung 33: Teilnehmer nach Alter und Geschlecht: Teilnehmer zwischen 20 und 30 Jahren. Blau: Männlich, Orange: Weiblich

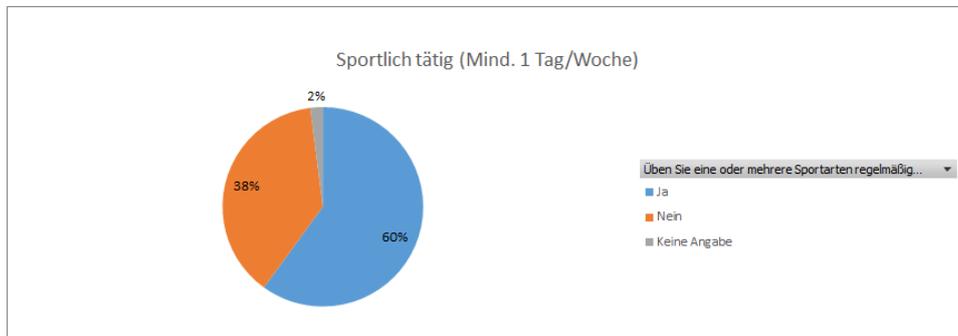


Abbildung 34: Sportlich Aktive Teilnehmer: 60% Nein, 38% Ja, 2% Enthalten

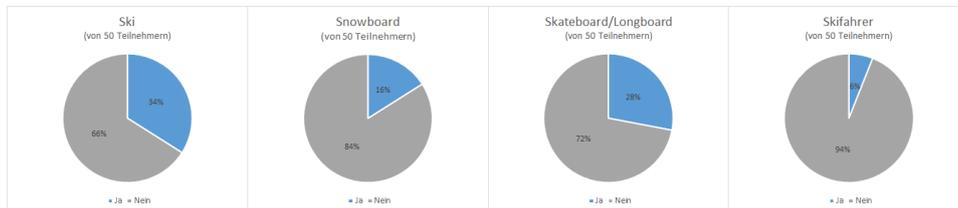


Abbildung 35: Teilnehmer nach Sportarten (Ja - Nein): Ski, Snowboard, Skateboard, Surfen: 17 - 33; Snowboard: 8 - 42; Skateboard: 14 - 36; Surfen: 3 - 47

### Pro Woche verbrachte Stunden mit Videospiele

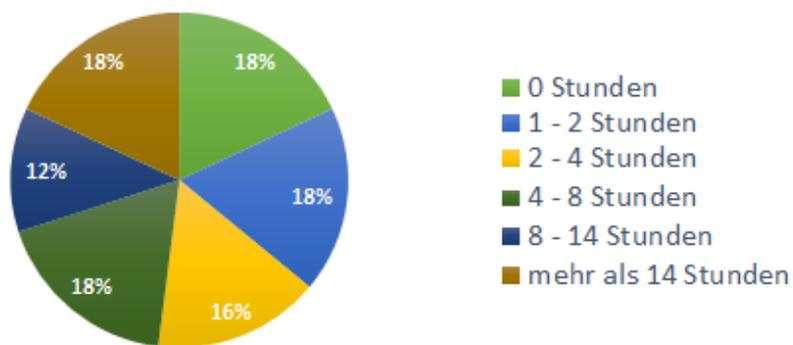


Abbildung 36: Teilnehmer nach Stunden mit Videospiele: 0; 1-2; 2-4; 4-8; 8-14; 14+

## Stunden mit Videospiele verbracht pro Woche (Gruppiert)



Abbildung 37: Teilnehmer nach Stunden mit Videospiele: 0 Stunden; 2-8 Stunden; 8+ Stunden

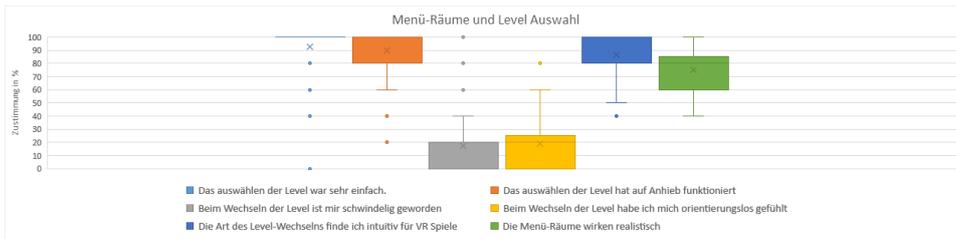


Abbildung 38: Umfrageergebnisse zu den Menü Räumen (Block 16)

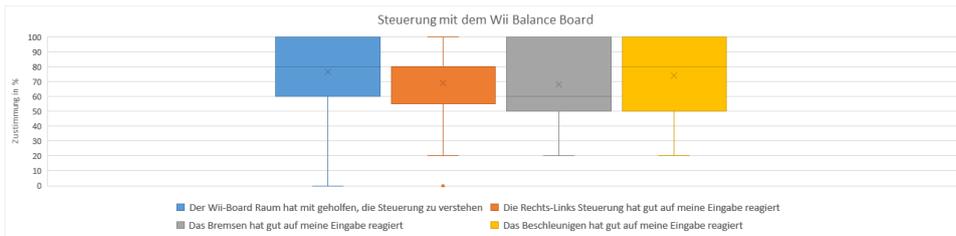
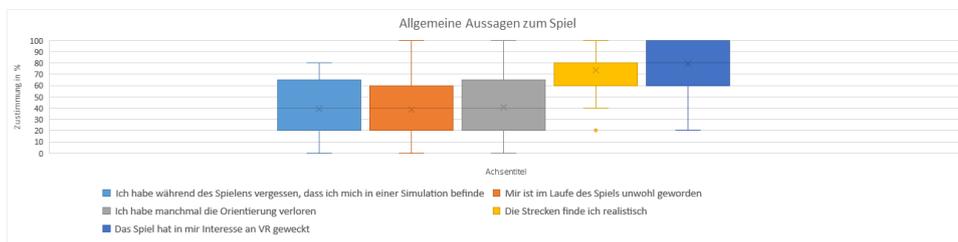


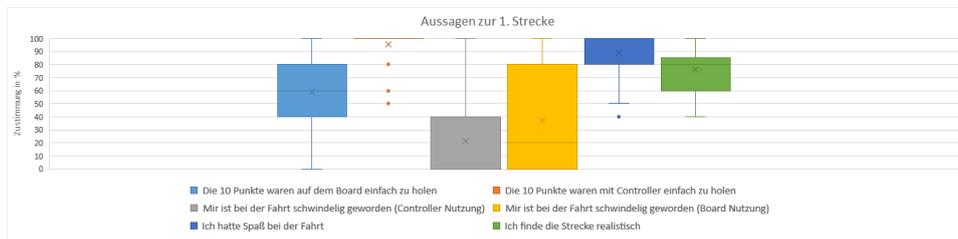
Abbildung 39: Umfrageergebnisse zu der Steuerung mit dem Wii Balance Board (Block 17)



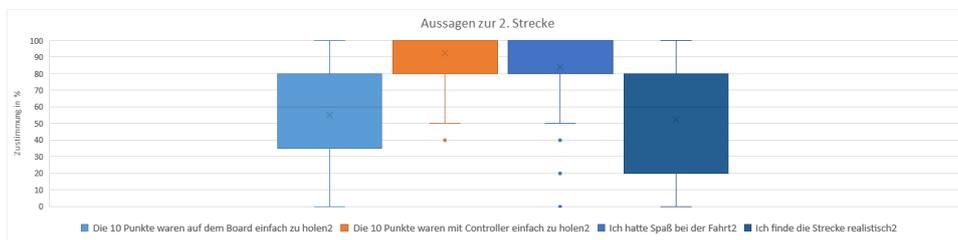
**Abbildung 40:** Umfrageergebnisse zu der Steuerung mit dem Xbox Controller (Block 18)



**Abbildung 41:** Umfrageergebnisse zum Spiel (Block 19)



**Abbildung 42:** Umfrageergebnisse zur 1. Strecke (Block 20)



**Abbildung 43:** Umfrageergebnisse zur 2. Strecke (Block 21)

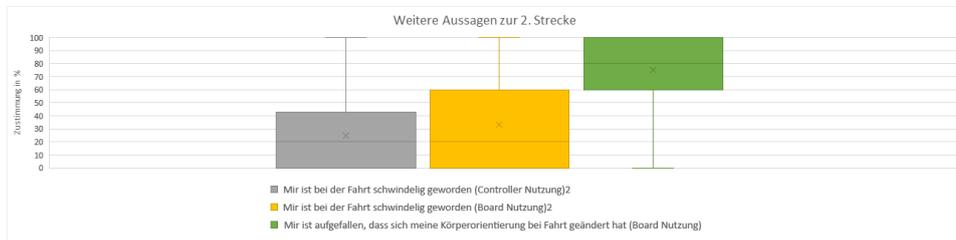


Abbildung 44: Weitere Umfrageergebnisse zur 2. Strecke (Block 21)

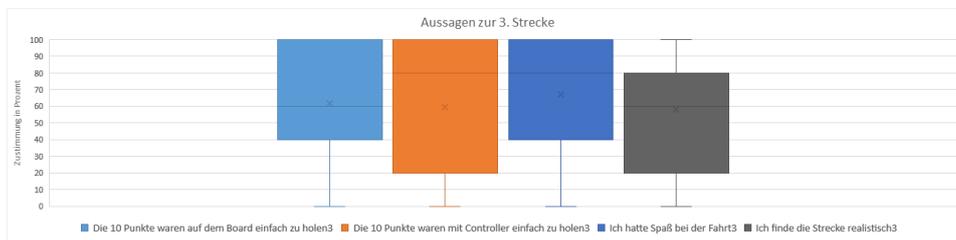


Abbildung 45: Umfrageergebnisse zur 3. Strecke (Block 22)

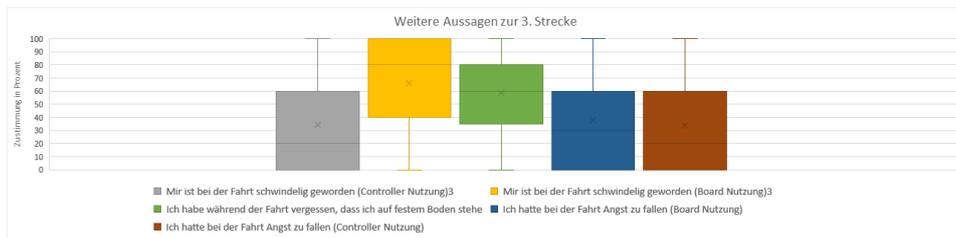
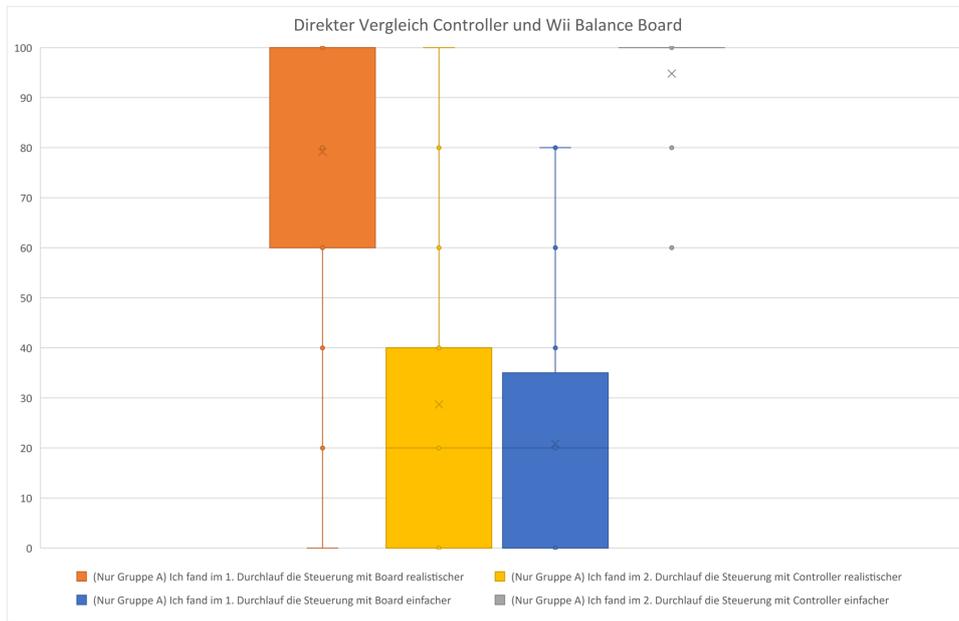
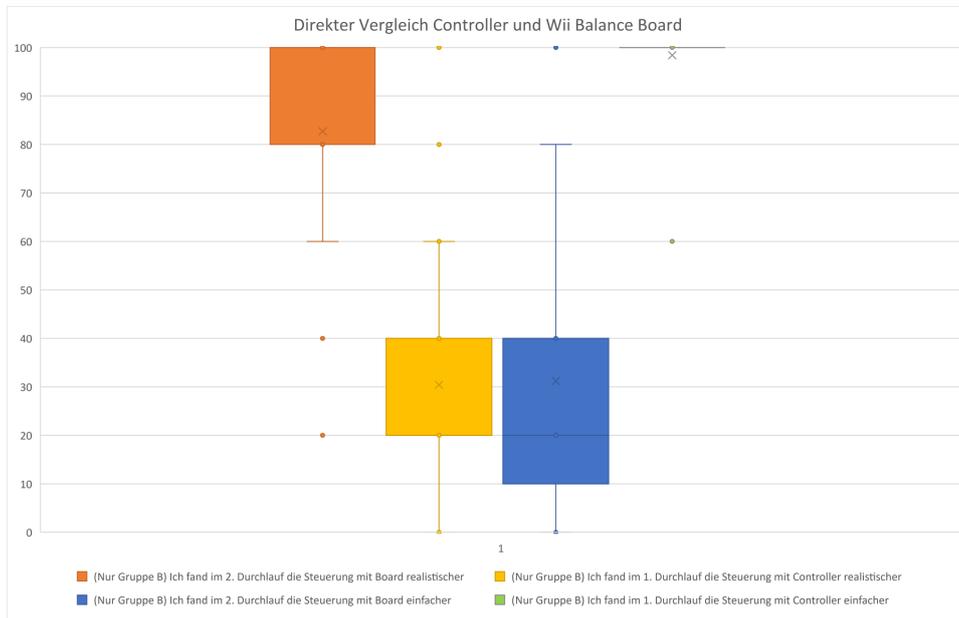


Abbildung 46: Weitere Umfrageergebnisse zur 3. Strecke (Block 22)



**Abbildung 47:** Umfrageergebnisse direkter Vergleich zwischen Wii Balance Board und Xbox Controller (Gruppe A)



**Abbildung 48:** Umfrageergebnisse direkter Vergleich zwischen Wii Balance Board und Xbox Controller (Gruppe B)

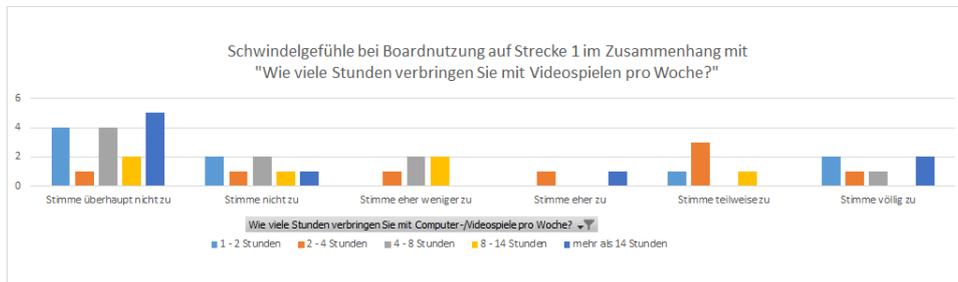


Abbildung 49: Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 1 kategorisiert nach SStunden mit Videospiele"

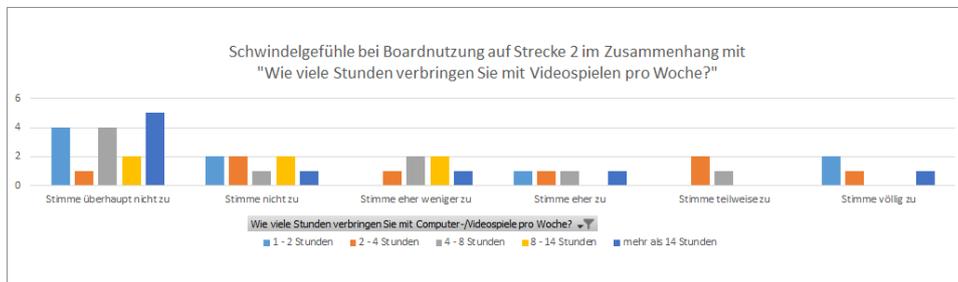


Abbildung 50: Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 2, kategorisiert nach SStunden mit Videospiele"

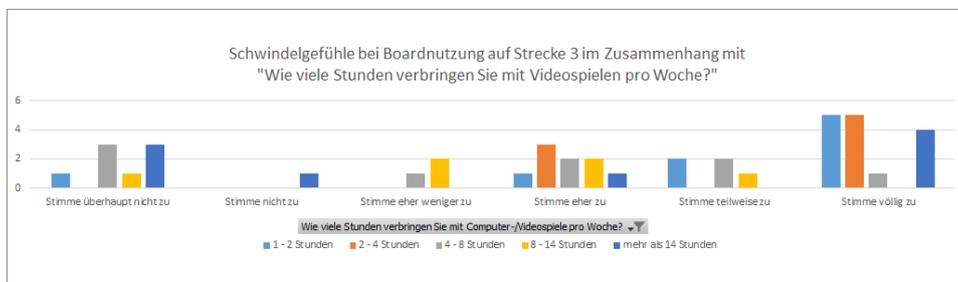
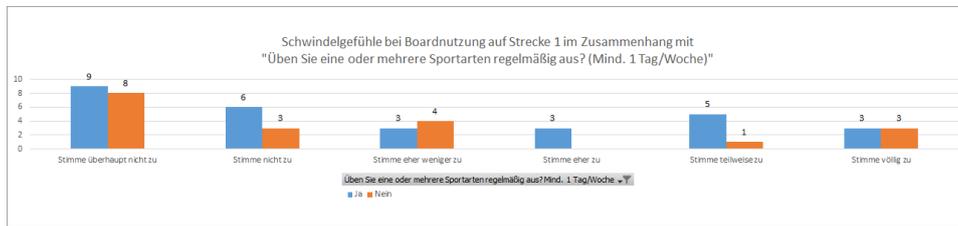
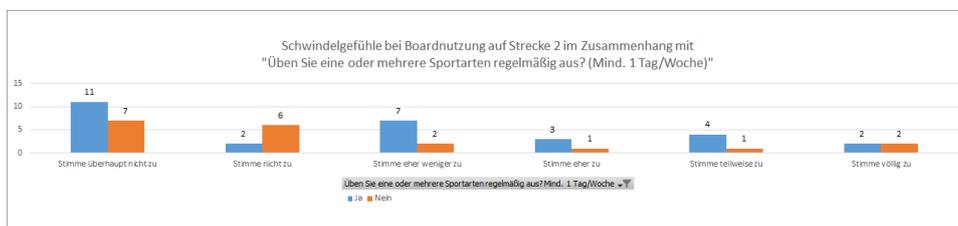


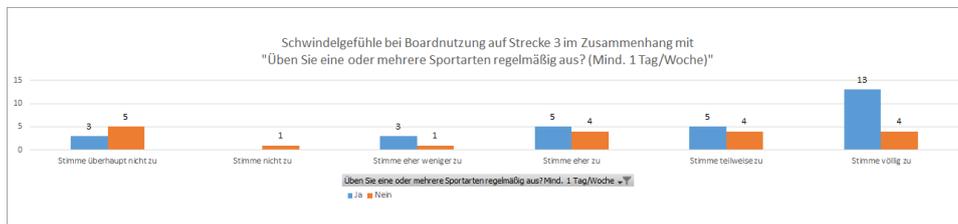
Abbildung 51: Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 3, kategorisiert nach SStunden mit Videospiele"



**Abbildung 52:** Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 1, kategorisiert nach SSportlich aktiv"



**Abbildung 53:** Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 2, kategorisiert nach SSportlich aktiv"



**Abbildung 54:** Schwindelgefühle bei den Probanden auf Strecke 3, kategorisiert nach SSportlich aktiv"

## **Aussagen über das Spiel - schriftlich festgehalten aus der Umfrage**

- „An sich eine ziemlich coole Idee, auch mit dem Wii Board. Hat mir sehr viel Spaß gemacht! :)“
- „Auf der ersten Strecken einmal fast Gleichgewicht verloren, mit etwas Übung (mehr als nur den Trainingsraum) jedoch gut machbar“
  - „Die Boardauswahl ist eine ganz coole Idee“
  - „Die Steuerung auf dem Board war für mich deutlich schwieriger, weil ich Angst hatte durch die Gewichtsverlagerung auf dem Board umzukippen. Mit einem größeren Board wäre das wahrscheinlich nicht der Fall gewesen.“
  - „Echt lustiges Spiel!“
  - „es war eine neue, interessante erfahrung für mich“
- „Eventuell kleine Einführung, wie das Board am besten zu steuern ist (eher mit den Füßen "wippen", als mit dem Körper "mitzuschwenken")“
  - „Hat Spaß gemacht, vielen Dank.“
  - „Ich fand es zunächst komisch mich an die Boardsteuerung zu gewöhnen“
- „Ich habe den ersten Durchgang mit dem Board gemacht, wobei mir bei der 3. Strecke leider schlecht geworden ist beim Abheben über die Rampe.“
- „Ich habe während der Fahrt vergessen, dass ich auf festem Boden stehe - Bei dem Board ja, bei der Controller Nutzung nicht. Ein paar mal fast vom Board gekippt :D“
  - „Lenkung war mir zu zäh, links/rechts sollte im Gegensatz zu Vorwärtsgeschwindigkeit nicht so träge beschleunigen“
- „Man hatte beim springen in Level 3 ein kribbeln im Bauch und wirklich das Gefühl, dass man abheben würde.“
  - „Mit dem Board war es schwieriger aber hat auch mehr Spaß gemacht.“
- „nices game, nur dass mir bei dem Board etwas schwindelig wurde am Ende. Nach etwa 7/8 Minuten.“
- „Während der Nutzung des Boards hatte ich sehr häufig das Gefühl, ich würde beim Balancieren nach rechts und links fallen; die Zeit in der Luft war insbesondere auf dem Board fast schon unangenehm“
- „Witzig! Da ich goofy fahre (rechter Fuß vorne), war das Menu schwierig zu steuern für mich. Eine Option um die Auswahlmöglichkeiten in den Räumen auf die linke Seite zu bringen wäre gut.“

(Auszug aus dem Fragebogen der Evaluation)

# Virtual Reality Snowboard Fahrt

Bachelorarbeit Hussam Itani, Simulation einer Snowboard Abfahrt in Virtual Reality mit verschiedenen Steuerelementen Fragen zur Person. (15 Fragen)

1. Geschlecht

- Ja       Nein       Keine Angabe

2. Alter

3. Hat Ihr(e) Arbeit/Ausbildung/Studium etwas mit Informatik zu tun?

- Ja       Nein

4. Ist Ihnen Virtual Reality bekannt? Gelesen, Gehört, Gesehen

- Ja       Nein

5. Haben Sie schon einmal Virtual Reality genutzt?

- Ja       Nein

6. In welcher Form haben Sie Virtual Reality genutzt?

- Spiele/Anwendungen (als Anwender)       Nie benutzt  
 Video/Filme       Programmierer/Entwickelt

7. Wie schätzt du deine Erfahrungen mit Virtual Reality ein?

- |                   | Nie genutzt           | Ziemlich unerfahren   | Gelegenheits-Anwender | Erfahrener Spieler    | Erfahrener Entwickler |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ihre Einschätzung | <input type="radio"/> |

8.Üben Sie eine oder mehrere Sportarten regelmäßig aus? Mind. 1 Tag/Woche

- Ja       Nein       Keine Angabe

9.Was für Sportarten üben Sie regelmäßig aus?

10.Welche dieser Sportarten haben Sie schon einmal ausgeübt oder tätigen Sie noch aktiv aus?

- Snowboard       Ski       Skateboard/Longboard       Surfen       Keine

11.Wie oft üben Sie die oben genannten Sportarten aus?

- Nie       1-2 Mal im Jahr       Alle 3-4 Monate  
 1 Mal pro Monat       1 Mal pro Woche       Mehrmals pro Woche

12.Spielen Sie Computer-/Videospiele?

- Ja       Nein

13.Wie viele Stunden verbringen Sie mit Computer-/Videospiele pro Woche?

- 0 Stunden       1-2 Stunden       2-4 Stunden  
 4-8 Stunden       8-14 Stunden       Mehr als 14 Stunden

14.Haben Sie schon einmal das Wii Balance Board genutzt?

- Ja       Nein

15. Bitte geben Sie das Pseudonym ein, das Sie für das Spiel verwenden.

*Die Fragen 16. – 22. werden mit Zustimmung beantwortet. Mögliche Antworten sind:  
„Stimme überhaupt nicht zu“, „Stimme nicht zu“, „Stimme eher weniger zu“, „Stimme eher zu“, „Stimme teilweise zu“, „Stimme völlig zu“, „Keine Angabe/ Weiss nicht“*

## 16. Menü-Räume und Level Auswahl

- 16.1 Das auswählen der Level war sehr einfach.
- 16.2 Das auswählen der Level hat auf Anhieb funktioniert
- 16.3 Beim Wechseln der Level ist mir schwindelig geworden
- 16.4 Beim Wechseln der Level habe ich mich orientierungslos gefühlt
- 16.5 Die Art des Level-Wechsels finde ich intuitiv für VR Spiele
- 16.6 Die Menü-Räume wirken realistisch

## 17. Steuerung mit dem Wii Balance Board

- 17.1 Der Wii-Board Raum hat mir geholfen, die Steuerung zu verstehen
- 17.2 Die Rechts-Links Steuerung hat gut auf meine Eingabe reagiert
- 17.3 Das Bremsen hat gut auf meine Eingabe reagiert
- 17.4 Das Beschleunigen hat gut auf meine Eingabe reagiert
- 17.5 (Nur Gruppe B) Ich fand im 2. Durchlauf die Steuerung mit Board einfacher
- 17.6 (Nur Gruppe B) Ich fand im 2. Durchlauf die Steuerung mit Board realistischer
- 17.7 (Nur Gruppe A) Ich fand im 1. Durchlauf die Steuerung mit Board einfacher
- 17.8 (Nur Gruppe A) Ich fand im 1. Durchlauf die Steuerung mit Board realistischer

## 18. Steuerung mit dem XBOX Controller

- 18.1 Die Rechts-Links Steuerung hat gut auf meine Eingabe reagiert
- 18.2 Das Bremsen hat gut auf meine Eingabe reagiert
- 18.3 Das Beschleunigen hat gut auf meine Eingabe reagiert
- 18.4 (Nur Gruppe B) Ich fand im 1. Durchlauf die Steuerung mit Controller einfacher
- 18.5 (Nur Gruppe B) Ich fand im 1. Durchlauf die Steuerung mit Controller realistischer
- 18.6 (Nur Gruppe A) Ich fand im 2. Durchlauf die Steuerung mit Controller einfacher
- 18.7 (Nur Gruppe A) Ich fand im 2. Durchlauf die Steuerung mit Controller realistischer

## 19. Allgemeine Aussagen zum Spiel

- 19.1 Ich habe während des Spielens vergessen, dass ich mich in einer Simulation befinde
- 19.2 Mir ist im Laufe des Spiels unwohl geworden
- 19.3 Ich habe manchmal die Orientierung verloren
- 19.4 Die Strecken finde ich realistisch
- 19.5 Das Spiel hat in mir Interesse an VR geweckt

## 20. Aussagen zur 1. Strecke

- 20.1 Die 10 Punkte waren auf dem Board einfach zu holen
- 20.2 Die 10 Punkte waren mit Controller einfach zu holen
- 20.3 Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden (Controller Nutzung)
- 20.4 Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden (Board Nutzung)
- 20.5 Ich hatte Spaß bei der Fahrt
- 20.6 Ich finde die Strecke realistisch

## 21. Aussagen zur 2. Strecke

- 21.1 Die 10 Punkte waren auf dem Board einfach zu holen
- 21.2 Die 10 Punkte waren mit Controller einfach zu holen
- 21.3 Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden (Controller Nutzung)
- 21.4 Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden (Board Nutzung)
- 21.5 Mir ist aufgefallen, dass sich meine Körperorientierung bei Fahrt geändert hat (Board Nutzung)
- 21.6 Ich finde die Strecke realistisch

## 22. Aussagen zur 3. Strecke

- 22.1 Die 10 Punkte waren auf dem Board einfach zu holen
- 22.2 Die 10 Punkte waren mit Controller einfach zu holen
- 22.3 Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden (Controller Nutzung)
- 22.4 Mir ist bei der Fahrt schwindelig geworden (Board Nutzung)
- 22.5 Ich hatte Spaß bei der Fahrt
- 22.6 Ich habe während der Fahrt vergessen, dass ich auf festem Boden stehe
- 22.7 Ich hatte bei der Fahrt Angst zu fallen (Board Nutzung)
- 22.8 Ich hatte bei der Fahrt Angst zu fallen (Controller Nutzung)
- 22.9 Ich finde die Strecke realistisch

## Fehler, Bugs und ähnliches

*Falls es bei Ihnen zu Fehlern/Bugs gekommen ist, bitte beschreiben Sie diese hier.*

## Anmerkungen

*Falls Sie noch Anmerkungen zum Spiel haben oder Dinge die Ihnen an sich selbst während des Spielens aufgefallen sind, bitte notieren Sie diese hier.*