

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Informatik



Bachelorarbeit

Learning Hand Anatomy with „Sense of Embodiment“

Autor:

Aylin Albrecht

03. September 2019

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Preim

Institut für Simulation und Graphik

Jun.-Prof. Dr. Christian Hansen

Institut für Simulation und Graphik

Betreuer:

Dr.-Ing. Patrick Saalfeld

Institut für Simulation und Graphik

Albrecht, Aylin:

Learning Hand Anatomy with „Sense of Embodiment“

Bachelorarbeit, Otto-von-Guericke Universität

Magdeburg, 2019.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und dabei keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde bisher weder gesamt noch in Teilen einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Magdeburg, den 03.09.2019

Aylin Albrecht

Kurzfassung

In der folgenden Arbeit wird eine VR-Anwendung vorgestellt, in der Nutzer anatomische Hände durch ihre eigenen Bewegungen steuern. Es wird untersucht, ob bei der Nutzung dieser Anwendung Sense of Embodiment gegenüber diesen anatomischen Händen empfunden wird und inwiefern damit Studierende in der Anatomieausbildung unterstützt werden können. Der Prototyp wird dafür mithilfe der *HTC Vive* und einem *Leap Motion Controller* in *Unity* umgesetzt.

Der Prototyp wurde durch eine Nutzerstudie und einem Interview mit einem Anatom evaluiert und lässt darauf schließen, dass VR-Anwendungen und SoE, worauf in dieser Arbeit der Fokus liegt, Potenzial als ergänzende Lernmethode in der Anatomieausbildung bieten. Um den tatsächlichen Mehrwert während des Lernprozesses in der Anatomieausbildung festzustellen, bedarf es allerdings weiterer Studien.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ii
Tabellenverzeichnis	iii
1. Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	2
2. Grundlagen	3
2.1 Anatomieausbildung.....	3
2.1.1 Computergestützte 3D-Lernanwendungen.....	4
2.1.2 Handanatomie.....	5
2.2 Virtuelle Realität.....	6
2.3 Sense of Embodiment.....	7
3. Anforderungsanalyse	9
3.1 Zielsetzung.....	9
3.2 Handmodell.....	10
3.2.1 Funktionale Anforderungen an das Handmodell.....	10
3.2.2 Nicht-funktionale Anforderungen an das Handmodell.....	11
3.3 Software.....	11
3.3.1 Funktionale Anforderungen an die Software.....	11
3.3.2 Nicht-funktionale Anforderungen an die Software.....	13
3.4 Überblick.....	14
4. Konzeption	15
4.1 Grundlegende Designentscheidungen der Anwendung.....	15
4.2 Handmodell.....	16
4.3 Benutzeroberfläche.....	18
4.4 Funktionen.....	19
4.4.1 Strukturen/Label ein- und ausblenden.....	19
4.4.2 Kopie der Hand.....	21
4.4.3 Querschnittsansicht.....	22
5. Implementierung	25

5.1 Technik.....	25
5.2 Hand Modell.....	27
5.3 Umgebung.....	28
5.4 Leap Motion hand tracking.....	28
5.5 Interface und Interaktion.....	29
6. Evaluierung.....	33
6.1 Aufbau der Nutzerstudie.....	33
6.2 Durchführung der Nutzerstudie.....	35
6.3 Ergebnisse.....	36
6.4 Erfüllung der Anforderungen und Verbesserungsvorschläge.....	40
7. Zusammenfassung.....	43
7.1 Diskussion.....	43
7.2 Ausblick.....	44
Literaturverzeichnis.....	xliv
Anhang.....	xlvi

Abkürzungsverzeichnis

HMD	Head-Mounted-Display
SoE	Sense of Embodiment
VR	Virtual Reality

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Screenshot der Benutzeroberfläche von VOXEL-MAN 3D-Navigator.....	4
Abbildung 2.2: Nutzer lernt anatomische Strukturen durch Lösen eines 3D Puzzles.....	5
Abbildung 3.1: Darstellung der funktionalen Anforderungen an die Software in einem Anwendungsfalldiagramm.....	13
Abbildung 4.1: Skizze der Interaktionselemente an der linken Hand, wenn diese mit der Handinnenfläche nach oben zeigt.....	18
Abbildung 4.2: Skizze zur Anordnung der Buttons und Slider im Menü zur Strukturübersicht.....	20
Abbildung 4.3: Skizze zur Anordnung der Handkopie und der Buttons zu den Standardansichten. .	22
Abbildung 4.4: Skizze der Schnittebene, die als Verlängerung der rechten Hand angebracht ist.....	23
Abbildung 5.1: das für den Prototyp verwendete Handmodell nach Bearbeitung.....	28
Abbildung 5.2: Ansicht auf das Würfelm Menü bei nach oben gedrehter Handfläche.....	29
Abbildung 5.3: geöffnete Kopie der Hand in der Seitenansicht.....	30
Abbildung 5.4: Screenshot der Strukturübersicht.....	30
Abbildung 5.5: Screenshot der eingeblendeten Labels der Knochen.....	31
Abbildung 6.1: Vergleich von Adjektiven, Akzeptanz und Schulnoten in Relation zum SUS-Score	37
Abbildung 6.2: SUS-Scores, die von den Testpersonen vergeben wurden.....	38
Abbildung 6.3: durchschnittliche Werte der einzelnen Präsenzfaktoren.....	39
Abbildung 6.4: durchschnittliche Werte zum Empfinden der SoE-Aspekte.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die ermittelten Anforderungen an den Prototyp.....	14
Tabelle 2: Gegenüberstellung ausgewählter Handmodelle.....	17

1. Einleitung

1.1 Motivation

In der medizinischen Ausbildung müssen Studierende sich während ihres Studiums mit der menschlichen Anatomie vertraut machen, um die Strukturen des menschlichen Körpers erkennen zu können. Dabei sollen die Studierenden ein eingehendes Verständnis der Beschaffenheit, Lage und räumlichen Beziehungen dieser Strukturen erhalten [1]. Essentiell für das Studium der Anatomie ist außerdem das Meistern der anatomischen Terminologie [2]. Traditionelle Lehrmethoden umfassen Vorlesungen, das Lernen aus Lehrbüchern mit zweidimensionalen Abbildungen und das Sezieren von Leichen [1]. Zweidimensionale Abbildungen in Anatomieatlanten können allerdings nicht immer ausreichende Informationen zur Beschaffenheit und der dreidimensionalen Lage der Strukturen bieten. Wegen der fehlenden Dimension müssen diese mental visualisiert werden. Die Leichensektion bietet Studierenden zwar eine realitätsnahe Vorstellung anatomischer Strukturen, deren Bereitstellung ist allerdings mit hohen Kosten verbunden und nur für begrenzte Zeit möglich [1].

Hinsichtlich dieser Nachteile bieten interaktive 3D-Visualisierungen ein großes Potenzial, traditionelle Lernmethoden zu ergänzen [1]. Ein Interface, welches ermöglicht die motorischen Bewegungen des Nutzers exakt auf das zu untersuchende 3D-Modell zu übertragen, kann den Nutzer dabei unterstützen, ein mentales Modell des Objekts zu erstellen [3]. Bei der Betrachtung von menschlichen Körperteilen wie der Hand stellt sich die Frage: Welche Bewegung wäre natürlicher um ein Handmodell beispielsweise zu rotieren als tatsächlich die eigene Hand zu drehen?

Bei Betrachtung der eigenen Körperteile ist im Normalfall allerdings nur die Haut direkt sichtbar, was durch eine VR-Anwendung umgangen werden kann. Diese eignet sich daher besonders zur Umsetzung eines solchen Interface. Durch den technologischen Fortschritt der letzten Jahre im Gebiet der virtuellen Realität erfreut sich diese Technologie immer größerer Popularität und deren Potenzial in der Ausbildung und als Lehrmethode wird zunehmend erforscht.

Die Steuerung eines Avatars in einer VR-Umgebung kann dazu führen, die künstlichen Körperteile als die eigenen wahrzunehmen, auch wenn dieser Avatar nicht menschlicher Natur ist [4]. Dies legt nahe, dass auch Handmodelle, welche anstelle von Haut anatomische Strukturen wie Knochen und Muskeln zeigen, ebenfalls diese Illusion hervorrufen können und somit ein Interface mit den oben erwähnten Kriterien erstellt werden kann, bei dem der Nutzer scheinbar direkt seine eigenen Körperteile steuert und dabei untersucht.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

In dieser Arbeit wird untersucht, ob in einer interaktiven, virtuellen Lernumgebung, in der Studierende Anatomiestrukturen durch eigene Körperbewegungen steuern, Sense of Embodiment (SoE) gegenüber den virtuellen Händen empfunden wird. Nach einer Anforderungsanalyse wird hierfür ein Prototyp konzipiert und implementiert, dessen Lernszenario das Verinnerlichen der Handanatomie darstellt. In diesem Prototyp werden anatomische Handmodelle durch die Handbewegungen des Nutzers gesteuert. Der Prototyp soll Untersuchungen zum Thema SoE als Unterstützung in der Anatomieausbildung ermöglichen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach der Einführung in das Thema in Kapitel 1 führt Kapitel 2 in das benötigte Hintergrundwissen und dessen Grundlagen ein und erläutert für diese Arbeit relevante Begriffe wie virtuelle Realität und SoE. Außerdem werden hier verwandte Arbeiten und bereits bestehende, ähnliche Lernsysteme vorgestellt. In Kapitel 3 werden die Anforderungen an den Prototyp analysiert und erläutert, auf denen das in Kapitel 4 erarbeitete Konzept zur Umsetzung des Prototypen basiert. Hier werden verschiedene Lösungsvorschläge zu den einzelnen Forderungen vorgestellt. In Kapitel 5 folgt eine Beschreibung der Implementierung des Prototypen, welcher daraufhin in Kapitel 6 hinsichtlich der in der Arbeit festgelegten Ziele evaluiert wird. Zum Schluss wird in Kapitel 7 die Arbeit zusammengefasst und weiterführende Fragestellungen für zukünftige Projekte diskutiert.

2. Grundlagen

In folgendem Kapitel wird das für diese Arbeit nötige Hintergrundwissen vermittelt und relevante Begriffe erklärt. Des Weiteren werden verwandte Arbeiten erläutert und verschiedene Systeme zum Erlernen der Anatomie vorgestellt.

2.1 Anatomieausbildung

Ein Ziel der medizinischen Ausbildung ist es, Patienten mit minimalem Risiko und maximalem Nutzen zu behandeln. Da diese Patienten dreidimensionaler Natur sind, involviert die Ausbildung das Lernen von dreidimensionalen Informationen und deren Anwendung. Den Grundstein für dieses Wissen bildet die Anatomieausbildung [5]. Studierende müssen sich während ihres Studiums mit der menschlichen Anatomie vertraut machen, um die Strukturen des menschlichen Körpers erkennen zu können. Dazu gehört sowohl ein eingehendes Verständnis der Beschaffenheit, Lage, Form, Größe, Orientierung und der räumlichen Beziehungen dieser Strukturen, als auch deren Terminologie und Funktionen [1, 6]. Die Anatomie umfasst unter anderem folgende Teilgebiete:

- **makroskopische Anatomie:** befasst sich mit der Struktur und Lage anatomischer Strukturen, die mit dem menschlichen Auge ohne Hilfsmittel zu erkennen sind [1, 6]
- **mikroskopische Anatomie:** das Studium der Anatomie mit Hilfe von Mikroskopen, die die Untersuchung von Zellen und Geweben ermöglichen [1, 6]

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der makroskopischen Anatomie. Zu unterscheiden ist außerdem noch die regionale und systematische Herangehensweise. Bei der regionalen Anatomie werden alle Strukturen in einem bestimmten Bereich des Körpers, wie zum Beispiel der Hand, betrachtet. Die systematische Anatomie betrachtet jedes Organsystem einzeln am ganzen Körper [1].

Traditionelle Lehrmethoden umfassen Vorlesungen, das Lernen aus Lehrbüchern und das Sezieren von Leichen [1]. Üblicherweise kommen zwei Arten von Lehrbüchern zum Einsatz. Zum einen textbasierte Bücher, in denen die Funktionen der anatomischen Strukturen beschrieben sind, und zum anderen Anatomieatlanten. Diese beinhalten ausschließlich zweidimensionale Abbildungen der Strukturen, sowie deren Begriffe in Form von Labels und

kurzen Beschriftungen. Zweidimensionale Abbildungen in Anatomieatlanten können allerdings nicht immer ausreichende Informationen zur Beschaffenheit und der dreidimensionalen Lage, Dimension, Form und Orientierung der Strukturen bieten. Wegen der fehlenden Dimension müssen diese mental visualisiert werden. Die Leichensektion bietet Studierenden zwar eine realitätsnahe und räumliche Vorstellung anatomischer Strukturen, deren Bereitstellung ist allerdings mit hohen Kosten verbunden und nur für begrenzte Zeit möglich [1].

2.1.1 Computergestützte 3D-Lernanwendungen

Hinsichtlich einiger Nachteile von traditionellen Lernmethoden in der Anatomie bieten interaktive 3D-Visualisierungen ein großes Potenzial, diese zu ergänzen [1]. Im Vergleich zu diesen traditionellen Methoden bieten Computeranwendungen mit 3D-Modellen Vorteile in Bezug auf Zugänglichkeit, Sicherheit und Kosten. Anwendungen mit dreidimensionalen Abbildungen finden auch bei Studierenden großen Zuspruch, die diese als sinnvolle Ergänzung zu den herkömmlichen Lernmethoden ansehen [1]. Infolgedessen existieren bereits einige Lernanwendungen mit 3D-Modellen anatomischer Strukturen, und durch die technologischen Fortschritte der letzten Jahre auch innerhalb einer immersiven VR-Umgebung. Einige wenige Beispiele werden im folgenden kurz erläutert.

Eine der wegweisenden und bekanntesten Anwendungen in der computergestützten Anatomieausbildung stellt der *VOXEL-MAN* [7] dar, dessen verwendeten 3D-Modelle auf dem *Visible Human*¹ Datensatz basieren. In einer interaktiven 3D-Umgebung kann der Nutzer die anatomischen Strukturen von allen Winkeln untersuchen und erhält so eine räumliche Vorstellung der Strukturen. Außerdem können Strukturen ähnlich einer Präparation entfernt werden. Die Begriffe der Strukturen werden über Labels vermittelt, zusätzlich gibt es zu jeder Struktur detaillierte Informationen.

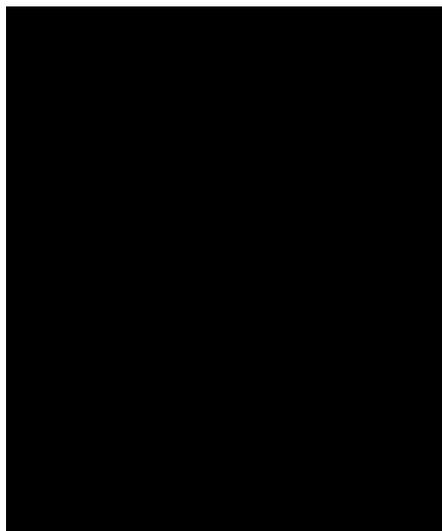


Abbildung 2.1: Screenshot der Benutzeroberfläche von VOXEL-MAN 3D-Navigator

1 https://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html (30.08.2019)

Neben der Atlas Metapher, wie sie im *VOXEL-MAN* verwendet wird, finden sich auch Puzzle Metaphern in Lernanwendungen zur Anatomieausbildung wieder, wie beispielsweise in der von Pohlandt et al. [8] vorgestellten VR-Anwendung. In dieser lösen Nutzer dreidimensionale Puzzle anatomischer Strukturen in einer immersiven VR-Umgebung, wobei sowohl räumliches Verständnis der Strukturen als auch deren Terminologie vermittelt wird.

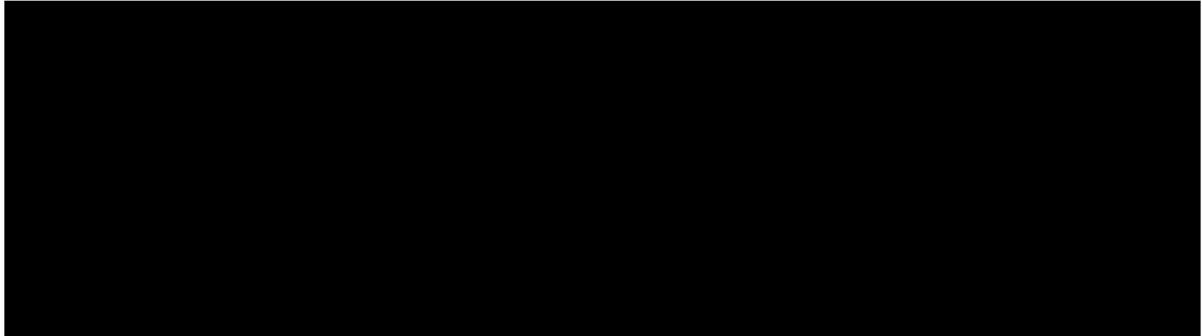


Abbildung 2.2: Nutzer lernt anatomische Strukturen durch Lösen eines 3D Puzzles [8]

Eine weitere immersive VR-Lernanwendung bietet *3D Organon*.² In dieser Anwendung wird durch die vorhandenen interaktiven 3D-Modelle ebenfalls ein räumliches Verständnis der anatomischen Strukturen vermittelt und durch integrierte Animationen kann das Zusammenspiel verschiedener Strukturen beobachtet werden. Die Anwendung enthält außerdem die Terminologie und weitere beschreibende Texte zu den Strukturen. *3D Organon* bietet zusätzlich auch die Möglichkeit, mit mehreren Nutzern gleichzeitig einer Sitzung beizutreten.

2.1.2 Handanatomie

Das zu untersuchende Lernszenario in dieser Arbeit ist das Verinnerlichen der Handanatomie, daher wird auf die Anatomie der Hand in diesem Abschnitt kurz eingegangen. Wegen ihrer Komplexität kann hier allerdings nur grob auf deren Struktur eingegangen werden.

Die Hauptaufgaben der Hand bestehen einerseits in der Nutzung als Werkzeug und andererseits in ihrer Verwendung als Wahrnehmungsorgan [9]. Mit einer Vielzahl von Knochen und 19 Freiheitsgraden und dem gegenüberliegenden Daumen bildet sie ein komplexes Greiforgan [10]. Dadurch werden eine Vielzahl von Bewegungskombinationen ermöglicht, wobei gleichzeitig Kraft, Geschwindigkeit und Leichtigkeit angepasst werden können [10], wodurch sowohl festes Zupacken als auch präzise und exakt gesteuerte Bewegungen möglich sind [9]. Darüber hinaus bietet die Hand ein sensorisches und taktiles Organ. Mithilfe des Tastsinns können Informationen über Formen, Oberflächen und Gegenstände erlangt werden und damit die Umgebung wahrgenommen werden [9].

² <https://www.3dorganon.com/> (30.08.2019)

Die Hand besteht aus insgesamt 27 Knochen, was ungefähr einem Viertel der sich im menschlichen Körper befindenden Knochen entspricht, und lässt sich durch die Gelenke in drei Abschnitte teilen: die Handwurzel mit dem Handgelenk, Mittelhand und Finger [11]. Das Handgelenk besteht dabei aus zwei separaten Gelenken, die zusammen zwei Freiheitsgrade haben und aus acht Handwurzelknochen bestehen [10]. Die Mittelhand besteht aus 5 langen Mittelhandknochen, den Metakarpalknochen [10]. Der erste Metakarpalknochen bildet mit einem der Handwurzelknochen das für die Beweglichkeit des Daumens verantwortliche Daumensattelgelenk [10]. An die Mittelhandknochen schließen sich die 5 Finger an, die mit Ausnahme des Daumens, jeweils aus drei Einzelknochen bestehen [10].

Die Handmuskulatur besteht aus über 30 Muskeln, die Bewegungen der Hand werden dabei zu einem Großteil von Muskeln ausgelöst, die sich im Unterarm befinden [11]. Diese reichen über Sehnen bis hin zu den Fingerendgliedern [11]. Beim Spreizen der Finger kommen die kurzen Handmuskeln zum Einsatz [11]. Des Weiteren gibt es noch zwei kräftigere Muskelgruppen, den Daumenballen und den Kleinfingerballen [11].

Auf Höhe des Handgelenks befindet der Karpaltunnel, der aus festen Bindegewebebändern und Handwurzelknochen gebildet wird. Durch ihn führen Sehnen, Nerven und Gefäße vom Unterarm in die Hand [10].

Zwei Arterien, auf der Seite des Daumens und des kleinen Fingers, bilden auf Höhe der Handfläche je einen Bogen und versorgen die Hand mit Blut [11]. Von diesen Bögen gehen Gefäßäste ab, die die Finger versorgen [11]. Die Haut und die Muskeln der Hand werden von drei Nerven versorgt [10].

2.2 Virtuelle Realität

Bereits in den 60er Jahren beschreibt Ivan Sutherland [12] ein ultimatives Display, und stellt somit ein Konzept für die perfekte virtuelle Realität (VR) vor:

„The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked.“

Eine perfekte VR wäre in diesem Sinne für den Menschen nicht mehr von der Realität zu unterscheiden. Mit der heutigen Technologie ist solch eine perfekte VR noch nicht möglich. Durch den technologischen Fortschritt der letzten Jahre sind heute trotzdem bereits immersive VR-Systeme für Endnutzer erschwinglich. Da die VR eine relativ neue Wissenschaft ist, ist es allerdings schwierig, eine einheitlich verwendete Definition zu dem Begriff VR zu finden [13, 14].

Dörner et al. [13] ordnet in seinem Buch verschiedene Definitionen von VR in drei Kategorien ein. Danach unterscheiden sich die vorhandenen Definitionen hauptsächlich in ihrer Herangehensweise an den Begriff und sind entweder technologiebasiert, legen den Fokus auf die Mensch-Computer-Interaktion oder konzentrieren sich auf die mentalen Aspekte von VR.

Eine umfassende Beschreibung von VR, die auf all diese Bereiche eingeht, bieten Sherman und Craig [14]. Diese definieren vier Schlüsselkomponenten der VR:

Eine virtuelle Welt, deren Inhalte oftmals durch ein Medium präsentiert wird. Dazu gehören auch Regeln und Beziehungen, denen die Objekte in dieser Welt unterworfen sind [14]

Immersion: Von einem technischen Standpunkt aus, wird Immersion erreicht, in dem möglichst viele reale Wahrnehmungen durch vom VR-System generierte Wahrnehmungen ersetzt werden [15], was auch als physische Immersion bezeichnet wird [14]. Die Ähnlichkeit der Ein- und Ausgabegeräte mit menschlichen Eigenschaften haben direkten Einfluss auf den Grad der Immersion. Ein Beispiel hierfür ist die Übereinstimmung des menschlichen Sichtfelds mit dem des verwendeten Displays [15]. Immersion erzeugt das Gefühl, sich in der virtuellen Umgebung zu befinden, also ein Gefühl der Präsenz [15] oder mentale Immersion [14]. Präsenz ist eine direkte Folge von Immersion, basiert aber auf der menschlichen Wahrnehmung, statt auf Ein- und Ausgabegeräte [15].

Sensorisches Feedback, welches vom VR-System an den Nutzer in Echtzeit gegeben wird, basierend auf dessen Position. In den meisten VR-Systemen wird hauptsächlich die visuelle Wahrnehmung angesprochen, teilweise gibt es aber auch haptisches Feedback [14].

Interaktivität: Die virtuelle Welt sollte auf das Verhalten des Nutzers reagieren. Mit Objekten in der VR soll interagiert werden können. Der Nutzer soll Einfluss auf die virtuelle Welt haben und diese manipulieren können [14].

Diese vier Schlüsselkomponenten werden von Sherman und Craig [14] in einer Definition zusammengefasst:

„**virtual reality** a medium composed of interactive computer simulations that sense the *participant's* position and actions and replace or augment the feedback to one or more senses, giving the feeling of being mentally immersed or present in the simulation (a virtual world).“

2.3 Sense of Embodiment

Wörtlich übersetzt bedeutet Embodiment Verkörperung. Im wissenschaftlichen Sprachgebrauch wird der Begriff Embodiment je nach Anwendungsgebiet vielseitig verwendet. Im Zusammenhang mit Virtual Reality-Anwendungen beschreibt Kilteni et al. [16] die Empfindungen, die in Verbindung mit Embodiment auftreten, als SoE:

“SoE toward a body B is the sense that emerges when B’s properties are processed as if they were the properties of one’s own biological body.”

SoE setzt sich aus drei Teilkomponenten zusammen und entspricht den Empfindungen, die dadurch entstehen, in einem Körper zu sein (Sense of Self-Location), einen Körper zu benutzen (Sense of Body Ownership) und einen Körper zu kontrollieren (Sense of Agency) [16].

Sense of Self-Location ist die Empfindung, ein bestimmtes Volumen im Raum einzunehmen. Dieses Volumen stimmt üblicherweise mit dem Körpervolumen überein und gibt daher das Gefühl, sich innerhalb des Körpers zu befinden [17]. Dieses Gefühl ist nicht mit dem Gefühl der Präsenz zu verwechseln, welches widerspiegelt, sich in einer Umgebung zu befinden. Der Ort, an dem man sich zu befinden fühlt, kann durch die Perspektive beeinflusst werden [18]. Ebenfalls von Bedeutung für Sense of Self-Location sind taktile Reize und wie diese visuell wahrgenommen werden [17], da die Haut die Grenze zwischen dem Körper und der Umgebung bildet [16]. Des Weiteren spielen vestibuläre Signale eine Rolle bei der Entstehung von Sense of Self-Location [19], welche Informationen zur Lage und Orientierung des Körpers in Bezug zur Gravitation liefern [18].

Sense of Agency stellt das Erleben dar, dass man selbst die Kontrolle über Körperbewegungen hat [18]. Dieses Gefühl der Kontrolle resultiert aus einem Vergleich zwischen den erwarteten sensorischen Folgen einer Handlung und der tatsächlichen Folgen. Stimmen die Folgen einer Handlung mit den erwarteten Folgen überein, wie beispielsweise synchrone Bewegungen, entsteht das Gefühl der Kontrolle über diese Handlungen [16].

Sense of Body Ownership steht für das Zugehörigkeitsgefühl des Körpers zu einem selbst und impliziert, dass der Körper die Quelle erlebter Empfindungen ist [16]. Sense of Body Ownership wird durch eine Kombination von bottom-up Informationen, die von Sinnesorganen zum Gehirn gelangen, und top-down Informationen, die aus kognitiven Prozessen bestehen und die Verarbeitung sensorischer Reize beeinflussen können, erzeugt [20]. Zu den bottom-up Informationen, welche Sense of Body Ownership begünstigen, gehören die Synchronität zwischen visuell wahrgenommenen Bewegungen und den tatsächlich durchgeführten Bewegungen, sowie die Korrelation zwischen einem wahrgenommenen taktilen Reiz und dessen visueller Wahrnehmung [16]. Bezüglich der top-down Informationen haben Studien gezeigt, dass Ähnlichkeiten zum biologischen Körper und Realismus zwar nicht notwendig sind, um Sense of Body Ownership hervorzurufen, dieses aber steigern können [21]. Andere Studien haben hingegen festgestellt, dass realistische Modelle zu einem Uncanny-Valley-Effekt führen können [4]. Wichtig ist außerdem die räumliche Anordnung und Orientierung eines virtuellen Körperteils [22, 23].

3. Anforderungsanalyse

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an den Prototyp analysiert. Hierfür wird zunächst darauf eingegangen, welche Ziele mit dem Prototyp dieser Arbeit verfolgt werden. Zur Ermittlung der Anforderungen wird untersucht, was für das Studium der Anatomie von Bedeutung ist und welches Wissen dabei erlangt werden muss. Der bisherige Prozess zum Erlernen dieses Wissens wird analysiert und die Probleme des klassischen Lernens herausgearbeitet. Unter Berücksichtigung der Evaluierung bereits bestehender Systeme wird anschließend überprüft, wie dieser Vorgang verbessert werden kann. Durch Brainstorming werden zunächst weitere Funktionalitäten akkumuliert. Aus einem Interview mit einem Anatomen ergeben sich nach dem Testen der ersten Version der Software weitere Forderungen an den Prototyp.

Zunächst werden die Anforderungen an das dem Prototyp zugrundeliegende anatomische Handmodell vorgestellt, und im zweiten Abschnitt die Ansprüche an die Software. Die Anforderungen werden jeweils in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen unterteilt.

Am Ende dieses Kapitels werden alle Anforderungen tabellarisch zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Umsetzungsrelevanz gewichtet.

3.1 Zielsetzung

Wie bereits in Abschnitt 1.2 erwähnt, ist das Ziel dieser Arbeit, Studierende beim Anatomiestudium zu unterstützen. Dafür soll untersucht werden, ob in einer interaktiven, virtuellen Lernumgebung SoE gegenüber den virtuellen Händen empfunden werden kann. Der Prototyp soll als Grundlage für diese Untersuchung dienen. Außerdem soll er ermöglichen, Untersuchungen zur Frage anzustellen, ob mithilfe von SoE Lage, Beziehungen und Begriffe anatomischer Strukturen besser erlernbar sind.

3.2 Handmodell

Der Prototyp basiert auf einem dreidimensionalen Modell der Hand, welches die anatomischen Strukturen darstellt. Da dieses Modell die Basis der Anwendung bildet, werden die Anforderungen an das Handmodell in diesem Abschnitt gesondert behandelt.

3.2.1 Funktionale Anforderungen an das Handmodell

Vollständigkeit der Strukturen

Eine der Kernfunktionen ist, dass der Nutzer mithilfe seiner eigenen Hände und an deren Stelle in der VR Umgebung anatomische Handmodelle steuern kann. Um die anatomischen Strukturen der Hand gänzlich erlernen zu können, ergibt sich die Anforderung an das Handmodell, vollständig zu sein. Es soll möglichst alle Strukturen der einzelnen Systeme beinhalten. Dazu gehören Haut, Stütz- und Bewegungsapparat (Skelett, Muskeln, Sehnen, Bänder), Herz-Kreislauf-System (Arterien, Venen) und Nervensystem. Anhand eines Anatomieatlas [24] wurde die Anzahl der Strukturen, die für das jeweilige System vorhanden sein sollen, festgelegt.

- Knochen: 29
- Muskeln: 39 [10]
- Sehnen: 8
- Bänder: 21
- Arterien: 14
- Venen: 7
- Nerven: 11

Animation

Da das Modell die Bewegungen der Hände des Nutzers nachahmen soll, muss dieses animiert werden können. Eine gängige Methode dafür stellt die skelettbasierte Animation dar, bei der sowohl eine Skelettstruktur („Rig“) als auch ein Oberflächenmodell („Skin“) benötigt wird. Das Skelettmodell besteht aus einer Hierarchie von Knochen, die über Gelenke miteinander verbunden sind. Die einzelnen Eckpunkte des Oberflächenmodells werden dann Knochen zugeordnet und durch deren Bewegung verformt. Je nach Skelettpose wird das Oberflächenmodell automatisch angepasst [13].

Das Handmodell soll also sowohl aus einem Oberflächenmodell, als auch einer Skelettstruktur bestehen. Die Skelettstruktur soll das Oberflächenmodell außerdem so beeinflussen, dass die Bewegungen des Handmodells plausibel und möglichst realitätsgetreu sind.

3.2.2 Nicht-funktionale Anforderungen an das Handmodell

Optische Anforderung: realitätsnahes Handmodell

Um eine genaue Vorstellung der Beschaffenheit und der Lage der einzelnen Strukturen der Hand zu erhalten, soll die Darstellung der Hand möglichst realitätsnah sein und deren Form sich an die Bewegungen des Nutzers anpassen (z.B. Muskelform). Um den Detailgrad weiter zu erhöhen, sollten außerdem Texturen für die Strukturen vorhanden sein.

Finanzierbarkeit

Da dem Projekt nur ein begrenztes Budget zur Verfügung steht, soll das Handmodell möglichst günstig sein.

3.3 Software

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Anforderungen an das Handmodell betrachtet wurden, werden nun die Anforderungen an den umzusetzenden Prototyp dargelegt. Dabei wird davon ausgegangen, dass hierfür alle essentiellen Anforderungen an das verwendete Handmodell bereits erfüllt sind. Am Ende des Abschnitts werden die Beziehungen und Abhängigkeiten der Anwendungsfälle, die sich aus den funktionalen Anforderungen ergeben, in einem Anwendungsfalldiagramm veranschaulicht.

3.3.1 Funktionale Anforderungen an die Software

Strukturen ein- und ausblenden

In dem Prototyp werden die regionale und systematische Herangehensweise der Anatomie vereint. Es wird nur die Region der Hand mit Unterarm betrachtet (regional). Die einzelnen Systeme sollen gleichzeitig darstellbar sein, um die Zusammenhänge der verschiedenen anatomischen Strukturen der einzelnen Systeme analysieren zu können. Allerdings sollen die Systeme zusätzlich auch separat (systematisch) oder aber in beliebiger Anzahl und frei wählbaren Kombinationen untersucht werden können.

Label

Ein wichtiger Bestandteil der Anatomieausbildung ist das Meistern der anatomischen Terminologie [2]. Dafür sollen alle Strukturen des Handmodells mit einem Label versehen werden, welches den zur Struktur gehörenden anatomischen Begriff anzeigt. Um die Darstellung übersichtlich zu gestalten, sollen die Begriffe ein- und ausgeblendet werden können, gruppiert nach den einzelnen anatomischen Systemen. Des Weiteren soll es möglich sein, ein Label auszuwählen, wodurch weitere Informationen zur zugehörigen Struktur

angezeigt werden. Bei der Anordnung der Labels sollen außerdem folgende funktionellen und ästhetischen Anforderungen an das Layout berücksichtigt werden [25]:

- **Funktional**
 - Lesbarkeit
 - Eindeutigkeit
 - visuelle Kontinuität
- **Ästhetisch**
 - Regelmäßigkeit
 - gleichmäßige Trennung
 - Balance
 - Gleichmäßigkeit

Strukturübersicht

Da sowohl Strukturen als auch Label ein- und ausblendbar sein sollen, sollen diese über ein Menü gesteuert werden können. Dieses soll dem Nutzer anzeigen, welche Strukturen/Label gerade aktiv sind und somit eine schnelle Übersicht geben, welche Strukturen sich gerade in seinem Sichtfeld befinden.

Kopie der Hand

Die Bestandteile der Hand sollen aus allen Winkeln untersucht werden können. Da dies durch Einschränkungen im menschlichen Bewegungsapparat an den virtuellen Händen, die den Bewegungen des Nutzers folgen, nicht immer komfortabel möglich ist, soll der Nutzer in der Lage sein, eine Kopie zu erstellen. Diese soll im Raum individuell platzierbar und rotierbar sein.

In der Anatomie gibt es außerdem ausgewählte Standardansichten, die für das räumliche Verständnis des dargestellten Objekts eine wichtige Rolle spielen [3]. Diese Standardansichten sollen daher ebenfalls auswählbar sein und die Kopie dementsprechend anpassen.

Querschnittsansicht

Ebenfalls wichtig während des Anatomiestudiums ist das Wissen um die Lage der verschiedenen anatomischen Strukturen und deren Beziehungen [1]. Da Strukturen teilweise oder gänzlich von anderen Strukturen verdeckt werden können, sollte zusätzlich zum Ein- und Ausblenden der einzelnen anatomischen Systeme die Möglichkeit bestehen, die Handmodelle

(gesteuerte Hände und Kopie) auch in der Querschnittsansicht aus verschiedenen Winkeln zu untersuchen. Hierzu soll der Nutzer die Möglichkeit haben, eine virtuelle Ebene zu platzieren, welche ihm ermöglicht, durch den Datensatz zu schneiden.

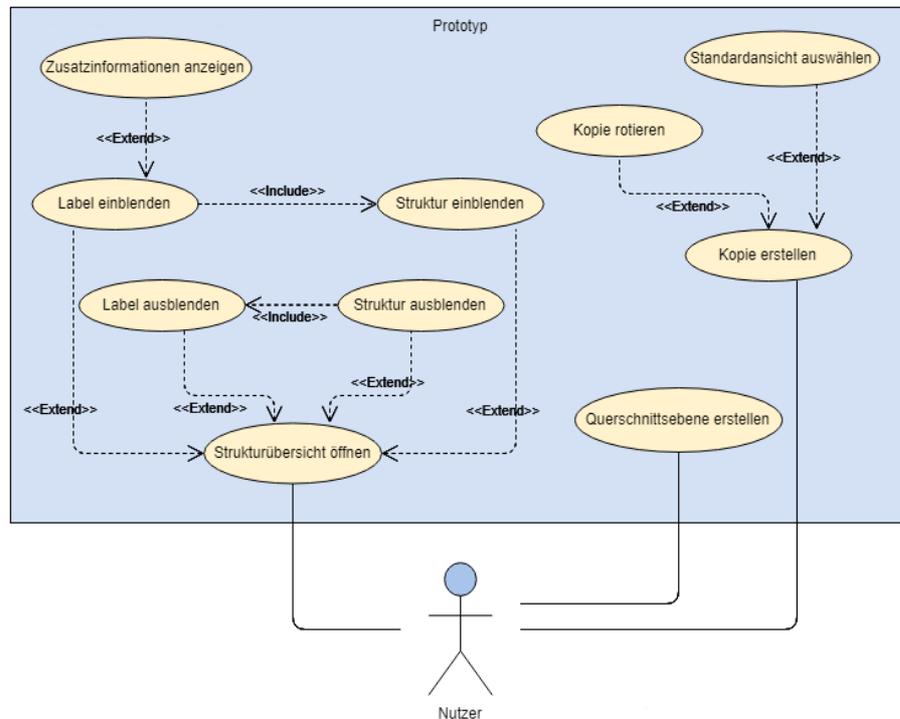


Abbildung 3.1: Darstellung der funktionalen Anforderungen an die Software in einem Anwendungsfalldiagramm

3.3.2 Nicht-funktionale Anforderungen an die Software

Sense of Embodiment

Im Rahmen dieser Arbeit soll mithilfe des Prototypen untersucht werden, ob in einer interaktiven, virtuellen Lernumgebung SoE gegenüber anatomischen Handmodellen auftritt. Um weiterhin mit dem Prototypen untersuchen zu können, ob der Lernprozess für Studierende beim Lernen der Handanatomie durch SoE unterstützt und eventuell verbessert werden kann, soll der Prototyp mit seinen Funktionen so aufgebaut sein, dass unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.3 erläuterten Teilaspekte von SoE, dieses möglichst empfunden wird.

Bedienbarkeit

Um das Lernen der Anatomie sinnvoll zu unterstützen und traditionelle Lernmethoden zu ergänzen, sollte kein großer Mehraufwand durch das Einarbeiten in die Lernumgebung entstehen. Die Bedienbarkeit der Anwendung soll daher möglichst intuitiv sein, so dass die Benutzung lediglich das Wissen um die Nutzung der HTC Vive voraussetzt. Alle Funktionen

sollen in wenigen Minuten (unter 10 Minuten) selbstständig entdeckt und angewendet werden können und keine weitere Einweisung benötigen.

3.4 Überblick

In der folgenden Tabelle werden die in den beiden vorherigen Abschnitten vorgestellten funktionalen (f) Anforderungen und nicht-funktionalen (nf) Anforderungen aufgelistet und je nach ihrer Umsetzungsrelevanz gewichtet [26].

- essentiell: Kernfunktionen, die umgesetzt werden müssen
- notwendig: Funktionen, die zwar wichtig sind und einen erheblichen Mehrwert bieten, aber nicht zwingend erforderlich sind.
- wünschenswert: Funktionen, ohne die das System weniger attraktiv ist

Anforderung	Art	Gewichtung
Handmodell		
Vollständigkeit Strukturen	f	essentiell
Skelettstruktur	f	essentiell
realitätsnah (texturiert, Meshqualität)	nf	notwendig
Kostengünstig	nf	essentiell
Software		
Strukturübersicht	f	essentiell
Strukturen ein- und ausblenden	f	essentiell
Label ein- und ausblenden	f	essentiell
erweiterte Informationen anzeigen	f	wünschenswert
Kopie anzeigen	f	notwendig
Kopie Standardansichten	f	wünschenswert
Kopie rotieren	f	notwendig
Querschnittsansicht	f	notwendig
SoE	nf	essentiell
intuitive Bedienbarkeit	nf	notwendig

Tabelle 1: Übersicht über die ermittelten Anforderungen an den Prototyp

4. Konzeption

In diesem Abschnitt wird auf Basis der in Abschnitt 3 aufgestellten Anforderungen ein Entwurf für den in Abschnitt 5 implementierten Prototyp erstellt und verschiedene Alternativen bei den Designentscheidungen erläutert.

4.1 Grundlegende Designentscheidungen der Anwendung

Die Anwendung unterstützt Roomscales VR, so dass sich der Nutzer im Raum bewegen kann. Alle Funktionen können aber auch im Sitzen genutzt werden. Für einen höheren Grad der Immersion befindet sich der Nutzer in einem der Realität nachempfundenen Raum, der nach oben offen ist. Um nicht vom Wesentlichen abzulenken, bleibt dieser allerdings leer und enthält keine Dekorationen. Damit die anatomischen Strukturen gut zu erkennen und die Labels gut lesbar sind, wird auf einen hohen Kontrast zwischen dem Handmodell und dessen Labels und dem Hintergrund geachtet. Dafür bekommen die Wände des Raumes eine helle Farbe.

Damit der Nutzer SoE gegenüber den anatomischen Handmodellen empfindet, wird durch verschiedene Aspekte versucht, die drei Teilkomponenten Sense of Agency, Sense of Self-Location und Sense of Body Ownership hervorzurufen. Die Perspektive hat einen hohen Einfluss auf Sense of Self-Location, dem Gefühl, in einem Körper positioniert zu sein [16]. Im Prototyp betrachtet der Nutzer seine Hände aus der Ich-Perspektive, da diese in Relation zur Perspektive aus der dritten Person zu einer Steigerung von Sense of Self-Location führt [27, 28]. Die virtuellen Hände haben die gleiche räumliche Position und Orientierung wie die echten Hände des Nutzers, was zur Entstehung von Sense of Body Ownership beiträgt [22, 23]. Um ein Gefühl der Kontrolle über die virtuellen Hände zu erlangen und somit Sense of Agency hervorzurufen, imitieren die anatomischen Handmodelle die Bewegungen der echten Hände des Nutzers. Untersuchungen von Franck et al. [29] zeigen, dass die Verzögerung der Modellbewegungen gegenüber den Bewegungen der echten Hände dabei nicht über 150 ms betragen darf.

4.2 Handmodell

Anhand der erarbeiteten Anforderungen an das Handmodell wurden verschiedene Modelle zusammengetragen und in Tabelle 2 gegenübergestellt. Ausschließlich Modell 3 enthält bereits eine Skelettstruktur. Da es außerdem vollständig mit allen Strukturen und einem hohen Detailgrad versehen ist, erfüllt es alle Forderungen und wäre für den Prototyp sehr gut geeignet, übersteigt mit den Kosten von 2099\$ allerdings deutlich das vorhandene Budget.

Modell 5 und 6 übersteigen ebenfalls etwas die Kosten und erfüllen unabhängig davon die Anforderungen an die Vollständigkeit der Strukturen und an ein vorhandenes Rig nicht, weswegen diese beiden Modelle ebenfalls ausgeschlossen werden.

Bei den übriggebliebenen Modellen 1, 2 und 4 ist kein Rig enthalten. Modell 4 stellt außerdem keine Texturen bereit. Modell 4 fehlen darüber hinaus drei der geforderten Strukturen, nämlich Haut, Bänder und Sehnen. Bei Modell 1 fehlen die Nerven, bei Modell 2 fehlt eine Darstellung der Haut. Online gibt es allerdings eine Vielzahl an verfügbaren Handmodellen, die die fehlende Haut von Modell 2 ersetzen können. Des Weiteren ist Modell 2 kostenlos. Aus diesen beiden Gründen fällt die Entscheidung zur Verwendung für den Prototyp auf Modell 2.

Da das ausgewählte Modell aus einer Reihe von Modellen besteht, welche jeweils nur ausgewählte Strukturen zeigen, müssen diese Modelle zunächst zu einem einzigen Modell zusammengefasst werden, so dass alle vorhandenen Strukturen in einem Modell vorhanden sind. Die einzelnen Oberflächenmodelle der verschiedenen Strukturen bleiben weiterhin separat bestehen, um später ein einfaches Ein- und Ausblenden dieser zu ermöglichen.

Da bei dem verwendeten Handmodell noch kein Rig bereitgestellt wird, muss dieses noch selbstständig erstellt werden. Bei dem Erstellen des Rigs wird sich an dem natürlichen Skelett des Menschen orientiert. Um das Handmodell optimal mit dem Leap Motion Controller verwenden zu können, muss außerdem auf die Namensgebung der einzelnen Knochen geachtet werden. Die Vorgaben in der Namensgebung folgen allerdings verbreiteten Konventionen.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, das Hand Skeleton Rig von dem *Unity* Plugin SteamVR zu benutzen. Mit diesem Rig kann das Handmodell auch mit dem Skeleton Input System von SteamVR verwendet werden und ist damit mit vielen herkömmlichen VR Controllern wie dem Vive Controller oder Oculus Touch kompatibel. Besonders interessant hierfür sind die bald erscheinenden Knuckle-Controller von Valve, da diese umfangreiches Fingertracking versprechen.

Nachdem das Rig für das Handmodell fertig ist, wird das Skinning durchgeführt. Dabei werden die Oberflächenmodelle an das Rig gebunden, wodurch die einzelnen Gelenke einen Einfluss auf die verschiedenen Eckpunkte eines Oberflächenmodells haben und diese dementsprechend bewegt werden.

Nr.	Name	Link ³	Strukturen	Textur	Rig	Mesh-qualität	Kosten
1	Hand Anatomy	https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-model-of-anatomy-human-hand/843283	Haut, Muskeln, Arterien, Venen, Sehnen, Knochen, Bindegewebe	ja	nein	63k Polygone	99\$
2	Hand Anatomy	https://sketchfab.com/cderolin/collections/hand-anatomy	Knochen, Muskeln, Venen, Arterien, Nerven, Sehnen, Bänder	ja	nein	655k Dreiecke, 327k Vertices	-
3	Human Male and Female Anatomy Complete 3D Model Pack V05	https://www.plasticboy.co.uk/store/MAYA-Rigged-Human-Male-Female-Anatomy-Complete-V07.html	Haut, Muskeln, Nerven, Knochen, Lymphsystem, Arterien, Venen	ja	ja		2099\$
4	Hand Anatomy 3D Model	https://www.cgtrader.com/3d-models/character/anatomy/hand-anatomy	Muskeln, Knochen, Venen, Arterien, Nerven	nein	nein	27k Polygone	34\$
5	Human Arm Anatomy	https://www.turbosquid.com/3d-models/human-hand-forearm-arm-max/389914	Haut, Muskeln, Knochen, Sehnen, Bänder, Membran	nein	nein	204k Polygone	145\$
6	ARM - MUSCLE & BONES & ARTERY & VEINS	https://www.turbosquid.com/3d-models/anatomy-my-arteries---veins-3d-model/635334	Muskeln, Arterien, Venen, Knochen	ja	nein		204\$

Tabelle 2: Gegenüberstellung ausgewählter Handmodelle

³ Zuletzt aufgerufen am 05.07.2019

4.3 Benutzeroberfläche

Bei der Erstellung der Benutzeroberfläche wird darauf geachtet, dieses möglichst intuitiv zu gestalten, so dass die Anwendung ohne weitere Einweisung bedienbar ist. Alle Funktionen müssen außerdem jederzeit anwendbar sein. Da der Nutzer sich im dreidimensionalen Raum befindet, in dem er sich bewegen kann, ist ein statisches Menü in der VR Umgebung eher suboptimal. Durch Bewegung kann er sich sonst vom Menü entfernen und müsste für einen neuen Funktionsaufruf wieder zum Menüstandort zurück. Eine Alternative bietet ein Interface, welches an die Kamera gebunden ist und wie ein Overlay über dem Sichtfeld des Nutzers fungiert. Somit hat der Nutzer jederzeit alle Interaktionselemente wie Buttons zur Verfügung. Diese Variante verbraucht allerdings je nach Funktionsumfang der Anwendung viel Platz und schränkt das Sichtfeld des Nutzers ein. Gerade wenn der Nutzer seine anatomischen Hände untersuchen will und gegebenenfalls die dazugehörigen Labels eingeblendet sind, kann es schnell unübersichtlich werden.

Um den vollen Funktionsumfang ständig bereit zu haben, werden die Funktionen daher an die linke Hand des Nutzers gebunden. Die Interaktionselemente zum Aufrufen der Funktionen werden nur eingeblendet, wenn der Nutzer die Innenseite seiner linken Handfläche betrachtet, wodurch ein freies Sichtfeld geschaffen wird und keine Menüelemente vom Wesentlichen, den Handmodellen, ablenken. Beim ersten Starten der Applikation sieht der Nutzer lediglich seine beiden Hände. Es wird davon ausgegangen, dass der Nutzer schnell damit beginnt, seine Hände zu bewegen, um festzustellen, wie die anatomischen Modelle in der VR-Umgebung darauf reagieren. Dabei werden die Menüelemente zum ersten Mal erscheinen und können anschließend erkundet werden.

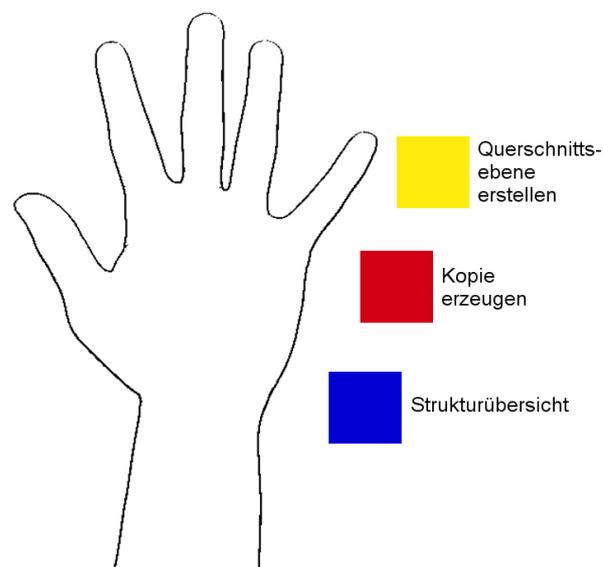


Abbildung 4.1: Skizze der Interaktionselemente an der linken Hand, wenn diese mit der Handinnenfläche nach oben zeigt

Um den begrenzten Platz neben der linken Handfläche zu nutzen, ohne mit der rechten Hand und eventuell eingeblendeten Labels in Konflikt zu geraten, werden die Funktionen in drei Hauptkategorien aufgeteilt: Ein- und Ausblenden von Elementen (Label und Strukturen), Kopie des Handmodells und Querschnittsansicht. Für diese drei Kategorien wird je ein Interaktionselement an der linken Hand angebracht.

4.4 Funktionen

Wie im letzten Abschnitt bereits beschrieben, werden an der linken Hand drei Interaktionselemente angefügt, die erscheinen, sobald der Nutzer die Innenseite seiner linken Hand betrachtet. Diese Elemente stehen für die drei Funktionen:

- Strukturen/Label ein- und ausblenden
- Kopie erzeugen
- Querschnittsansicht

In diesem Abschnitt wird genauer auf die Interaktion mit den drei Elementen eingegangen, sowie der Aufbau der einzelnen Funktionen erläutert.

4.4.1 Strukturen/Label ein- und ausblenden

Einer der Kernfunktionen der Anwendung stellt das Ein- und Ausblenden der einzelnen anatomischen Systeme, sowie der Labels zu den einzelnen Strukturen, dar. Die Labels der Strukturen werden nach anatomischen Systemen gruppiert und als Gruppe ein- und ausgeblendet. Demnach ergibt sich, dass es zu jedem anatomischen System (Haut, Muskeln, Sehnen, Nerven, Arterien, Venen, Bänder, Knochen) sowohl die Möglichkeit besteht die Strukturen dieses Systems ein-/auszublenen als auch die zu den Strukturen zugehörigen Labels ein-/auszublenen. Um diese Funktionalität zu gewährleisten, öffnet das Interaktionselement der linken Hand, welches für das Ein- und Ausblenden der Elemente steht, ein weiteres Menü. Dieses Menü kann frei im Raum platziert werden und nach Bedarf wieder geschlossen werden.

Das Menü selbst erhält ein schlichtes Design und besteht zunächst aus einer Liste der vorhandenen anatomischen Systeme, sowie je einen Button zum Toggeln der zum System gehörigen Strukturen und einen zum Toggeln der zugehörigen Labels. Um die Buttons direkt einem System zuzuordnen zu können, werden diese mit Icons versehen, die mit dem jeweiligen System assoziiert werden können. Außerdem erhalten die Buttons eine farbliche Markierung, die deren Zustand anzeigen und damit schnell eine Übersicht darüber geben, welche Strukturen gerade aktiv sind. Die Labels eines Systems können nur angezeigt werden, wenn auch die dazugehörigen Strukturen eingeblendet sind. Dafür werden beim Einblenden der Labels eines Systems, dessen Strukturen ausgeblendet sind, diese ebenfalls aktiviert und eingeblendet. Sind Labels eines Systems aktiv und die Strukturen dieses Systems werden

ausgeblendet, so werden auch die Labels ausgeblendet. Um die Darstellung der Labels übersichtlich zu gestalten, ist des Weiteren nur eine aktive Labelgruppe gleichzeitig möglich. Um das Menü überschaubar zu gestalten, sind beim Ein- und Ausblenden der Strukturen immer die Strukturen aller sich im Raum befindenden Handmodelle gleichzeitig betroffen. Werden über einen Button beispielsweise die Muskeln ausgeblendet, geschieht das sowohl an der linken und rechten Hand, als auch an der Kopie.

Das Ein- und Ausblenden der anatomischen Strukturen soll ermöglichen, auch Strukturen, die von anderen verdeckt werden, zu untersuchen. Allerdings werden auch innerhalb eines Systems manche Strukturen zumindest teilweise verdeckt. Außerdem soll auch ein Verständnis der Lage und räumlichen Beziehungen der verschiedenen Systeme zueinander vermittelt werden. Daher erscheint ein gänzlich Ein- oder Ausblenden der Strukturen nicht als die optimale Lösung. Um dieses Problem zu umgehen, werden die Buttons zum Toggeln der Strukturen mit Slidern ausgetauscht. Mithilfe eines Sliders kann die Transparenz der Strukturen eines Systems verstellt werden. Die Werte liegen dabei zwischen 0, für völlig transparent, womit die Strukturen weiterhin gänzlich ausgeblendet werden können, und 100, wodurch Strukturen keine Transparenz aufweisen.

Da Buttons und Slider weit verbreitete Bedienungselemente sind, bleibt das Untermenü ebenfalls intuitiv bedienbar. Da sich das genaue Drücken eines Buttons oder das Bedienen eines Sliders mit den anatomischen Handmodellen in der VR-Umgebung allerdings als etwas schwieriger erweist, als in der Realität, wird bei der Anordnung der Bedienelemente darauf geachtet, einen möglichst großen Abstand zwischen zwei Button/Slider zu halten, daher befindet sich die Liste der Systeme zwischen den Slidern und Buttons. Somit wird verhindert, dass bei dem Versuch mit einem der Menüelemente zu interagieren versehentlich andere betätigt werden.

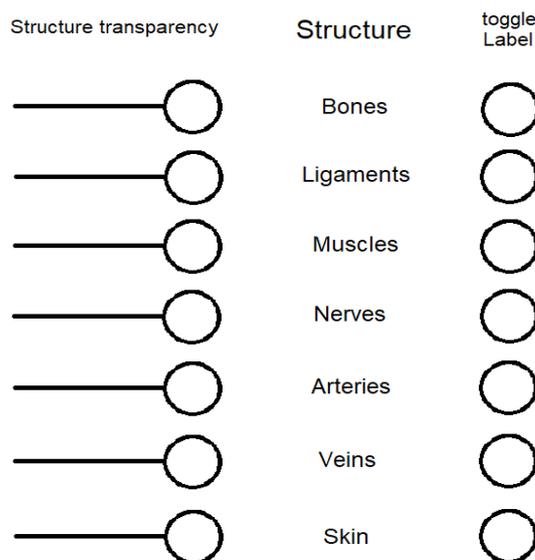


Abbildung 4.2: Skizze zur Anordnung der Buttons und Slider im Menü zur Strukturübersicht

Um Überschneidungen der Labels zu vermeiden, werden diese nur für die Strukturen der rechten Hand angezeigt. Bei Auswahl zur Anordnung der Labels werden verschiedene Techniken berücksichtigt.

Labels können sowohl intern als auch extern platziert werden. Bei internen Labels wird ein Label direkt auf der dazugehörigen Struktur platziert und überlagert diese. Damit die Labels noch gut lesbar bleiben, muss die Struktur genügend Platz bieten, um eine angemessene Schriftgröße zu ermöglichen [30]. Viele der Strukturen im Handmodell des Prototypen, wie zum Beispiel Arterien, bieten hierfür nicht genügend Platz, da das Modell möglichst der tatsächlichen Größe einer menschlichen Hand entspricht, und die Arterien dabei verhältnismäßig kleine Flächen bieten.

Externe Labels werden außerhalb des Modells angeordnet und durch eine Linie mit einem Ankerpunkt, der an der entsprechenden Struktur positioniert ist, verbunden. Externe Labels bieten einen schnellen Überblick über alle vorhandenen Strukturen, können auch auf eventuell verdeckte Strukturen hinweisen und sind besser lesbar [30]. Aus diesem Grund werden für den Prototyp externe Labels verwendet. Da alle Strukturen und deren Begriffe bereits bekannt sind, werden diese manuell entlang der Silhouette der Hand platziert, dabei wird sich an 2D Grafiken aus einem Anatomieatlas [24] orientiert.

Bewegt der Nutzer seine Hand, müssen sich auch die Labels dem neuen Winkel anpassen, um jederzeit lesbar zu sein. Daher befinden sich diese auf einer Ebene, die zu dem der Blickrichtung des Nutzers entsprechenden Vektor, orthogonal ist. Diese Ebene folgt den Bewegungen des Handgelenks.

Durch Berühren eines Labels, können weitere Informationen zu dieser Struktur eingesehen werden. Eine Möglichkeit diese Zusatzinformationen darzustellen wäre, das Label wachsen zu lassen und unter dem Begriff den zusätzlichen Text anzuzeigen [30]. Eine Alternative ist ein weiteres Textfeld, welches räumlich nicht an ein bestimmtes Label gebunden ist und dessen Text sich je nach ausgewähltem Label anpasst. Für die erste Variante ist es wichtig, dass sich die Anordnung der Labels anpasst, sobald eines ausgewählt wird und dadurch mehr Platz einnimmt. Durch die begrenzte Fläche zwischen den Labels ist auch auf die Menge der Zusatzinformationen zu achten. Werden die zusätzlichen Informationen in einem extra Textfeld angezeigt, kann immer nur ein Label gleichzeitig ausgewählt werden, dafür existiert mehr Platz um diese darzustellen. Da sich die Labels in diesem Prototyp nicht dynamisch anpassen, werden die Zusatzinformationen in einem separaten Fenster angezeigt.

4.4.2 Kopie der Hand

Das zweite Interaktionselement der linken Hand erzeugt eine Kopie des anatomischen Handmodells, ähnlich der von Tan et al. [31] vorgestellten Ghost-Copy-Technik. Das Element kann mit der rechten Hand gegriffen und individuell im Raum platziert werden. Über dem Element erscheint dann die Kopie. Wird das Element wieder in die Nähe des Ausgangspunkts

an der linken Hand geführt, verschwindet die Kopie wieder. Nach Stull et al. [32] ist es hilfreich, den Ausgangspunkt eines 3D-Modells und den daraus entstehenden Blickwinkel darauf sorgfältig auszuwählen, da so die mentale Belastung des Lernenden verringert wird. Da eine kanonische Ausrichtung wie eine Frontal- oder Seitenansicht empfohlen wird, öffnet sich die Kopie des Handmodells in der Seitenansicht.

Die Kopie kann vom Nutzer frei rotiert werden. Eine Option zur Umsetzung dieser Funktion stellt das Anbringen sogenannter Handles dar. Dabei werden die verschiedenen Achsen bspw. durch Griffe dargestellt, mit denen der Nutzer dann interagieren kann und somit die Kopie dreht. Natürlicher fühlt es sich allerdings an, die Kopie direkt greifen zu können und damit zu rotieren, weswegen diese Variante gewählt wurde.

Um zu verschiedenen Standardansichten zurückzukehren, werden unterhalb der Kopie drei Buttons zur Verfügung gestellt, die bei Betätigung die Kopie in die entsprechende Ansicht (seitlich, oben, unten) rotieren.

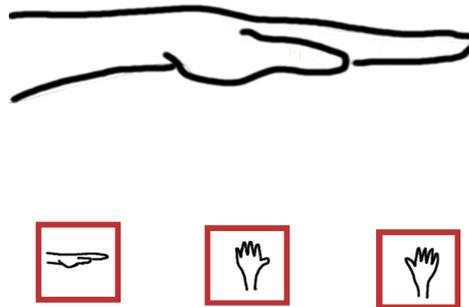


Abbildung 4.3: Skizze zur Anordnung der Handkopie und der Buttons zu den Standardansichten

4.4.3 Querschnittsansicht

Das dritte an der linken Hand angebrachte Interaktionselement stellt die Funktion bereit, die Handmodelle, sowie die Kopie, in der Querschnittsansicht betrachten zu können. Die Ansicht ist aus verschiedenen Winkeln möglich. Für diese Funktion werden zwei verschiedene Ansätze betrachtet. Zum einen kann ähnlich wie bei der Kopie durch Interaktion mit dem Element eine Ebene im Raum erschaffen werden. Diese kann dann ebenfalls durch Greifen rotiert werden und an die gewünschte Stelle verschoben werden. Schneidet die Ebene beispielsweise die Kopie, wird der Teil der Kopie unterhalb der Ebene weiterhin dargestellt, während alles oberhalb der Ebene nicht mehr sichtbar ist. Eine Alternative ist es, die Ebene nicht einfach im Raum erscheinen zu lassen, sondern als Verlängerung der rechten Hand. Die Ebene folgt dann den Bewegungen der Handfläche und kann so auf natürliche Weise verschoben und gedreht werden. Die Hand, an der die Ebene als Verlängerung angebracht ist,

kann bei dieser Variante allerdings selbst nicht mehr geschnitten werden. Da sich diese Methode allerdings intuitiver anfühlt, wird diese für die Anwendung verwendet.

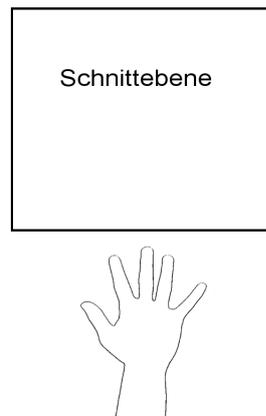


Abbildung 4.4: Skizze der Schnittebene, die als Verlängerung der rechten Hand angebracht ist

5. Implementierung

Im anschließenden Abschnitt wird die prototypische Umsetzung der in Abschnitt 4 erstellten Konzeption und dabei aufgetretene Probleme beschrieben. Dabei wird zunächst auf die verwendete Hard- und Software eingegangen. Im Anschluss wird die Vorbereitung der Handmodelle zur Nutzung in der Anwendung erläutert und zuletzt die Implementierung der einzelnen Funktionen vorgestellt.

5.1 Technik

Unity

Der Prototyp wird mit Hilfe von *Unity* entwickelt, einer der führenden Entwicklungsumgebungen für Spiele, die in der Personal Version kostenlos ist. Die Echtzeit-3D-Entwicklungsplattform bietet native Unterstützung der neuesten und größten Plattformen, wie zum Beispiel SteamVR/Vive, sowie eine umfangreiche VR/AR Anwendungsschnittstelle (API), was für die Erstellung des Prototypen für diese Arbeit besonders wichtig ist. *Unity* unterstützt eine Vielzahl von Dateiformaten zum Import von 3D-Modellen, unter anderem von Blender erstellte .blend Dateien. Des Weiteren kann *Unity* über den Asset Store mit einer Vielzahl von Grafiken, Modellen, Skripten und vielem mehr erweitert werden. *Unity* verfügt außerdem über eine große Community und eine umfangreiche Online Dokumentation, die bei Problemen weiterhelfen können.⁴ Da im Laufe des Abschnitts einige Funktionen und Erweiterungen erwähnt werden, werden zum besseren Verständnis einige Begriffe erläutert. Weitere Details können in der Online Dokumentation eingesehen werden.⁵

Asset: Unity-Assets sind Objekte, die innerhalb eines Unity-Projekts verwendet werden. Assets können sowohl extern angelegt werden, wie beispielsweise 3D-Modelle, als auch intern, wie zum Beispiel Audio-Mixer oder Renderer-Texturen.

Scene: Szenen enthalten die Objekte, die die Umgebung der Anwendung bilden. Jede einzelne Szene kann dabei als eigenes Level angesehen werden und individuell angepasst werden. Eine Anwendung kann sowohl aus einer einzigen Szene als auch aus vielen bestehen.

4 <https://unity3d.com/de/unity> (25.08.2019)

5 <https://docs.unity3d.com/Manual/Glossary.html> (25.08.2019)

GameObject: Jedes Objekt in der Anwendung ist ein *GameObject*. *GameObjects* dienen als Container für Komponenten, durch welche sie verschiedene Funktionalitäten erhalten. Jedes *GameObject* besitzt eine Transform-Komponente, die für die Position und Orientierung des Objekts zuständig ist. Weitere Komponenten können in beliebiger Anzahl und Kombination hinzugefügt werden.

Komponente: Durch Komponenten erhalten *GameObjects* ihre Funktionalität. Durch Komponenten kann das Verhalten und die Eigenschaften von *GameObjects* gesteuert werden.

Script: *Unity* stellt bereits eine Vielzahl verschiedener Komponenten bereit. Eigene Komponenten können mithilfe von *Scripts* erstellt werden, welche das Auslösen von Events, die Manipulation von Komponenteneigenschaften und Reaktionen auf Nutzereingaben erlauben.

Prefab: In einem *Prefab* kann ein *GameObject* mit all seinen Komponenten und Eigenschaften, sowie seinen Kindern, als wiederverwendbares *Asset* gespeichert werden.

Blender

Um das Handmodell für den Einsatz im Prototyp vorzubereiten, kommt die kostenlose 3D-Grafiksoftware Blender zum Einsatz. Die Open-Source-Software enthält alle für die Vorbereitung des Handmodells benötigten Funktionen wie Modellieren, Riggen, Texturieren und Animieren. Des Weiteren können die von Blender erstellten Dateien direkt in *Unity* importiert werden und von dort auch wieder geöffnet und bearbeitet werden. Das importierte Modell passt sich dann automatisch den Änderungen an.⁶

HTC Vive

Als Head-Mounted Display (HMD), wird die HTC Vive verwendet. Pro Auge bietet das HMD eine Auflösung von 1080 x 1200 Pixeln, eine Bildwiederholungsrate von 90 Hz und ermöglicht dem Nutzer ein Sichtfeld von 110°. Zwei Basisstationen übernehmen das Tracking des Nutzers und decken dabei einen 360° Spielbereich ab. Die Position des Nutzers kann in einem Raum von bis zu 3.5 m x 3.5 m erfasst werden.⁷

Handtracking

Für das Tracking der Hände kamen neben dem Leap Motion Controller außerdem Datenhandschuhe in Frage. Bei Datenhandschuhen wird das Krümmen der Finger durch Dehnmessstreifen erfasst [33]. Oft gibt es noch zusätzliche Sensoren, die die Position und Orientierung der Hand als Ganzes registrieren. Die Daten werden dann von einer für den Handschuh entwickelten Software verarbeitet. Manche Handschuhe verfügen außerdem über

⁶ <https://www.blender.org/> (11.08.2019)

⁷ <https://www.vive.com/de/product/> (11.08.2019)

haptisches Feedback. Da sich die Hände von verschiedenen Nutzer allerdings unterscheiden, müssen diese Handschuhe im Normalfall an den einzelnen Nutzer angepasst werden [33].

Der Leap Motion Controller wird als Aufsatz direkt an dem HMD angebracht und erfasst die Bewegungen der Hände durch das Ausstrahlen von Infrarot-Lichtwellen, deren Reflektionen von zwei Kameras aufgefangen werden. Dabei erfasst der Controller einen Bereich von 60 cm in alle Raumrichtungen [33]. Leap Motion bietet außerdem eine Integration für *Unity* und stellt verschiedene Erweiterungen zur Verfügung, die bereits eine Vielzahl von Funktionen bereitstellen. Die Verwendung des Leap Motion Controllers benötigt die Installation der Leap Motion Orion Software und die anschließende Kalibrierung des Controllers.

Wegen der einfacheren Handhabung des Leap Motion Controllers, der relativ unkomplizierten Integration in *Unity* und der umfangreichen Online-Dokumentation, wird das Handtracking im Prototyp vom Leap Motion Controller übernommen.

Spezifikationen des Entwickler- PCs

Der Prototyp wurde auf einem Computer mit folgenden Spezifikationen entwickelt.

Prozessor: Intel(R) Core(TM) i5-6400 CPU @ 2.70GHz

Grafikkarte: GeForce GTX 1060 3GB

Arbeitsspeicher: 12 GB

Betriebssystem: Windows 10 Home

Unity Version: 2019.1.3f1

5.2 Hand Modell

In Blender wurden zunächst die einzelnen Handmodelle der in Abschnitt 4.2 ausgewählten Sammlung zu einem Modell zusammengeführt. Um mithilfe des Leap Motion Controllers die Bewegungen der Hände des Nutzers zu verfolgen und auf die anatomischen Handmodelle zu übertragen, braucht das Modell eine Skelettstruktur (Rig). Zunächst wurde das von SteamVR für deren Skeleton Input System verwendete Rig importiert und an das Handmodell angepasst, um auch mit verschiedenen VR-Controllern wie dem Vive Controller, Oculus Touch und vor allem den demnächst erscheinenden Knuckle-Controller von Valve gesteuert werden zu können. Dies führte allerdings zu Fehlern bei der Animation durch den Leap Motion Controller. Daher wurde für den Prototyp zunächst ein Rig erstellt, welches mit denen der Beispielm Modelle von Leap Motion übereinstimmt. Die Oberflächenmodelle wurden anschließend mit der Skelettstruktur verbunden. Im Weight-Paint-Modus wurde darauf geachtet, dass sich die einzelnen Strukturen bei Bewegung des Skeletts möglichst realitätsgetreu deformieren. Zum Abschluss wurde das Modell gespiegelt, um sowohl ein Modell der linken als auch der rechten Hand zu erhalten. Die von Blender erstellte .blend

Datei konnte direkt in *Unity* importiert werden und für weitere Anpassungen von dort wieder aufgerufen werden.

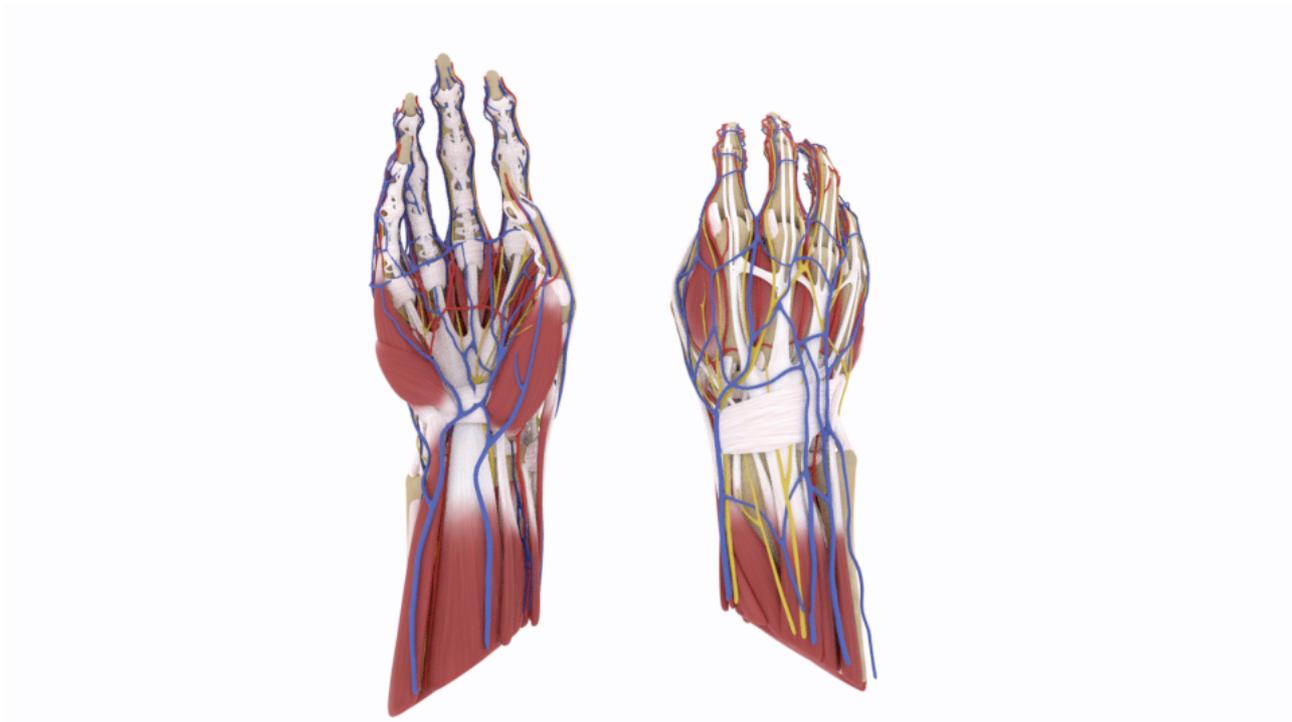


Abbildung 5.1: das für den Prototyp verwendete Handmodell nach Bearbeitung

5.3 Umgebung

Die Anwendung befindet sich innerhalb einer einzelnen Szene. Die Umgebung besteht aus einer einfachen Kombination aus einer Ebene, die den Boden darstellt, und vier weiteren Ebenen, die als Wände dienen. Zusammen erzeugen sie einen virtuellen Raum, der nach oben geöffnet ist. Mithilfe der Erweiterung SteamVR wird dem Nutzer im virtuellen Raum die Grenzen des vorher eingerichteten Spielbereichs angezeigt.

5.4 Leap Motion hand tracking

Zur Integration des Leap Motion Controllers in *Unity* wird das *Leap Motion Core Plugin* benötigt. Dieses stellt die fundamentalen Funktionen des Leap Motion Controllers bereit und enthält unter anderem das Prefab *Leap Rig*. Das *Leap Rig* beinhaltet die Hauptkamera und ein *Hand Model Manager* Objekt, unter dem sich verschiedene Handmodelle befinden können und welches diese verwaltet. Befinden sich die Handmodelle (rechte Hand und linke Hand) unter dem *Hand Model Manager*, können mithilfe des *Leap Motion Hand Modules* alle benötigten Komponenten der Handmodelle automatisiert hinzugefügt werden, wie beispielsweise den *Rigged Hand* und *Rigged Finger Scripts*. Anschließend können diese Komponenten noch angepasst werden. Da die Unterarme der Handmodelle nicht richtig dargestellt wurden, wurde das *Rigged Hand Script* geringfügig angepasst, so dass der

Knochen des Rigs, welchem der Unterarm zugeordnet ist, an der gleichen Stelle wie das Handgelenk angezeigt wird, da dieses zuverlässig erfasst wird. Dementsprechend wurde auch das Rig des Handmodells in Blender angepasst, in dem der Knochen des Unterarms ebenfalls an die Position des Knochens für das Handgelenk geschoben wurde.

5.5 Interface und Interaktion

Die *Interaction Engine* von Leap Motion erlaubt die Interaktion der Handmodelle mit Objekten. Diese Objekte können sowohl Objekte im Raum sein, wie die Kopie der Hand, als auch Buttons und andere Menüelemente, wodurch schnell ein Interface erstellt werden kann. Um diese nutzen zu können, braucht die Szene ein Objekt mit der *InteractionManager* Komponente, die die für Interaktionen benötigte Logik enthält. Alle Interaktionselemente benötigen des Weiteren die Komponente *InteractionBehaviour*, *RigidBody* und mindestens einen *Collider*.

Mithilfe der *Interaction Engine* wurde das Interface erstellt. Die Hauptfunktionen werden durch farbige Würfel bereitgestellt, die an der linken Hand einen Ankerpunkt haben. Diese Würfel erscheinen, wenn der Nutzer seine linke Handfläche nach oben dreht, also diese anschaut. Dieses Menü wird im folgenden Verlauf der Arbeit Würfelmenü genannt. Da die Würfel eine *InteractionBehaviour* Komponente haben, können diese gegriffen und bewegt werden. Werden sie nahe ihrer Ankerpunkte losgelassen, binden sie sich automatisch wieder an diese Ankerpunkte. Auf die Würfel wirkt keine Gravität und können ansonsten überall losgelassen werden, wodurch sie dann an dieser Stelle verharren.



Abbildung 5.2: Ansicht auf das Würfelmenü bei nach oben gedrehter Handfläche

Einer der Würfel öffnet eine Kopie des Handmodells. Beim Loslassen des Würfels erscheint oberhalb des Würfels das Handmodell und die dazugehörigen Buttons, um die Kopie zu bestimmten Standardansichten zu rotieren. Der Kopie wird ein Skript hinzugefügt, welches die Funktionen zum Rotieren beinhaltet, die den einzelnen Buttons zugewiesen werden. Bei jedem Öffnen der Kopie wird die Funktion zur Seitenansicht aufgerufen und diese somit

wieder in ihre Ausgangslage rotiert. Außerdem erhält die Kopie ebenfalls die *InteractionBehaviour* Komponente. Dadurch kann diese durch Greifen frei rotiert und bewegt werden. Da diese aber über dem Würfel bleiben soll, wird die Position gesperrt, so dass nur noch die Rotation möglich ist.

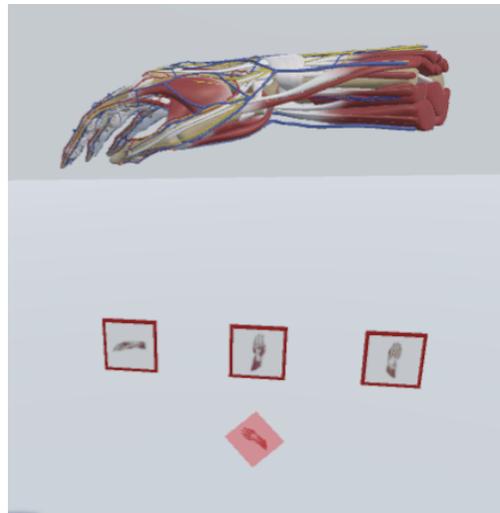


Abbildung 5.3: geöffnete Kopie der Hand in der Seitenansicht

Der zweite Würfel kann ebenso gegriffen werden. Dieser öffnet beim Loslassen oberhalb des Würfels die Übersicht über die Strukturen. Diese besteht aus einer Liste der anatomischen Systeme, denen jeweils rechts und links 1 Button zugeordnet ist. Die linken Buttons dienen zum Ein- und Ausblenden der Strukturen. Den Buttons werden die Funktionen zum Aktivieren und Deaktivieren der einzelnen Oberflächenmodelle zugeordnet. Bei Deaktivierung eines Systems werden ebenfalls die dazugehörigen Labels deaktiviert. Den rechten Buttons sind die Aktivierung und Deaktivierung der *Canvas*, die die Labels enthalten, und deren Ankerpunkte zugeordnet. Da immer nur die Labels eines Systems aktiv sein sollen, werden bei Aktivierung einer Labelgruppe alle anderen Gruppen deaktiviert. Außerdem wird dabei das zugehörige Oberflächenmodell ebenfalls eingeblendet, falls dieses nicht bereits aktiv war.



Abbildung 5.4: Screenshot der Strukturübersicht

Die Labels eines Systems befinden sich innerhalb eines *Canvas*, welches sich wiederum als Kind der rechten Hand innerhalb der *Palm* befindet und somit der Position und Rotation der rechten Hand folgt. Die Ankerpunkte der Labels werden mithilfe kleiner Kugeln dargestellt, die je nach ihrer Position als Kind des entsprechenden Gelenks der Hand eingefügt sind, um deren Bewegungen zu folgen. Die Ankerpunkte erhalten ein Skript, dem ein Label zugeordnet werden kann. Das Skript zieht dann mithilfe der *Line Renderer* Komponente von *Unity* eine Linie zwischen dem Ankerpunkt und dem dazugehörigen Begriff. Außerdem passt das Skript die Rotation der Begriffe der Rotation der Kamera an, so dass der Nutzer die Begriffe jederzeit lesen kann.

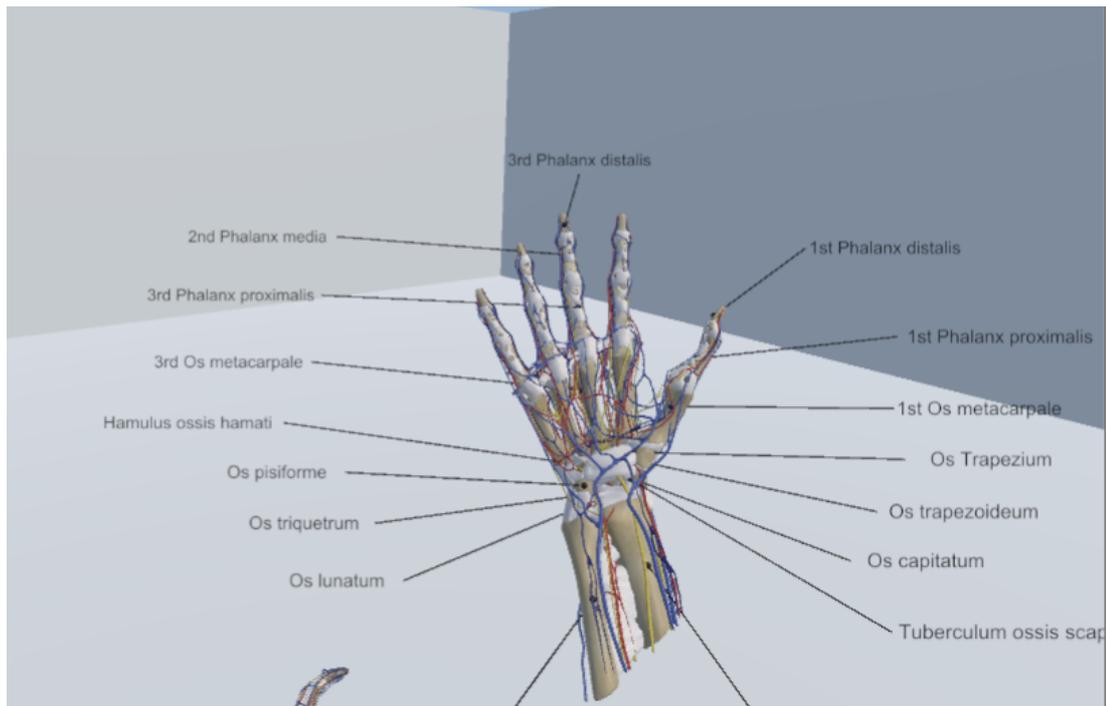


Abbildung 5.5: Screenshot der eingeblendeten Labels der Knochen

6. Evaluierung

Zur Evaluation des Prototyps wurden sowohl qualitative als auch quantitative Methoden zur Datenerhebung genutzt. Mithilfe von Fragebögen wurden quantitative Daten erfasst, wobei diese den Fokus auf Usability, Immersion und SoE legen. Qualitative Daten wurden durch ein Interview mit einem Anatom, sowie durch Beobachtungen und “Lautes Denken” der Probanden während einer Nutzerstudie erhoben. Das Interview mit dem Anatom fand dabei in einer späten Phase des Entwicklungsprozesses statt und die Feldstudie nach Fertigstellung des Prototyps. Bereits während der Entwicklung konnten allerdings auch erste Probleme durch informelle Nutzertests festgestellt werden.

In diesem Abschnitt folgt zunächst eine Erläuterung des Aufbaus und der Durchführung der Nutzerstudie. Anschließend werden die Ergebnisse der erhobenen Daten aus der Nutzerstudie und des Interviews mit dem Anatom ausgewertet und zusammengefasst. Zum Schluss des Abschnitts wird auf mögliche Verbesserungen des Prototyps eingegangen.

6.1 Aufbau der Nutzerstudie

Da eine der Anforderungen an den Prototyp fordert, dass all dessen Funktionen selbstständig in weniger als 10 Minuten entdeckt und angewendet werden können, wird den Testpersonen erklärt, wofür die Anwendung gedacht ist, die Aufgabenstellung aber relativ offen gestaltet. Die Probanden können nach dem Starten der Anwendung diese direkt frei explorieren. Dabei wird beobachtet, welche Funktionen angewendet werden und die Zeit bis zu deren Entdeckung gemessen. Kommt die Testperson dabei nicht weiter, wird ihr Hilfestellung gegeben. Nachdem ein Proband der Meinung ist, alle Funktionen getestet zu haben, wird er auf eventuell noch nicht entdeckte Funktionen hingewiesen. Im direkten Anschluss an dem Testen des Prototyps erhält die Testperson den Fragebogen.

Der Fragebogen wurde als Google Formular⁸ erstellt, da so ein schnelles und unkompliziertes Erstellen des Fragebogens möglich war und die Ergebnisse direkt in digitaler Form vorhanden sind, wodurch diese direkt ausgewertet werden können. Im Anhang befindet sich ein als PDF exportiertes Exemplar dieses Fragebogens. Der Fragebogen umfasst insgesamt fünf

⁸ <https://forms.gle/ULPedZxXZxjNWGEh7>

Abschnitte, die sich unter anderem aus drei standardisierten Fragebögen zusammensetzen. Alle drei Standardfragebögen nutzen eine Likert-Skala, allerdings sowohl mit 5 als auch 7 Merkmalsausprägungen. Um die von den Autoren vorgeschlagenen Auswertungsmethoden zu verwenden, werden diese Skalen so beibehalten.

Zunächst werden allgemeine Angaben zur Person erfragt. Dazu gehören unter anderem die Händigkeit, da diese in der einseitigen Menüführung an der linken Hand eine Rolle spielen kann, Sehschwäche, da diese eine Nutzung unter Umständen sogar unmöglich machen kann, und die bereits vorhandene Erfahrung mit VR-Anwendungen. Des Weiteren wurde nach dem Tätigkeitsfeld gefragt.

Im Anschluss folgen Fragen hinsichtlich der Nutzerfreundlichkeit. Dafür wurden die Fragen des SUS (System Usability Scale) [34] übernommen. Der SUS ist eine etablierte und verbreitete Methode zur Evaluierung der Usability und bietet mit 10 Fragen zuverlässig einen schnellen Überblick zur Einschätzung der Benutzerfreundlichkeit einer Anwendung.

Im dritten Abschnitt des Fragebogens werden Fragen zur Immersion, bzw. der Präsenz gestellt. Für diesen Teil wurden zwei Fragebögen in Erwägung gezogen. Zum einen wurden die Fragen von Witmer und Singer [35] betrachtet, erschienen aber mit 32 Fragen etwas zu umfangreich. Verwendet wurde der Igroup Presence Questionnaire (IPQ)⁹ von Schubert [36], da dieser eine erprobte Methode zum Messen des Präsenzerlebens in einer virtuellen Umgebung darstellt und der Umfang für die Nutzerstudie angemessen erschien.

Eine wichtige Rolle während der Nutzerstudie spielt auch die Frage, ob SoE empfunden wurde, mit der sich der vierte Abschnitt des Fragebogens beschäftigt. Der Abschnitt besteht aus einer Auswahl von Fragen, die von Gonzalez-Franco und Peck [37] aus verschiedenen Studien zusammengetragen wurden. Dabei wurden für diesen Prototyp nicht relevante Fragen nicht übernommen, wie beispielsweise die Fragen zu taktilen Reizen.

Der fünfte und letzte Teil des Fragebogens stellt allgemeine Fragen zur Anwendung. Dazu gehören unter anderem Informationen zur Ermüdung und Übelkeit, als auch dem allgemeinen Empfinden von Freude während der Nutzung. Hinzukommen noch Einschätzungen, ob mit der Anwendung die Handanatomie gelernt werden kann.

6.2 Durchführung der Nutzerstudie

Die Nutzerstudie fand während der Arbeitszeit im Büro bei hummelt und partner | Werbeagentur statt. Um möglichst konsistente und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, liefen die einzelnen Testdurchläufe stets nach dem gleichen Muster ab. Zu den Testpersonen zählten 5 Mitarbeiter der Agentur und 2 von der Agentur unabhängige Studenten. Zunächst wurde allen Anwesenden gesammelt die Rahmenbedingungen erklärt. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig ist und die erhobenen Daten nicht weitergegeben

⁹ <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php> (20.08.2019)

werden und anonym behandelt werden. Des Weiteren wurde kurz das Thema dieser Arbeit erläutert und dass die Anwendung darauf abzielt, Studierende bei dem Erlernen der Handanatomie zu unterstützen.

Die Anwendung wurde dann einzeln in einem geschlossenen Besprechungsraum getestet. Die Testperson wurde dann gefragt, ob sie schon Erfahrung mit der HTC Vive hat. War das nicht der Fall, oder nur sehr wenig Erfahrung vorhanden, gab es eine kurze Einführung zum Umgang mit dem HMD. Außerdem durfte 10 bis 15 Minuten *The Lab* von *Valve* erkundet werden, um mit der HTC Vive und VR vertraut zu werden. Anschließend wurde das Headset wieder abgesetzt, um noch einige Hinweise zum eigentlichen Testlauf zu geben. Die Aufgabenstellung war relativ offen und bestand darin, Form, Lage und Begriffe der Handknochen zu untersuchen, mit dem Hinweis, dass diese anschließend aber nicht abgefragt werden. Abgesehen davon sollen möglichst alle Funktionen selbstständig ausprobiert werden und der Nutzer Bescheid geben, wenn er denkt, alle benutzt zu haben. Es wurde aber betont, dass Fragen jederzeit möglich sind. Zusätzlich wurde noch einmal darauf hingewiesen, dass die Testperson alle Gedanken während der Nutzung nach Möglichkeit laut ausspricht und die grobe Funktionsweise des Leap Motion Controllers erklärt und erwähnt, dass sich die Hände vor der Kamera befinden müssen, um gesehen zu werden.

Während die Testperson den Prototyp testet, wird die Zeit gemessen und notiert, zu welchem Zeitpunkt verschiedene Funktionen zum ersten Mal genutzt wurden, und die Aussagen der Testperson notiert. Zeigte die Testperson an, alle Funktionen ausprobiert zu haben, wurde noch auf eventuell fehlende Funktionen hingewiesen. Anschließend wurde das Headset wieder abgenommen und der Fragebogen am jeweiligen Arbeitsplatz des Mitarbeiters am Computer über einen Link ausgefüllt. Die beiden Probanden, die keine Mitarbeiter waren, füllten den Fragebogen an einem freien Computer aus. Sollte eine Frage unklar sein, konnten auch hier Fragen gestellt werden. Insgesamt hat ein Testdurchlauf inklusive der Einführung mit allen Teilnehmern gemeinsam ungefähr eine halbe Stunde in Anspruch genommen.

Übersicht über den Ablauf:

Einführung ~ 5 Minuten

The Lab ~ 10-15 Minuten

Hinweise zur Aufgabe, Technik des Leap Motion Controllers ~ 2 Minuten

Testen des Prototyps ~ 5 Minuten

Ausfüllen des Fragebogens ~ 5 Minuten

6.3 Ergebnisse

Insgesamt nahmen 4 männliche und 3 weibliche Personen zwischen 18 und 36 Jahren an der Nutzerstudie teil. Die Erfahrung mit VR-Anwendungen war insgesamt gering. 2 der Probanden gaben an, damit bereits vertraut zu sein. Die restlichen 4 hatten nur sehr wenig bis gar keine Erfahrung. Alle Teilnehmer waren allerdings geübt am Computer und nutzen diesen mehrere Stunden am Tag. Die Mitarbeiter der Werbeagentur benutzen dabei täglich im Berufsleben 3D Software und die beiden übrigen Studenten sind in techniknahen Studiengängen eingeschrieben. Alle teilnehmenden Personen waren Rechtshänder. Einige Personen gaben an, an Kurzsichtigkeit zu leiden, diese konnten aber während des Tests nach eigenen Angaben alles erkennen und lesen. Der Prototyp musste von allen Teilnehmern im Sitzen getestet werden, da für den Leap Motion Controller kein langes Kabel zur Verfügung stand, ansonsten traten keine technischen Probleme auf.

Würfelmenü: Nach dem Starten der Anwendung gehörten zu den ersten Reaktionen häufig Aussagen wie „Das ist ja lustig“ oder „Wie cool“. Die Testpersonen waren erstaunt darüber, dass ihre Bewegungen so „flüssig“ und „gut“ dargestellt wurden. Wie zu erwarten, wurde zunächst getestet, wie gut ihre Bewegungen übertragen wurden und dabei ausgiebig die Hände und Finger bewegt. Dabei entdeckten alle Teilnehmer schon nach wenigen Sekunden die beiden Würfel an der linken Hand. Nur eine Person brauchte wenige weitere Sekunden, um zu erkennen, wie das Auftauchen des Würfelmenüs ausgelöst wird. Alle Teilnehmer versuchten dann auch direkt intuitiv mit den Würfeln zu interagieren. Dabei wurde ausnahmslos der obere, rote Würfel zuerst angesteuert. Es wurde schnell verstanden, dass die Würfel gegriffen und wieder losgelassen werden können. Etwas länger hat es gedauert, bis verstanden wurde, dass sie zum Schließen der Kopie/Strukturübersicht wieder an ihren Ankerpunkten platziert werden müssen, wofür eine Person Hilfestellung brauchte. 2 Teilnehmer beschwerten sich beim Erkunden der Kopie und Strukturübersicht darüber, dass diese sich zu weit oben befinden und das anstrengend für die Arme sei. Diese bekamen den Hinweis, dass sie den Würfel auch weiter unten platzieren können. Eine andere Person tat dies intuitiv, nachdem sie bemerkte, dass das Objekt sich zu weit oben befand.

Kopie: Da der rote, obere Würfel immer zuerst ausgewählt wurde, wurde auch die Kopie der Hand schnell gefunden. Hier wurden meistens zunächst die 3 Buttons ausprobiert, welche die Kopie in die Standardansichten rotieren. In einigen Fällen wurde nicht entdeckt, dass auch direkt in die Kopie gegriffen werden konnte, um diese zu drehen, worauf am Ende dann hingewiesen wurde. Beim Drehen der Kopie passierte es häufig, dass einer der drei darunterliegenden Buttons unbeabsichtigt betätigt wurde.

Strukturübersicht: Da der Würfel zum Öffnen der Strukturübersicht durchgehend erst nach dem Öffnen der Kopie stattgefunden hat, waren die Testpersonen schon mit der Funktionsweise der Würfel vertraut. Um die Buttons in dem geöffneten Menü zu drücken, wurden teilweise einige Versuche benötigt. Oftmals wurden auch hier Buttons ungewollt betätigt, während eigentlich ein anderer Button angesteuert wurde. Nachdem die Labels eines

Systems eingeblendet wurden, wurden wiederum die rechte Hand intensiv bewegt, um zu beobachten, wie sich die Ankerpunkte der Labels mitbewegen. Beim Betätigen der Buttons zum Ein- und Ausblenden der Strukturen fragten sich die Probanden, was „da denn jetzt passiert“. Daraufhin wurde gebeten, den Button für die Muskeln zu drücken, woraufhin die Funktion erkannt wurde, da das Ausblenden der Muskeln am deutlichsten sichtbar ist. Gleich mehrere Teilnehmer wollten daraufhin direkt ausprobieren, was passiert wenn alle Strukturen ausgeblendet werden. Da es dahingehend keine Restriktionen gibt, waren sie dann belustigt darüber, ihre Hände nicht mehr sehen zu können und haben sich gefragt, wie sie die Buttons nun wieder finden sollen. Da die Buttons einen Hovereffekt haben, konnte jeder diese wieder mühelos betätigen, um zumindest die Strukturen eines Systems wieder sichtbar zu machen. Da die Kopie immer zuerst geöffnet und wieder geschlossen wurde, hat sich nur eine Person nach dem Erkunden der Strukturübersicht gefragt, ob das Betätigen der Buttons auch die Kopie beeinflusst, und hat dies im Anschluss noch untersucht.

Usability: Die Usability wurde mithilfe des Fragebogens untersucht. Abbildung 6.1 zeigt die einzelnen SUS-Scores der Testpersonen, wobei schnell zu sehen ist, dass die Teilnehmer die Nutzerfreundlichkeit überwiegend gut bewertet haben. Dies spiegelt sich auch im durchschnittlichen SUS-Score von 85 wider. Abbildung 6.2 zeigt einen von Bangor et al. [38] aufgestellten Vergleich von Adjektiven, Akzeptanz und Schulnoten in Relation zum SUS-Score. Demnach ergibt sich aus dem SUS-Score von 85 eine hohe Akzeptanz und eine gute bis exzellente Nutzerfreundlichkeit. Bei der Auswertung der Usability Fragen fiel vor allem auf, dass die erste Frage, ob man sich vorstellen könne, das System regelmäßig zu nutzen, teilweise eher schlecht ausfiel. Das könnte unter Umständen daran liegen, dass durchaus etwas Aufwand dabei entsteht, die HTC Vive anzuschließen und die Umgebung für eine VR-Anwendung bereit zu machen.

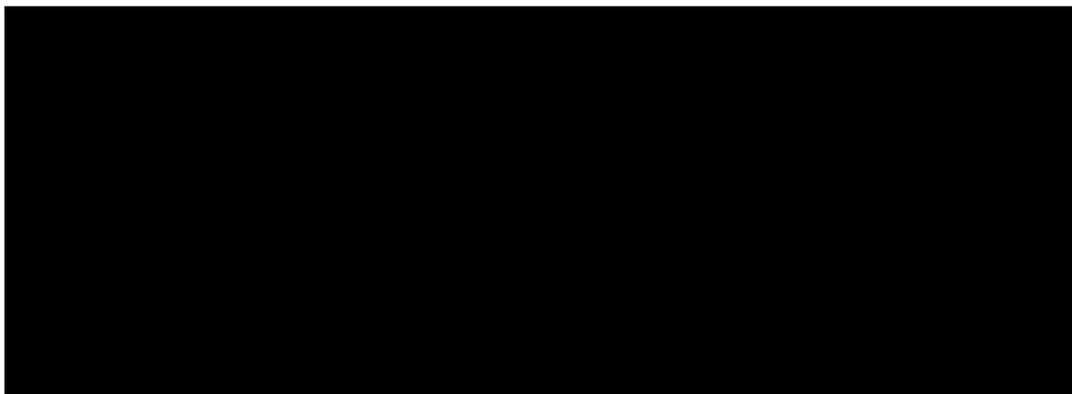


Abbildung 6.1: Vergleich von Adjektiven, Akzeptanz und Schulnoten in Relation zum SUS-Score [38]

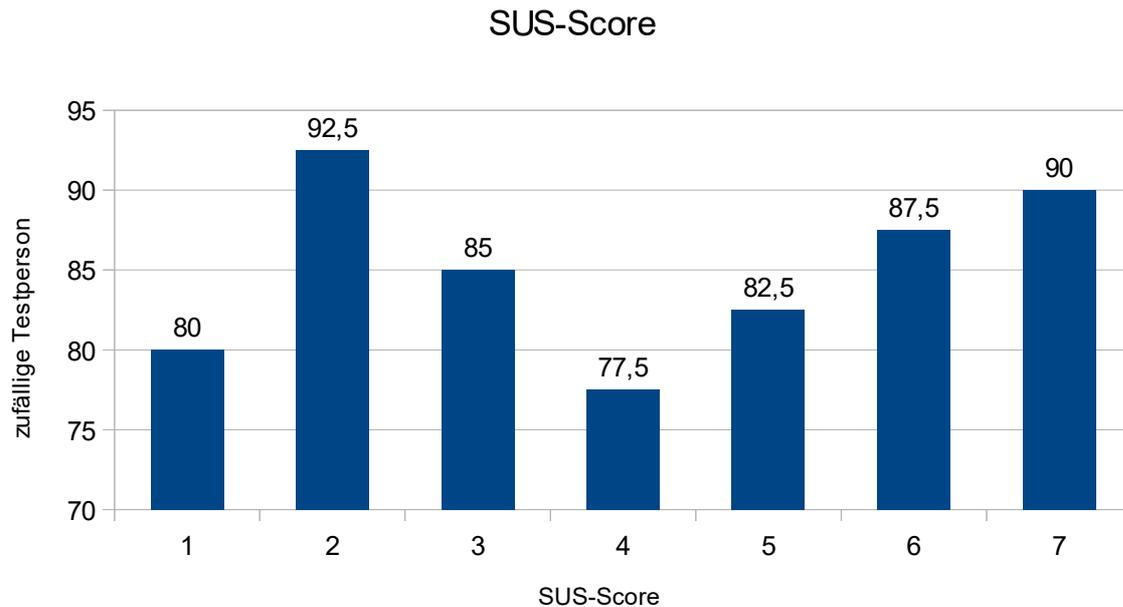


Abbildung 6.2: SUS-Scores, die von den Testpersonen vergeben wurden

Immersion. Abbildung 6.3 zeigt, dass bei den Teilnehmern insgesamt das Gefühl der Präsenz auftrat. Ein Wert -2 entspricht dabei einem gar nicht wahrgenommenen Faktor, bei einem Wert von +2 wurde der Faktor stark wahrgenommen. Der Grad der Involvierung war allerdings sehr gering und die VR-Umgebung wurde als unrealistisch empfunden. Der geringe Grad der Involvierung könnte durch das Interagieren mit dem Versuchsleiter herrühren, da während der Nutzung Fragen gestellt wurden und gegebenenfalls Hilfestellung geleistet wurde. Ein Audiosystem könnte an dieser Stelle ebenfalls zu mehr Involvierung führen. Die Realitätsnähe haben die Testpersonen deutlich negativ bewertet. Dies könnte von der Tatsache herrühren, dass beim Betrachten der eigenen Hände für gewöhnlich außer der Haut keine anatomischen Strukturen zu sehen sind. In einem späteren Abschnitt des Fragebogens wurde die Frage, ob die Ansicht der Hände als befremdlich empfunden wurde, allerdings verneint.

SoE: Die Auswertung der Fragen zu SoE zeigt, dass bei den Teilnehmern während der Anwendung SoE gegenüber den virtuellen Händen aufgetreten ist. Abbildung 6.4 zeigt die drei Aspekte Ownership, Agency und Location von SoE und deren durchschnittlich empfundenen Werte. Wie beim Präsenzerleben entspricht ein Wert von -2, dass der Aspekt gar nicht empfunden wurde, und bei einem Wert von +2 wurde der Aspekt stark empfunden. Alle drei Aspekte erzielten in der Studie mit einem Wert von mindestens 1,5 durchweg positive Werte. Den niedrigsten Wert erhielt Sense of Agency, was daran liegen könnte, dass die virtuellen Hände hin und wieder ruckelnde Bewegungen machen, wenn der Leap Motion Controller diese nicht richtig erfassen kann, was zum Beispiel der Fall ist, wenn eine Hand die andere teilweise verdeckt. Ein Wert von 1,5 lässt aber trotzdem darauf schließen, dass die Testpersonen das Gefühl hatten, die Kontrolle über die Hände zu haben.

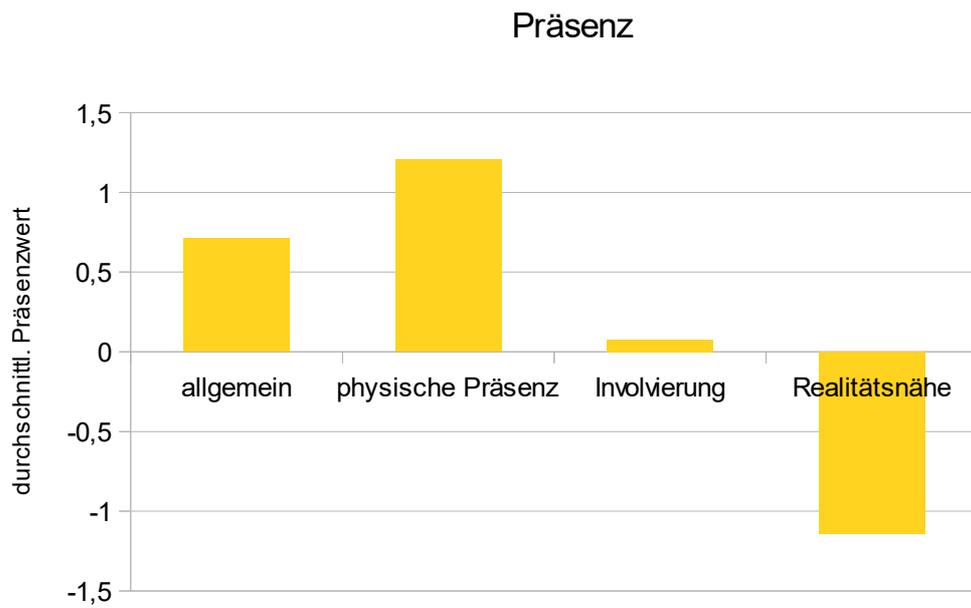


Abbildung 6.3: durchschnittliche Werte der einzelnen Präsenzfaktoren

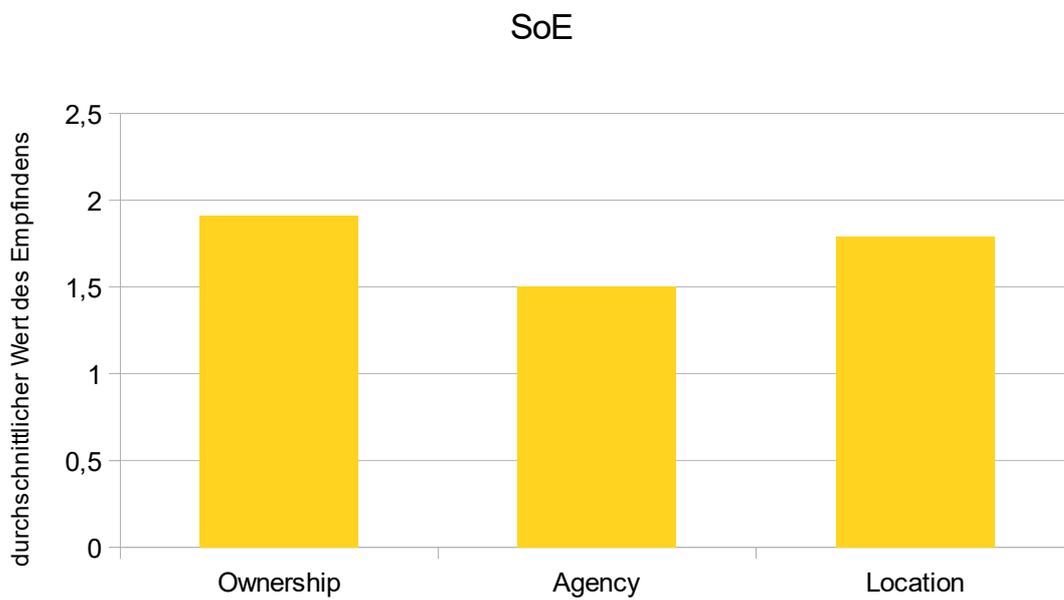


Abbildung 6.4: durchschnittliche Werte zum Empfinden der SoE-Aspekte

6.4 Erfüllung der Anforderungen und Verbesserungsvorschläge

In diesem Abschnitt wird auf die Erfüllung der in Abschnitt 3 ermittelten Anforderungen eingegangen. Wegen der zeitlichen Begrenzung dieser Arbeit konnten nicht alle Funktionen des im Abschnitt 4 vorgestellten Konzepts umgesetzt werden. Es wurde versucht, alle essentiellen und notwendigen Anforderungen zu erfüllen.

Handmodell: Auf das Erfüllen der Anforderungen an die virtuellen Hände wurde bereits bei der Auswahl des Handmodells geachtet. Dem Handmodell fehlen dabei einige Strukturen, was für den Prototyp aber verschmerzbar ist, da auch mit wenigen fehlenden Strukturen untersucht werden kann, ob SoE gegenüber den virtuellen Händen empfunden wird und ob dies den Lernprozess unterstützen kann. Die Anzahl der ermittelten Strukturen sollte nochmal mit einem Anatomen abgesprochen werden. Des Weiteren fehlt eine Darstellung der Hände mit Haut. Um einen realistischen Eindruck der anatomischen Strukturen zu vermitteln, bedarf es vor allem bei der Animation, bzw. dem Erstellen der Skelettstruktur und dem Zuweisen der Oberflächenmodelle zu einzelnen Knochen, noch der Überarbeitung, um zum Beispiel Muskeln korrekt zu verformen. Des Weiteren wäre es für die Realitätsnähe sinnvoll, 3D-Modelle zu nutzen, die mithilfe von Schnittbildern erzeugt wurden, wie beispielsweise von Zilverschoon et al. [39] beschrieben.

Strukturübersicht (essentiell): Eine Übersicht über die Strukturen ist durch das Menü mit den Buttons zum ein- und ausblenden der Strukturen und Labels gegeben.

Strukturen ein-/ausblenden (essentiell): Die Strukturen können über die Strukturübersicht ein- und ausgeblendet werden, was immer sowohl beide Hände als auch die Handkopie betrifft. Allerdings fehlt die im Konzept vorgestellte Funktion der Transparenz, statt des vollständigen Ein- und Ausblendens.

Labels ein-/ausblenden (essentiell): Die Labels können ebenfalls ein- und ausgeblendet werden, im Prototyp wurden allerdings nur die Strukturen von zwei Systemen mit Labels versehen. Dabei werden immer nur die Labels eines Systems gleichzeitig und nur Labels von sichtbaren Strukturen angezeigt. Die Labels passen sich der Blickrichtung des Nutzers an und sind jederzeit lesbar. Die Anforderungen an die Darstellung der Labels sind dabei nicht vollständig erfüllt. Insbesondere die Forderungen, dass sich die Labels nicht überlagern dürfen und die Verbindungslinien sich nicht kreuzen sollen, gestaltet sich ohne dynamisches Layout durch die ständige Bewegung der Hände als schwierig. Ein Algorithmus zur dynamischen Anpassung des Layouts ist hier zu empfehlen.

erweiterte Informationen (wünschenswert): Die Funktion erweiterte Informationen anzuzeigen wurde nicht umgesetzt.

Kopie anzeigen (notwendig): Der Nutzer hat die Möglichkeit, eine Kopie der Hand im Raum zu erzeugen.

Kopie Standardansichten (wünschenswert): Die Kopie kann durch verschiedene Buttons zu Standardansichten rotiert werden. Die Buttons befinden sich unterhalb der Kopie, was dazu

führte, dass diese unbeabsichtigt betätigt wurden, während zum Rotieren in die Kopie gegriffen wurde. Es sollte daher über eine bessere Anordnung dieser Buttons nachgedacht werden.

Kopie rotieren (notwendig): Die Kopie kann durch Greifen vom Nutzer frei rotiert werden.

Querschnittsansicht (notwendig): Diese Funktion wurde nicht umgesetzt.

SoE (essentiell): Die Auswertung des Fragebogens ergab, dass in der Nutzerstudie SoE gegenüber den virtuellen Händen empfunden wurde. Dabei wurde angegeben, dass alle drei Teilaspekte von SoE in relativ hohem Maße auftraten.

intuitive Bedienbarkeit (notwendig): Mit einem SUS-Score von durchschnittlich 85, was einer guten bis exzellenten Nutzerfreundlichkeit entspricht, wird diese Anforderung tendenziell als erfüllt angesehen, lässt aber noch Raum für Verbesserungen offen.

7. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein Lösungsansatz zum Thema SoE als Unterstützung in der Anatomieausbildung vorgestellt. Ziel dabei ist es, traditionelle Lernmethoden in der Anatomieausbildung mithilfe von 3D-Modellen und VR zu ergänzen. Dafür wurde untersucht, ob in einer interaktiven, immersiven VR-Anwendung, in der Nutzer anatomische Handmodelle durch ihre eigenen Bewegungen steuern können, SoE gegenüber den virtuellen Handmodellen empfunden wird. Zunächst wurden dazu die Grundlagen zur Anatomieausbildung und verschiedene computergestützte Lernprogramme vorgestellt und Probleme der traditionellen Lernmethoden aufgezeigt. Um zu untersuchen, inwiefern die Anatomieausbildung durch VR und SoE unterstützt werden kann, wurden diese beiden Begriffe erläutert. Als Basis für diese Untersuchungen wurden aufbauend auf den Grundlagen Anforderungen an einen Prototyp gestellt und dieser konzipiert und implementiert. Im Anschluss fand eine Evaluierung des umgesetzten Prototyps statt, in der sowohl eine Nutzerstudie als auch ein Interview mit einem Anatomen zum Einsatz kamen.

7.1 Diskussion

Die Auswertung der Nutzerstudie und das Interview mit dem Anatomen hat ergeben, dass eine VR-Anwendung, wie sie der Prototyp vorstellt, einen Mehrwert als Ergänzung zu herkömmlichen Lernmethoden in der Anatomieausbildung bieten kann. Nach Aussagen der Testpersonen, ist die Anwendung einfach zu nutzen. Eine wichtige Rolle spielte die Untersuchung, ob beim Nutzen der Anwendung SoE gegenüber den anatomischen Händen auftritt, was in der Studie bejaht wurde. Allerdings gibt es auch noch einige Verbesserungen vorzunehmen. Auch wenn die Anwendung bereits einen relativ hohen SUS-Score erzielte, wurden bei der Beobachtung der Nutzer mehrere Aspekte bemerkt, die nicht optimal abliefen, wie zum Beispiel das unbeabsichtigte Betätigen von Buttons. Ein wichtiger Aspekt wäre auch ein dynamisches Layout der Labels, so dass diese sich den Bewegungen der Hände und der Kamera anpassen.

7.2 Ausblick

Der in dieser Arbeit umgesetzte Prototyp bietet grundlegende Funktionen zur Untersuchung der Handanatomie. Dabei wurden nicht alle im Konzept vorgestellten Funktionen realisiert, diese sollten zunächst noch implementiert werden. Des Weiteren ergab vor allem das Gespräch mit dem Anatomen noch weitere Ideen zur Funktionserweiterung, die allerdings über den Umfang dieser Arbeit hinausgegangen wären. Zum einen gab es Überlegungen dazu, ob die Kopie der Hand ebenfalls den Bewegungen des Nutzers folgen sollte, statt unbewegt im Raum zu schweben, oder dies zumindest als Option bereitzustellen. Weiterhin wäre es sinnvoll, wenn die einzelnen Strukturen auch einzeln ausgewählt werden können, um diese ein- und auszublenden, und nicht nur ganze Systeme. Dafür kam auch schnell die Diskussion nach einem geeigneten Selektionsverfahren auf, da das vorhandene Menü in der Strukturübersicht für eine solch große Anzahl von Strukturen nicht ausgelegt ist. Dabei ergab sich, dass eine Sprachsteuerung die Anwendung in vielerlei Hinsicht bereichern würde. Zum einen könnten so die Strukturen selektiert und gesteuert werden, und zum anderen würden die Begriffe der Strukturen vom Nutzer ausgesprochen werden müssen. Würden die Begriffe zusätzlich von einem Audiosystem ausgegeben werden, hätte das Aussprechen und Hören der Begriffe einen weiteren positiven Effekt auf das Verinnerlichen der Begriffe. Wie bereits erwähnt wäre es außerdem sinnvoll, ein dynamisches Layout der Labels zu entwerfen.

Da die Nutzerstudie nur mit wenigen Probanden stattfand, sollte zudem eine weitere Evaluierung mit einer größeren Anzahl an Testpersonen erfolgen. Diese sollten im Gegensatz zu den Personen in der hier durchgeführten Studie aus der Zielgruppe stammen. Zwar wurde festgestellt, dass tendenziell SoE gegenüber den anatomischen Händen empfunden wurde und die Anwendung einen Mehrwert in der Anatomieausbildung bieten kann, dieser Mehrwert im Lernprozess wurde allerdings noch nicht untersucht und dementsprechend nicht nachgewiesen. Daher sollte nach dem Vornehmen der Verbesserungen noch eine Studie darüber folgen, inwieweit der Lernprozess tatsächlich von SoE und dem Prototyp unterstützt wird.

Literaturverzeichnis

- [1] B. Preim und P. Saalfeld, „A survey of virtual human anatomy education systems“, *Computers & Graphics*, Jg. 71, S. 132–153, 2018.
- [2] E. N. Marieb und K. Hoehn, *Human Anatomy & Physiology*, 7. Aufl. Pearson Education, 2007.
- [3] M. Keehner, P. Khooshabeh und M. Hegarty, „Individual Differences Among Users: Implications for the Design of 3D Medical Visualizations“, 2015.
- [4] J.-L. Lugin, J. Latt und M. E. Latoschik, Hg., *Avatar anthropomorphism and illusion of body ownership in VR*, 2015.
- [5] S. C. Marks, „The role of three-dimensional information in health care and medical education: The implications for anatomy and dissection“, *Clin. Anat.*, Jg. 13, Nr. 6, S. 448–452, 2000.
- [6] H. Brenton *et al.*, „Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching“, *Computers & Education*, Jg. 49, Nr. 1, S. 32–53, 2007.
- [7] K. H. Hohne *et al.*, „A 'virtual body' model for surgical education and rehearsal“, *Computer*, Jg. 29, Nr. 1, S. 25–31, 1996.
- [8] D. Pohlandt und B. Preim und P. Saalfeld, Hg., *Supporting Anatomy Education with a 3D Puzzle in a Virtual Reality Environment - Results from a Pilot Study*, 2019.
- [9] H. Towfigh, R. Hierner, M. Langer und R. Friedel, *Handchirurgie*. Berlin Heidelberg: Springer, 2011.
- [10] B. Hirt, H. Seyhan, M. Wagner und R. Zumhasch, *Hand and Wrist Anatomy and Biomechanics*, 1. Aufl. Thieme, 2017.
- [11] Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, *Der menschliche Körper: Wie funktioniert die Hand? Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG)*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-die-hand.2223.de.html>. Zugriff am: Aug. 31 2019.
- [12] I. E. Sutherland, „The Ultimate Display“, *Proceedings of the IFIP Congress*, S. 506–508, 1965.
- [13] R. Dörner, W. Broll, P. Grimm und B. Jung, *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.
- [14] W. R. Sherman und A. B. Craig, „Understanding Virtual Reality: interface, application, and design“, 2003.
- [15] M. Slater und R. B. Lotto und M. V. Sanchez-Vives, „How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement“, *Anuario de Psicologia*, Jg. 40, Nr. 2, S. 193–210, 2009.
- [16] K. Kilteni, R. Groten und M. Slater, „The Sense of Embodiment in Virtual Reality“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 21, Nr. 4, S. 373–387, 2012.
- [17] B. Lenggenhager, M. Mouthon und O. Blanke, „Spatial aspects of bodily self-consciousness“, *Consciousness and cognition*, Jg. 18, Nr. 1, S. 110–117, 2009.
- [18] O. Blanke und T. Metzinger, „Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood“ (eng), *Trends in cognitive sciences*, Jg. 13, Nr. 1, S. 7–13, 2009.
- [19] C. Lopez, P. Halje und O. Blanke, „Body ownership and embodiment: Vestibular and multisensory mechanisms“ (eng), *Neurophysiologie clinique*, Jg. 38, Nr. 3, S. 149–161, 2008.
- [20] M. Tsakiris, „My body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership“,

Neuropsychologia, Jg. 48, Nr. 3, S. 703–712, 2010.

- [21] M. Tsakiris und P. Haggard, „The rubber hand illusion revisited: Visuotactile integration and self-attribution“ (eng), *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, Jg. 31, Nr. 1, S. 80–91, 2005.
- [22] M. Costantini und P. Haggard, „The rubber hand illusion: Sensitivity and reference frame for body ownership“, *Consciousness and cognition*, Jg. 16, Nr. 2, S. 229–240, 2007.
- [23] H. Holle, N. McLatchie, S. Maurer und J. Ward, „Proprioceptive drift without illusions of ownership for rotated hands in the "rubber hand illusion" paradigm“, *Cognitive neuroscience*, Jg. 2, 3-4, S. 171–178, 2011.
- [24] Frank H. Netter, *Atlas der Anatomie des Menschen*, 3. Aufl. Saunders Elsevier, 2006.
- [25] T. Götzelmann, K. Ali, K. Hartmann und T. Strothotte, „Form Follows Function: Aesthetic Interactive Labels“, *Proc. of Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*, S. 193–200, 2005.
- [26] Ina Schaefer, *Anforderungsanalyse: Software Engineering I*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/isf/sse/v2-re.pdf>. Zugriff am: Aug. 27 2019.
- [27] M. Slater, B. Spanlang, M. V. Sanchez-Vives und O. Blanke, „First person experience of body transfer in virtual reality“ (eng), *PloS one*, Jg. 5, Nr. 5, e10564, 2010.
- [28] V. I. Petkova, M. Khoshnevis und H. H. Ehrsson, „The perspective matters! Multisensory integration in ego-centric reference frames determines full-body ownership“, *Frontiers in psychology*, Jg. 2, S. 35, 2011.
- [29] N. Franck *et al.*, „Defective recognition of one's own actions in schizophrenic patients“, *American Journal of Psychiatry*, Jg. 158, Nr. 3, S. 454–459, 2001.
- [30] S. Oeltze-Jafra und B. Preim, Hg., *Survey of Labeling Techniques in Medical Visualizations*, 2014.
- [31] D.S. Tan, G.G. Robertson und M. Czerwinski, „Exploring 3D Navigation: Combining Speed-coupled Flying with Orbiting“, *Proc. of the SIGCHI*, S. 418–425, 2001.
- [32] A. T. Stull, M. Hegarty und R. E. Mayer, „Getting a handle on learning anatomy with interactive three-dimensional graphics“, *Journal of Educational Psychology*, Jg. 101, Nr. 4, S. 803–816, 2009.
- [33] B. Preim und R. Dachsel, *Interaktive Systeme: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces*, 2. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.
- [34] J. Brooke, „SUS - A quick and dirty usability scale“, *Usability evaluation in industry*, Jg. 189, Nr. 194, S. 4–7, 1996.
- [35] B. G. Witmer und M. J. Singer, „Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 7, Nr. 3, S. 225–240, 1998.
- [36] T. W. Schubert, „Präsenzerleben in virtuellen Umgebungen: Eine Skala zur Messung von räumlicher Präsenz, Involviertheit und Realitätsurteil“, *Zeitschrift für Medienpsychologie*, Jg. 15, S. 69–71, 2003.
- [37] M. Gonzalez-Franco und T. C. Peck, „Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire“ (English), *Front. Robot. AI*, Jg. 5, S. 74, 2018.
- [38] A. Bangor, P. Kortum und J. Miller, „Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding

an Adjective Rating Scale“, *Journal of Usability Studies*, Jg. 4, Nr. 3, S. 114–123, 2009.

- [39] M. Zilverschoon, K. L. Vincken und R. L. A. W. Bleys, „The virtual dissecting room: Creating highly detailed anatomy models for educational purposes“, *Journal of biomedical informatics*, Jg. 65, S. 58–75, 2017.

Anhang

Der Anhang beinhaltet den PDF-Export des Fragebogens zur Nutzerstudie. Dieser wurde als Google Formular angelegt und auch so in der Studie verwendet.

Allgemeine Angaben

Die erhobenen Daten dienen ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken und werden vollkommen anonym behandelt.

1. Alter

2. Geschlecht

Markieren Sie nur ein Oval.

männlich

weiblich

3. Händigkeit

Markieren Sie nur ein Oval.

Rechtshänder

Linkshänder

4. Sehschwächen

5. Tätigkeit

6. Schätzen Sie Ihre Erfahrung mit VR-Anwendungen ein.

Markieren Sie nur ein Oval.

0 1 2 3 4

keine weit fortgeschritten

Fragen zur Anwendung

Sie sehen in den folgenden 4 Abschnitten Fragen bzw. Aussagen darüber, wie und was Sie erleben. Bitte geben Sie jeweils an, ob die Aussage zutrifft oder nicht. Sie können die gesamte Breite der Antwortmöglichkeiten nutzen. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten, es zählt nur Ihre Meinung.

Und bitte denken Sie daran: beantworten Sie alle Fragen jeweils in Bezug auf dieses eine Erlebnis.

Usability

7. Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

8. Ich empfinde das System als unnötig komplex.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

9. Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

10. Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

11. Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

12. Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

13. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.*Markieren Sie nur ein Oval.*

	0	1	2	3	4	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

14. Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4		
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

15. Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4		
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

16. Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4		
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme voll zu				

Immersion**17. In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein.***Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6		
überhaupt nicht	<input type="radio"/>	sehr stark						

18. Ich hatte das Gefühl, daß die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6		
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu						

19. Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6		
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu						

20. Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6		
hatte nicht das Gefühl	<input type="radio"/>	hatte das Gefühl						

21. Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu					

22. Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu					

23. Wie bewußt war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
extrem bewußt	<input type="radio"/>	unbewußt					

24. Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewußt.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu					

25. Ich achtete noch auf die reale Umgebung.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu					

26. Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu					

27. Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
vollkommen real	<input type="radio"/>	gar nicht real					

28. Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6	
überhaupt nicht	<input type="radio"/>	vollständig					

29. Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6	
wie eine vorgestellte Welt	<input type="radio"/>	nicht zu unterscheiden von der realen Welt					

30. Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6	
trifft gar nicht zu	<input type="radio"/>	trifft völlig zu					

Embodiment**31. Ich hatte das Gefühl, dass die virtuellen Hände meine eigenen Hände sind.***Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

32. Ich hatte das Gefühl, die gesehene virtuellen Hände gehörten jemand anderem.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

33. Ich hatte das Gefühl, eventuell mehr als zwei Hände zu haben.*Markieren Sie nur ein Oval.*

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

34. Ich hatte das Gefühl, dass ich die virtuellen Hände wie meine eigenen Hände kontrollieren konnte.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

35. Die Bewegungen der virtuellen Hände wurden von meinen Bewegungen erzeugt.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

36. Ich hatte das Gefühl, dass die Bewegungen der virtuellen Hände meine eigenen Bewegungen beeinflusst haben.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

37. Ich hatte das Gefühl, dass sich die virtuellen Hände von allein bewegt haben.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

38. Ich hatte das Gefühl, dass meine Hände sich an der Position der virtuellen Hände befinden.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

39. Ich hatte das Gefühl, mich außerhalb meines Körpers zu befinden.

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	5	6	
stimme gar nicht zu	<input type="radio"/>	stimme vollkommen zu					

Sonstiges

40. **Schätzen Sie den Grad der Übelkeit ein, den Sie beim Nutzen der Anwendung erlebten.**

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	
keine <input type="radio"/>	unerträgliche Übelkeit				

41. **Schätzen Sie den Grad der Ermüdung ein, den Sie beim Nutzen der Anwendung erlebten.**

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	
keine <input type="radio"/>	vollkommene Erschöpfung				

42. **Schätzen Sie den Grad der Freude ein, den Sie beim Nutzen der Anwendung erlebten.**

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	
keine <input type="radio"/>	große Freude				

43. **Wie empfanden Sie die Darstellung der Hände?**

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	
sehr befremdlich <input type="radio"/>	angenehm				

44. **Schätzen Sie ein, wie gut Sie mit der Anwendung Form, Lage und Beschaffenheit einzelner anatomischer Strukturen untersuchen konnten.**

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	
sehr schlecht <input type="radio"/>	sehr gut				

45. **Schätzen Sie ein, wie gut Sie mit der Anwendung den anatomischen Strukturen Begriffe zuordnen konnten.**

Markieren Sie nur ein Oval.

0	1	2	3	4	
sehr schlecht <input type="radio"/>	sehr gut				

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!
