

**Aus der Klinik für Allgemeine-, Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker



Der Magic Mirror

—

**Analyse und Bewertung einer Augmented Reality Technologie für die
anatomische Lehre**

Dissertation

**zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München**

vorgelegt von

**Ina Sybille Seelbach
aus Siegen**

2017

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Ekkehard Euler

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Stefan Wirth
Prof. Dr. Stefan Milz
Prof. Dr. Martin Fischer
Prof. Dr. Ulrich Brunner

**Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:** Dr. med. Anna Maria von der Heide

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 12.10.2017

Eidesstattliche Versicherung

Seelbach, Ina Sybille

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Der Magic Mirror – Analyse und Bewertung einer Augmented Reality Technologie
für die anatomische Lehre**

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient
und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind,
als solche kenntlich gemacht habe und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der
Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorliegende Dissertation nicht in gleicher oder in
ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades ein-
gereicht wurde.

München, 17.10.2017

Ort, Datum

Ina Seelbach

Unterschrift Doktorandin

INHALT

INHALT

1. EINLEITUNG	1
1.1 FORSCHUNGSVORHABEN	1
1.2 GESCHICHTE UND NEUERE ENTWICKLUNGEN IN DER ANATOMISCHEN LEHRE	2
1.3 EINFÜHRUNG IN DIE TECHNOLOGIE DER AUGMENTED REALITY	5
1.4 ZIELSETZUNG UND HYPOTHESEN	9
2. MATERIAL UND METHODEN	12
2.1 DER MAGIC MIRROR	12
2.2 AUSWAHL DES ZU VERGLEICHENDEN LERNMITTELS	17
2.3 ERHEBUNG DER DATEN	18
2.4 DATENSPEICHERUNG UND STATISTIK	18
3. DIE PILOTSTUDIE	21
3.1 MATERIAL UND METHODEN DER PILOTSTUDIE	22
3.1.1 LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPS	22
3.1.2 KONZEPTION DES FRAGEBOGENS	25
3.2 ERGEBNISSE DER PILOTSTUDIE	26
4. DIE EXPERIMENTELLE STUDIE	28
4.1 MATERIAL UND METHODEN DER EXPERIMENTELLEN STUDIE	28
4.1.1 AUSWAHL DER LERNEINHEIT	28
4.1.2 KONZEPTION DER LERNEINHEITEN	30
4.1.2.1 KONZEPTION DER LERNEINHEIT MAGIC MIRROR	30
4.1.2.2 KONZEPTION DER LERNEINHEIT ANATOMIEATLAS	39
4.1.3 BESTIMMUNG DER ZIELGRUPPE	39
4.1.4 AUSWAHL DER BEWERTUNGSMETHODE	40
4.1.5 KONZEPTION DES FRAGEBOGENS	41
4.2 DURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG DER EXPERIMENTELLEN STUDIE	43
4.2.1 DURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG DER LERNEINHEIT MAGIC MIRROR	43
4.2.2 DURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG DER LERNEINHEIT ANATOMIEATLAS	44
4.3 ERGEBNISSE DER EXPERIMENTELLEN STUDIE	44
4.3.1 DEMOGRAPHISCHE DATEN DER STICHPROBE	44
4.3.2 GEGENÜBERSTELLUNG VON BEWERTUNGEN DER EXPERIMENTGRUPPEN MAGIC MIRROR UND ANATOMIEATLAS	46
4.3.3 GEGENÜBERSTELLUNG DER PERFORMANZ DER EXPERIMENTGRUPPEN MAGIC MIRROR UND ANATOMIEATLAS	61
5. DISKUSSION	68
5.1 DISKUSSION DER PILOTSTUDIE	68
5.2 DISKUSSION DER EXPERIMENTELLEN STUDIE	73
5.3 EINORDNUNG DES AR-SYSTEMS MAGIC MIRROR IN BESTEHENDE LERNMITTEL DER ANATOMISCHEN LEHRE	85
5.4 AUSBLICK	87
6. ZUSAMMENFASSUNG	90

INHALT

7. LITERATURVERZEICHNIS	93
8. ANHANG	106
8.1 TECHNISCHE DATEN DES MIRCROSOFT KINECT	106
8.2 FRAGEBOGEN DER PILOTSTUDIE ZUM MAGIC MIRROR	107
8.3 LERNEINHEIT ANATOMIEATLAS DER EXPERIMENTELLEN STUDIE	109
8.4 FRAGEBOGEN DER EXPERIMENTELLEN STUDIE	118
8.5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	126
8.6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	128
8.6.1 ABBILDUNGEN	128
8.6.2 TABELLEN	129
8.7 BISHER VERÖFFENTLICHTE TEILASPEKTE DIESER ARBEIT	131
9. DANKSAGUNG	132

1. EINLEITUNG

1.1 FORSCHUNGSVORHABEN

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen eines Projektes der Forschungsgruppe Navigation and Augmented Reality Visualization System (NARVIS) erstellt. Die Forschungsgruppe NARVIS ist eine Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Informatikanwendungen in der Medizin & Augmented Reality unter der Leitung von Prof. N. Navab der Technischen Universität (TU) München und einer Gruppe von Ärzten der Klinik für Allgemeine-, Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München unter der Leitung von Prof. Dr. E. Euler.¹ Neben Ärzten und Informatikern gehören auch Ingenieure zu diesem interdisziplinären Team welches das Ziel hat, Technologien zu entwickeln, die es Ärzten ermöglicht Patienten effektiver und sicherer zu diagnostizieren und zu behandeln.²

Das der Arbeit zugrunde liegende Projekt Magic Mirror wurde im Jahre 2012 durch einen Prototypen realisiert, der sich auf die Darstellung von Knochen, wichtigen Organen sowie Schnittbildern von Computer Tomographen (CT) und Magnet Resonanz Tomographen (MRT) des menschlichen Abdomens und Thorax beschränkt.³ Die Idee des Magic Mirrors basiert auf der Projektion von oben genannten Strukturen auf den Körper des jeweiligen Benutzers, so dass die Illusion entsteht, in seinen eigenen Körper hineinschauen zu können.⁴ Von der Möglichkeit der realistischen Darstellung anatomischer Strukturen auf dem Körper des Benutzers sollen insbesondere Auszubildende und Studierende medizinischer Fachrichtungen profitieren.⁵

Die im weiteren Verlauf zu untersuchende Fragestellung lautet, ob neue Technologien, wie der auf Augmented Reality (AR) basierende Magic Mirror, zu einer effektiven Vermittlung anatomischen Wissens führen und somit Investitionen rechtfertigen. Als Forschungsmethoden ergeben sich aus dieser Fragestellung ein konzeptionelles Vorgehen sowie eine empirische Analyse. Um zunächst die Akzeptanz sowie mögliche Einsatzfelder dieser neuen Lernmethoden zu eruieren, wurde der Prototyp im April 2014 Studenten der Humanmedizin im ersten Studienjahr in einer Anatomievorlesung vorgestellt. Der

¹ Vgl. Homepage des NARVIS Forschungslabor URL: <http://campar.in.tum.de/Main/NarvisLabNew> (abgerufen am 23.10.2015).

² Vgl. Homepage der Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der LMU Innenstadt URL: <http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Klinik-fuer-Allgemeine-Unfall-Hand-und-Plastische-Chirurgie/de/forschung/narvis/index.html> (abgerufen am 23.10.2015).

³ Vgl. Blum et al. (2012), S. 115.

⁴ Vgl. Blum et al. (2012), S. 115.

⁵ Vgl. Blum et al. (2012), S. 115.

EINLEITUNG

Vorstellung folgte eine Befragung mittels Fragebogen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Befragung wurde von 06/2015 bis 09/2015 der Prototyp weiterentwickelt und eine Lerneinheit erstellt. Dabei lag der Fokus auf der Darstellung von Knochen des Ober- und Unterarmes sowie ausgewählter Muskeln für die Extension, Flexion, Pronation und Supination des Ellbogengelenks. Parallel erfolgte die Erstellung einer Lerneinheit basierend auf einem Anatomieatlas, der ebenfalls die oben genannten Themengebiete abdeckte.

Im Zeitraum von 09/2015 bis einschließlich 11/2015 erfolgte die Evaluation des weiterentwickelten Prototyps des Magic Mirrors hinsichtlich seiner Effektivität ausgewählte Aspekte der Anatomie des Armes zu vermitteln. Dabei wurde er einem Vergleich mit dem etablierten Lernmittel Anatomieatlas unterzogen. Für diesen Zweck wurde mittels einer Befragung und eines Wissenstests eine empirische Erhebung durchgeführt. Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit soll daher überprüft werden, ob das AR-System Magic Mirror das Erlernen menschlicher Anatomie verbessert und weitere Investitionen für die Etablierung als Lernmittel rechtfertigt.

1.2 GESCHICHTE UND NEUERE ENTWICKLUNGEN IN DER ANATOMISCHEN LEHRE

Das Verständnis des anatomischen Aufbaus des Menschen ist grundlegendes Wissen für die Ausübung des Arztberufes.⁶ Entsprechend ist die Lehre der Anatomie ein unverzichtbarer Bestandteil der Medizinausbildung seit deren Ursprüngen. Gesellschaftliche Fortschritte und technologische Innovationen führten zu einer stetigen Erweiterung des anatomischen Wissens und dessen Vermittlung, wobei insbesondere Anatomieatlanten, Sektionen und anatomische Plastikmodelle den Einzug in den Unterricht der Medizinstudierenden fanden.⁷

Die Anfänge der Wissensvermittlung über die Anatomie des Menschen sind insbesondere auf die Werke von griechischen Ärzten der Antike, wie Hippokrates (460 – 377 v. Chr.), Cornelius Celsus (um 30 v. Chr. – 38 n. Chr.) oder Claudius Galenos (129 – 199 n. Chr.) zurück zu führen.⁸ Zwar eröffneten die Ägypter viele tausende Jahre zuvor Leichen für

⁶ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 243.

⁷ Vgl. Chien et al. (2010), S. 1.

⁸ Vgl. Eckart (2005), S. 11ff.

EINLEITUNG

die religiöse Einbalsamierung und Mumifizierung, allerdings dokumentierten oder studierten sie die entnommenen Organe nicht.⁹ Vielmehr galt das Ausräumen der Eingeweide als Entstellung der Toten. Claudius Galenos dagegen, der als kaiserlicher Leibarzt und Gladiatorenarzt tätig war, hinterließ in seinem Werk „Corpus Galenicum“ Schriften über Osteologie und Myologie, auch dokumentierte er die Funktion von Muskeln und den Aufbau des Skeletts.¹⁰ Diese Beschreibungen basierten allerdings hauptsächlich auf der Sektion von Schweinen, Affen und Hunden und bildeten das Standardwerk der Anatomie für circa dreizehnhundert Jahre ohne nennenswerte Fortschritte in der weiteren Erforschung des Menschen.¹¹

Leonardo da Vincis (1452-1514) Werke führten schließlich dazu, dass die Darstellungen des menschlichen Körpers in der bildenden Kunst realistischer wurden. Er bemerkte, dass zwischen seinen Beobachtungen am menschlichen Körper und den Lehrbüchern eine Diskrepanz bestand und begann menschliche Körper zu sezieren.¹² Er widmete sich insbesondere der topographischen Anatomie und den Körperproportionen, wie beispielsweise in seinem bekannten Werk des vitruvianischen Mannes.¹³

Andreas Vesalius (1514-1564) läutete eine neue Epoche der Anatomie ein. Im Laufe seiner Forschungen stellte er fest, dass die Werke Galenos auf tierischen Körpern beruhten.¹⁴ Mit seinen sieben Büchern „De humani corporis fabrica libri septem“ entstanden die ersten umfassenden, auf menschlichen Kadavern beruhenden Lehrbücher der makroskopischen Anatomie, die viele Jahrhunderte die Standardwerke der Wissensvermittlung waren.¹⁵ Während der Renaissance etablierte sich die Sektion von menschlichen Leichen als wesentliche Grundlage der medizinischen Lehre, wobei Studenten diese nur observierten ohne aktiv zu sezieren.¹⁶

Während des 17. Jahrhunderts konnte das anatomische Wissen aufgrund von Entdeckung in der Mikroskopie erweitert werden.¹⁷ Rudolf Virchow (1821-1902) als bekanntester Vertreter dieser Zeit, veröffentlichte in über 450 Bänden des Archivs für pathologische Anatomie, Physiologie und für klinische Medizin einige seiner Werke, mittlerweile als „Virchows Archiv“ bekannt.¹⁸ Es entstanden zahlreiche zu Krankenhäusern gehörige

⁹ Vgl. Marg (1990), S. 86ff.

¹⁰ Vgl. Eckart (2005), S. 11ff.

¹¹ Vgl. Eckart (2005), S. 11ff.

¹² Vgl. Veltman (1992), S. 287ff.

¹³ Vgl. Veltman (1992), S. 287ff.

¹⁴ Vgl. Eckart (2005), S. 85ff.

¹⁵ Vgl. Eckart (2005), S. 85ff.

¹⁶ Vgl. Eckart (2005), S. 85ff.

¹⁷ Vgl. Eckart (2005), S. 199f.

¹⁸ Vgl. Eckart (2005), S. 199f.

EINLEITUNG

Anatomie-Schulen, wobei die menschlichen Leichen die verstorbenen Patienten des jeweiligen Krankenhauses waren.¹⁹ Studenten hatten zunehmend die Möglichkeit aktiv eine Sektion durchzuführen, was als moderne Wissensvermittlung galt.²⁰

Stetiger Wissenszuwachs führte dazu, dass sich während des 19. und 20. Jahrhunderts die Teilgebiete der systematischen, topografischen und pathologischen Anatomie sowie die Physiologie und die Biochemie entwickelten.²¹

Hinsichtlich der anatomischen Wissensvermittlung in der Vergangenheit ist zu konstatieren, dass viele Jahrhunderte insbesondere Bücher, deren Abbildungen teilweise auf tierischen anatomischen Strukturen beruhten, der Wissensvermittlung dienten. Es wurden auch Sektionen von Leichen durchgeführt, diese waren allerdings lange Zeit aufgrund religiöser Gründe oder in Ermangelung von Kadavern selten. Erst seit der Renaissance konnte die Sektion von menschlichen Kadavern in der medizinischen Ausbildung etabliert werden. Neben Büchern und Sektionen spielte auch die sogenannte lebende Anatomie eine Rolle in der Wissensvermittlung.²² In Vorlesungen wurde anhand lebender Menschen vor allem Bewegungen und oberflächliche Topographie gelehrt.²³

Die gegenwärtige Anatomiedidaktik für Studierende der Humanmedizin basiert derzeit auf folgenden Säulen. Zentraler Bestandteil der anatomischen Lehre an den meisten Universitäten ist die Sektion von menschlichen Leichen. In Gruppen mit bis zu 10 Studenten werden vorgegebene anatomische Strukturen systematisch freigelegt und studiert.²⁴ Die Präparation dieser Strukturen vermittelt den Studenten dreidimensionales anatomisches Wissen, das durch taktile Informationen ergänzt wird.²⁵ Darüber hinaus dienen Vorlesungen, Atlanten der Anatomie sowie Plastikmodelle der Vor- und Nachbereitung.²⁶ Neben diesen Lernmitteln gibt es in der jüngeren Vergangenheit neue technologische Fortschritte hinsichtlich einer multimedialen und computer-gestützten Wissensvermittlung.²⁷ Dem zugrunde liegen zum einen stetige Fortschritte in der Informationsverarbeitungstechnologie, wie beispielsweise neue Darstellungsformen, stark erhöhte Rechen- und Speicherkapazitäten sowie neue Übertragungsmöglichkeiten und -geschwindigkeiten.²⁸

¹⁹ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 244.

²⁰ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 244.

²¹ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 244.

²² Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 245f.

²³ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 245f.

²⁴ Vgl. Sugand et al. (2010), S. 83f.

²⁵ Vgl. Winkelmann (2007), S. 16.

²⁶ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 252f.

²⁷ Vgl. Tam et al. (2009), S. 393.

²⁸ Vgl. Chien et al. (2010), S. 1.

Zum anderen sind Organisation und Durchführung von Sektionen als zentraler Bestandteil der anatomischen Wissensvermittlung ethisch kontrovers diskutiert, sehr aufwändig und folglich mit einem hohen Zeit- und Personalaufwand verbunden.²⁹ Auch existieren keine wissenschaftlichen Studien, die die Wirksamkeit von Sektionen für das Erlernen der menschlichen Anatomie nachweisen.³⁰ Dies führte an vielen Universitäten und Ausbildungsstätten zu einer Reduktion von Sektionen im Lehrplan, was demzufolge einen Bedarf an alternativen, effizienten Lehrmethoden andeutet.³¹

Der Grundgedanke der computer-gestützten anatomischen Wissensvermittlung ist die dreidimensionale, detaillierte Darstellung verschiedener Körperstrukturen, wie beispielsweise Muskeln, Knochen oder innere Organe vor dem Hintergrund ihrer topographischen Lage im menschlichen Körper.³² Der menschliche Körper ähnelt einem virtuellen Bausatz, dessen Körperstrukturen beliebig „herausgenommen“ und studiert werden können. Eine Weiterentwicklung der dreidimensionalen Darstellungsform ist die Verwendung von so genannter AR, die im nächsten Abschnitt erläutert werden soll.

1.3 EINFÜHRUNG IN DIE TECHNOLOGIE DER AUGMENTED REALITY

Der Begriff AR beschreibt eine computergestützte Darstellung und Wahrnehmung der realen Welt, die durch die Abbildung virtueller Inhalte erweitert wird.³³ Die Wahrnehmung dieser virtuellen Informationen kann durch verschiedene Sinne erfolgen, wie beispielsweise durch Hören, Riechen, Tasten und Sehen.³⁴ Vor diesem Hintergrund ist das Ziel von AR dem Benutzer durch die Bereitstellung zusätzlicher Informationen das Leben zu vereinfachen.³⁵

Eine der ersten AR-Technologien wurde 1938 von dem österreichischen Mathematiker Steinhaus entwickelt.³⁶ Er entwarf ein geometrisches Layout, in dem ein Lichtpunkt auf

²⁹ Vgl. Patel / Moxham (2008), S. 182f.; Verhoeven et al. (2002), S. 711f.; McLachlan et al. (2004), S. 419.

³⁰ Vgl. u.a. Winkelmann (2007), S. 20; Stanford et al.(1994), S. 250; McWorther / Forester (2004), S. 146.

³¹ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 245ff.; Vasan (2003), S. 479; Chien et al. (2010), S. 1f; McCuskey et al. (2005), S. 349.

³² Vgl. Juan et al. (2008), S. 186; Yip / Rajendran (2008), S. 47.

³³ Vgl. Carmigniani / Furht (2011), S. 3.

³⁴ Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 303.

³⁵ Vgl. Carmigniani / Furht (2011), S. 3.

³⁶ Vgl. Sielhorst et al. (2008), S. 451.

EINLEITUNG

genau die Körperstelle projiziert wird, wo sich eine von außen nicht sichtbare Kugel im Inneren des Patienten befindet. Weitere AR Prototypen, wie das „Kino der Zukunft“, welches von dem Kameramann Heilig zwischen 1950 und 1962 entwickelt wurde oder der von Sutherland im Jahr 1968 generierte „see through head-mounted display“, folgten.³⁷ Letztgenannter stellte das erste AR System dar, bei dem der Benutzer auf einem am Kopf befestigten Bildschirm schauen konnte.³⁸

Der Begriff Augmented Reality wurde trotz bereits bestehender Theorien und verschiedenen Prototypen erst durch Tom Caudell und David Mizell, Mitarbeiter der Firma Boeing, Anfang der 90er Jahre geprägt. Sie versuchten die Montage von Kabeln und Drähten eines Flugzeuges zu vereinfachen.³⁹ In den folgenden Jahren wurde schließlich die Begrifflichkeit der Augmented Reality auch in Hinblick des Begriffs der Virtual Reality durch Paul Milgram und Fumio Kishino exakter definiert. AR versteht sich demnach als ein „Reality-Virtuality-Continuum“⁴⁰, welches die reale und die virtuelle Umwelt gleichzeitig darstellt. Dabei überwiegt jedoch die Darstellung der realen Umwelt.⁴¹ Dagegen versetzen Virtual Reality-Technologien den Benutzer ausschließlich in eine künstliche Umwelt, die keine Bestandteile der realen Umwelt enthält.

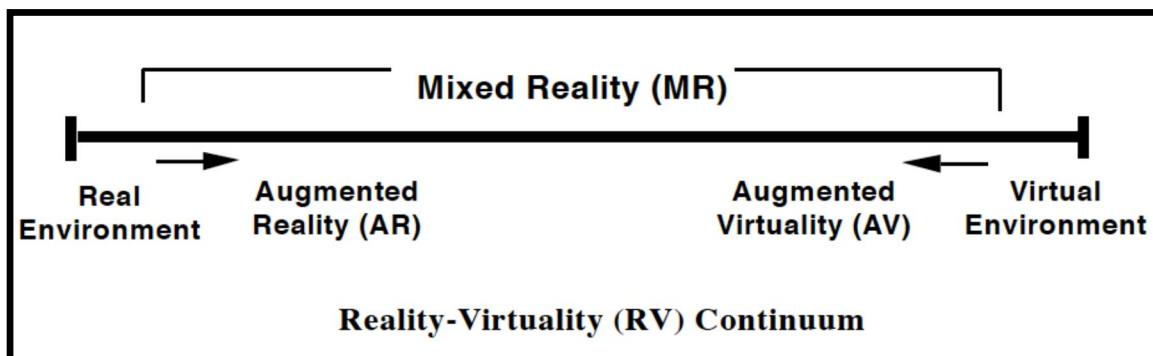


Abbildung 1: Das Reality-Virtuality-Continuum von P. Milgram und F. Kishino.⁴²

Basierend auf dem oben dargestellten „Reality-Virtuality-Continuum“ erfuhren der Begriff AR zwar je Autor unterschiedliche Definitionen, allerdings weisen diese meist eine gewisse Ähnlichkeit untereinander auf. Beispielsweise liefern nach Azuma et al. (2001) AR-Systeme die Möglichkeit, dass virtuelle und reale Objekte im gleichen Raum koexistieren und dabei alle Sinne des Benutzers ansprechen.⁴³ Basierend auf dieser Koexistenz

³⁷ Vgl. Carmigniani / Furht (2011), S. 4.

³⁸ Vgl. Carmigniani / Furht (2011), S. 4.

³⁹ Vgl. Caudell / Mizell (1992), S. 659 ff.

⁴⁰ Vgl. Milgram / Kishino (1994), S. 3.

⁴¹ Vgl. Milgram et al. (1994), S. 283ff.

⁴² Vgl. Milgram / Kishino (1994), S. 3.

⁴³ Vgl. Azuma et al. (2001), S. 34.

von virtuellen und realen Objekten definieren El Sayed et al. (2011) AR-Systeme als Hinzufügen von, in der realen Welt nicht vorhandenen Informationen durch virtuelle Objekte.⁴⁴ Beispiele für solche virtuellen Objekte sind Bilder, Videoclips, Texte oder Animationen.⁴⁵ Eine breitere Definition vertreten dagegen Wojciechowski / Cellary (2013), die AR als Erweiterung von Virtueller Realität mit zusätzlichen Vorteilen auffassen.⁴⁶ Für die vorliegende Arbeit soll die Definition von Carmigniani / Furht (2011) gelten, die AR als „real time direct or indirect view of physical real-world environment that has been enhanced / *augmented* by adding virtual computer-generated information to it“⁴⁷ verstehen.

Wie oben bereits erwähnt, werden AR-Systeme in vielen Bereichen der Bildung genutzt, wie beispielsweise im Ingenieurwesen, in der Betriebswirtschaftslehre, in Rechtswissenschaften, in Kunstwissenschaften oder in der Medizin.⁴⁸ Viele Studien offenbaren dabei einen hohen Nutzen für die Wissensvermittlung, in dem AR-Systeme die Motivation und Aufmerksamkeit im Lernprozess erhöhen, Interaktionen erleichtern, Informationen just-in-time liefern oder dem Nutzer Spaß bereiten und folglich den Lernerfolg steigern.⁴⁹ Darüber hinaus bedarf es keines Experten oder Anweisers, der die Leistung des Nutzers bzw. Schülers oder Studenten permanent beobachtet.⁵⁰ Weitere Vorteile sind insbesondere in den medizinischen Disziplinen von Bedeutung. So können AR-Systeme einen Blick in das Innere des menschlichen Körpers vermitteln, ohne dass invasive Maßnahmen an einem Patienten durchgeführt werden müssen.⁵¹ Auch können invasive Maßnahmen, wie laparoskopische Operationstechniken zuvor an einem Modell geübt werden, was die Patientensicherheit erhöht.⁵² Frenk et al. (2010) belegen zudem, dass durch AR-Technologien Lernumgebungen entstehen, in denen sich Medizinstudenten Kernkompetenzen, wie das Treffen von Entscheidungen und effektives Teamwork aneignen können.⁵³ Gleichzeitig sind AR-Systeme aber auch mit Nachteilen behaftet. Diese betreffen besonders die noch nicht völlig ausgereifte und damit fehleranfällige Technologie, so dass der

⁴⁴ Vgl. El Sayed et al. (2011), S. 1045f.

⁴⁵ Vgl. Bower et al. (2014), S. 1.

⁴⁶ Vgl. Wojciechowski / Cellary (2013), S. 570.

⁴⁷ Carmigniani / Furht (2011), S. 3.

⁴⁸ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 139.

⁴⁹ Vgl. Liu / Chu (2010), S. 635; Di Serio et al. (2013), S. 590; Jara et al. (2011), S. 2459; Chang et al. (2014), S. 190; Billinghamurst / Duenser (2012), S. 58ff.; Tarnig / Ou (2012), S. 64; Lee (2012), S. 17ff.; Rasimah et al. (2011), S. 1378.

⁵⁰ Vgl. Billinghamurst / Duenser (2012), S. 60; Kamphuis et al. (2014), S. 302.

⁵¹ Vgl. De Paolis et al. (2011), S. 577ff.

⁵² Vgl. Zhu et al. (2014), S. 2.

⁵³ Vgl. Frenk et al. (2010), S. 1931ff.

EINLEITUNG

Nutzer möglicherweise schnell frustriert ist, wenn die auf AR basierte Applikation nicht wie gewünscht funktioniert und keine Wissensvermittlung stattfinden kann.⁵⁴ Weitere Studien kritisieren, dass der Nutzer durch zu viele virtuelle Informationen abgelenkt und somit der Lernprozess negativ beeinträchtigt wird.⁵⁵

Basierend auf den vielfältigen Anwendungsgebieten von AR-Systemen für die Wissensvermittlung stellt sich die Frage nach der zugrunde liegenden Lerntheorie, die durch die meisten wissenschaftlichen Studien allerdings nicht beantwortet wird.⁵⁶ Bei denen sich einer Lerntheorie bedienenden Studien wird deutlich, dass unterschiedliche theoretische Konzepte angewendet werden, je nachdem wie das AR-System konzipiert ist. Dem entsprechend greifen Squire / Jan (2007) mit ihrem auf AR basierten Spiel für das Erlernen von wissenschaftlicher Argumentation auf eine spiel-basierte Lerntheorie zurück.⁵⁷ Sakellariou et al. (2009) erwähnen die Theorie des aktionsbasierten Lernens. Die Wissenschaftler entwickelten ein AR-System, welches das Erlernen der Anatomie des menschlichen Leistenkanals vereinfachen soll.⁵⁸ Weitere angewendete Lerntheorien sind die des situierten Lernens sowie des ortsbasierten Lernens.⁵⁹

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit soll der Einsatz von AR-Systemen für die Wissensvermittlung im medizinischen Bereich näher beleuchtet werden. Zahlreiche Studien belegen hier verschiedene Anwendungsgebiete, wie im Bereich der Rehabilitation für die Verbesserung des physikalischen Outcomes, für das Erlernen von laparoskopischen und konventionellen Operationstechniken, für den Einsatz im Bereich von E-Health oder für die Vermittlung von Wissen von komplexen physiologischen Abläufen.⁶⁰ Einen guten Überblick über die Verwendung von AR-Systemen im breiten Einsatzgebiet der Medizin liefern Zhu et al. (2014).⁶¹

In der jüngsten Vergangenheit werden AR-Technologien auch für die anatomische Wissensvermittlung eingesetzt.⁶² Beispiele für eine solche anatomische Wissensvermittlung

⁵⁴ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 141.

⁵⁵ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 141.

⁵⁶ Vgl. Zhu et al. (2014), S. 10.

⁵⁷ Vgl. Squire / Jan (2007), S. 10.

⁵⁸ Vgl. Sakellariou (2009), S. 605.

⁵⁹ Vgl. Zhu et al. (2014) S. 10.

⁶⁰ Vgl. Al-Issa et al. (2012), S. 24; Ong et al. (2011), S. 603 ff.; Thomas et al. (2010), S. 6ff; Kamphuis et al. (2014), S. 306; Botden / Jakimowicz (2009), S. 1697.

⁶¹ Vgl. Zhu et al. (2014).

⁶² Vgl. Cristancho et al. (2011), S. 344ff.; Kamphuis et al. (2014), S. 306.

mittels einer AR Technologie sind das sogenannte "Bangor Augmented Reality Education Tool for Anatomy (BARETA)", welches basierend auf MRT-Daten die Anatomie des menschlichen Ventrikelsystems darstellt.⁶³ Juan et al. (2008) entwickelten ein AR-System, mit dem der Nutzer mittels eines HMD-Displays die Organe des Abdomens studieren kann.⁶⁴ Weitere erwähnenswerte AR-Systeme für die anatomische Lehre liefern, wie oben bereits beschrieben, auch Sakellariou et al. (2009) mit ihrer Programmierung des menschlichen Leistenkanals⁶⁵ oder das Projekt des Magic Mirrors, welches im weiteren Verlauf dieser Dissertation thematisiert wird.

Es kann geschlussfolgert werden, dass die Nutzung von AR Technologien positive Lerneffekte in vielen Bereichen der Bildung beinhaltet. Der spezifische Nachweis eines positiven Lerneffektes des Magic Mirrors auf das Erlernen der menschlichen Anatomie fehlt allerdings bislang.⁶⁶ Stattdessen zeigt sich, dass das Potenzial von AR-Technologien für die anatomische Wissensvermittlung noch nicht vollständig ausgeschöpft wurde.⁶⁷ Vor dem Hintergrund der Frage, ob AR Technologien einen wertvollen Beitrag für das Erlernen der menschlichen Anatomie liefern und folglich Sektionen als Lernmittel ergänzen oder gar ersetzen können, ist ein empirischer Nachweis eines positiven Lerneffektes jedoch unerlässlich, um eine Integration in das medizinische Curriculum zu rechtfertigen.⁶⁸

1.4 ZIELSETZUNG UND HYPOTHESEN

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, das AR-System Magic Mirror einem Vergleich mit dem bereits etablierten Lernmittel Anatomieatlas zu unterziehen. In diesem Zusammenhang soll in einer Pilotstudie und in einem prospektiv randomisierten Experiment der Fragestellung nachgegangen werden, ob die Nutzung des Magic Mirrors einen signifikant besseren Lerneffekt hinsichtlich der Bewertung und der Performanz in einem Wissenstest im Vergleich zum Anatomieatlas bedingt.

⁶³ Vgl. Thomas et al. (2010), S. 7ff.

⁶⁴ Vgl. Juan et al. (2008), S. 186ff.

⁶⁵ Vgl. Sakellariou et al. (2009), S. 606ff.

⁶⁶ Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 308.

⁶⁷ Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 307.

⁶⁸ Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 309.

EINLEITUNG

In der Pilotstudie wird die Akzeptanz von AR-Systemen für das Erlernen anatomischen Wissens überprüft. Es werden konkrete technische Aspekte für die Personalisierung und für die Ausschöpfung des AR-Systems Magic Mirror abgeleitet.

Für Pilotstudie sollen folgende Hypothesen gelten:

H0: Die Nutzung von AR-Systemen in Form des Magic Mirror Prototypen für das Erlernen von anatomischem Wissen wird abgelehnt.

H1: Der Nutzung von AR-Systemen in Form des Magic Mirror Prototypen für das Erlernen von anatomischem Wissen wird zugestimmt.

Der auf die Pilotstudie folgende Vergleich eines AR-Systems in der Form des personalisierten Magic Mirrors mit dem traditionellen Lernmittel Anatomieatlas für die anatomische Lehre umfasst dabei die folgenden Aspekte:

Auswirkungen des Magic Mirrors / des Anatomieatlas auf ...

- die *Motivation* des Lernens
- die *Qualität des Lernens*
- das *dimensionale Verständnis* von definiertem anatomischen Wissen
- das Ausmaß des erlangten anatomischen Wissens

Für das prospektiv randomisierte Experiment werden folgende Hypothesen aufgestellt:

H0: Die Nutzung von AR-Systemen in Form des personalisierten Magic Mirrors im Vergleich zum Lernmittel Anatomieatlas liefert gleichwertige Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung sowie hinsichtlich des Ausmaßes des erlangten anatomischen Wissens.

H1: Die Nutzung von AR-Systemen in Form des personalisierten Magic Mirrors im Vergleich zum Lernmittel Anatomieatlas liefert bessere Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung sowie hinsichtlich des Ausmaßes des erlangten anatomischen Wissens.

EINLEITUNG

Die vorgestellten Forschungsfragen dienen der Beurteilung von AR-Systemen als potenzielles effizientes Lernmittel. Neben der Identifizierung von möglichen Vorteilen und Potenzialen solcher Systeme, soll diese Untersuchung weitere Informationen für eine kritische Kosten-Nutzen-Analyse liefern.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 DER MAGIC MIRROR

Die erste Version des Magic Mirrors wurde im Jahre 2012 von der NARVIS Forschungsgruppe entwickelt. Dieser Prototyp hat einen spiegelbildlichen Effekt, in dem auf Abdomen oder Thorax des vor einem großen Bildschirm stehenden Nutzers ein „Guckloch“ projiziert wird, welches Einblicke in Form von CT- und MRT- Bildern sowie Fotografien in das Innere des Körpers liefert.⁶⁹

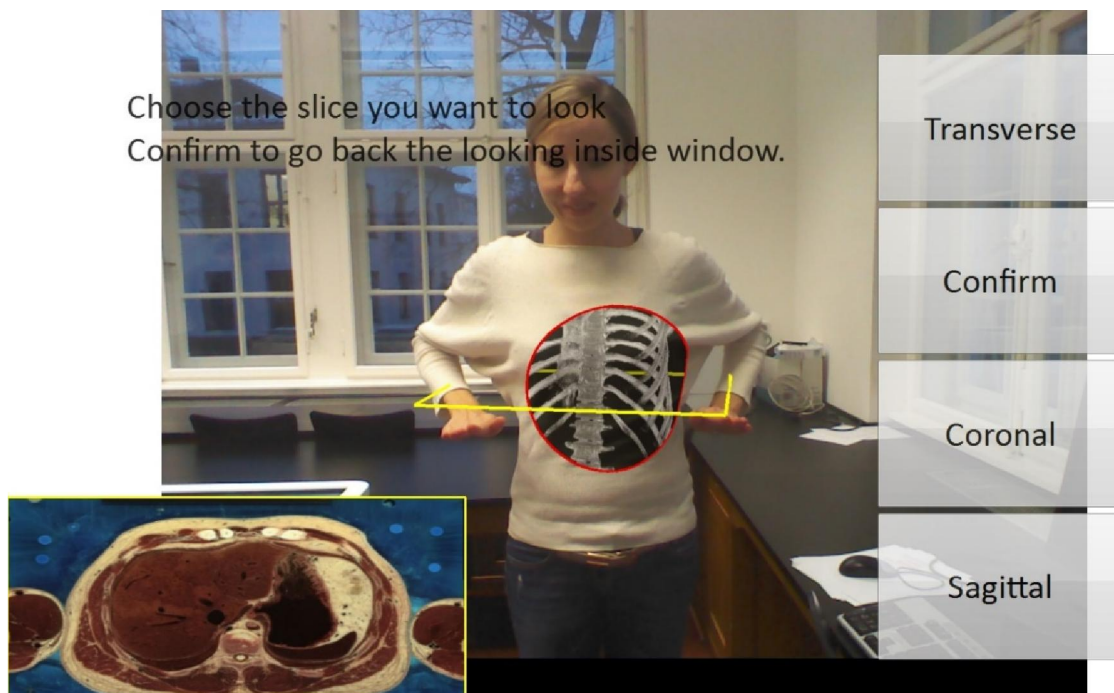


Abbildung 2: Der Magic Mirror Prototyp.

Die projizierten Bilder stammen allerdings nicht vom jeweiligen Nutzer des Magic Mirrors, sondern vom sogenannten Visible Korean Human, einem Datensatz mit CT- und MRT-Schnittbildern sowie Fotos von Sektionen.⁷⁰ Um die Bilder des Visible Korean Human den Proportionen des jeweiligen Nutzers anzupassen, werden fünf definierte Knochenpunkte des Nutzers registriert, die als Orientierungsrahmen dienen. Diese sind das rechte und linke Akromion, die rechte und linke Spina iliaca anterior superior sowie das Manubrium sterni.⁷¹ Folglich wird der Bilderdatensatz so dargestellt, dass beispielsweise das Manubrium sterni des Visible Korean Human auf das Manubrium sterni des Nutzers projiziert wird.

⁶⁹ Vgl. Blum et al. (2012), S. 115; Navab et al. (2012), S. 49.

⁷⁰ Vgl. Park et al. (2006), S. 218.

⁷¹ Vgl. Ma et al. (2013), S. 278.

Für die Erkennung von Geschlecht und Alter des Nutzers wird die Software OpenBR (Biometric Recognition)⁷² verwendet, die anhand dieser beiden Merkmale einen kompatiblen Datensatz heraussucht.⁷³

Der Nutzer des Magic Mirrors kann durch Handbewegungen zwischen einer sagittalen, transversalen oder koronaren Ansicht der Schnittbilder wählen. Neben Schnittbildern ermöglicht der Magic Mirror die dreidimensionale Darstellung weiterer Organe mit zusätzlichen Textinformationen sowie ein Anatomie-Quiz. Diese Funktionen sollen im Kapitel 3.1.2 Lerneinheit des Magic Mirror Prototyps näher erläutert werden.

Die für die Nutzung des Magic Mirrors benötigte **Hardware** besteht aus folgenden Komponenten: ein großflächiger TV-Bildschirm mit HDMI-Anschluss, eine Farbkamera, eine Tiefenkamera sowie ein Laptop oder PC mit der vorinstallierten Software. Der Magic Mirror verwendet den Microsoft Kinect⁷⁴, der aus einer integrierten Farb- und Tiefenkamera besteht und die Bewegungen sowie die bereits beschriebenen knöchernen Orientierungspunkte des Benutzers erkennt.⁷⁵ Der Microsoft Kinect fungiert somit als Tracking-System⁷⁶, um die Lokalisation und die Orientierung von Objekten zu erfassen. Die Auswahl eines Tracking-Systems basiert auf bestimmten Kriterien, wie etwa dem Ort der Nutzung (Außen- oder Innenbereich), dem Ausmaß des Trackings sowie den finanziellen Möglichkeiten.⁷⁷

Der Microsoft Kinect sollte so positioniert werden, dass dieser frontal vor dem Nutzer steht. Der Körper und die Bewegungen des vor dem Bildschirm stehenden Nutzers werden vom Microsoft Kinect erfasst und skaliert, zeitgleich durch virtuelle Objekte ergänzt und schließlich auf dem Bildschirm präsentiert. Als **Software** dient das für das Tracking von Bewegungen entwickelte Programm OpenNi.⁷⁸

⁷² Vgl. Klontz et al. (2013), S. 1ff.

⁷³ Vgl. Ma et al. (2015), S. 7.

⁷⁴ Siehe Anhang 8.1 Technische Daten des Microsoft Kinect für weitere Informationen.

⁷⁵ Tiefen- und Farbkameras dienen der Bewegungserkennung im Nahbereich für die Interaktion zwischen Mensch und Computer. Mittels eines Infrarotsensors, einer Infrarotkamera und einer Rot-Grün-Blau-Kamera als Teilkomponenten dieses Systems, werden Tiefe und Farbinformationen zur räumlichen Information umgewandelt. Der Infrarotsensor sendet dabei ein codiertes Punktmuster aus, welches je nach Szene spezifisch reflektiert und von einem CMOS-Sensor (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) empfangen und in ein Rot-Grün-Blau Bild umgewandelt wird. Vgl. für weitere Informationen Erhardt (2008).

⁷⁶ Nach Wojciechowski / Cellary (2013) wird zwischen marker-basierten, markerlosen und lokalisationsbasierten Tracking-Systemen unterschieden. Marker-basierte Tracking-Systeme nutzen farbig markierte Labels, die durch die Kameras des AR-Systems registriert werden und Elemente der virtuellen Realität exakt auf die Marker projizieren. Markerlose Tracking-Systeme basieren auf der Erkennung der Form von Objekten, wie beispielweise der in dieser Arbeit verwendete Microsoft Kinect. Lokalisationsbasierte Tracking Systeme projizieren virtuelle Realität auf Basis der geographischen Position des Nutzers.

⁷⁷ Vgl. Thomas et al. (2010), S. 8.

⁷⁸ Vgl. Blum et al. (2012), S. 115.

MATERIAL UND METHODEN

Im Zeitraum von 06/2015 bis 09/2015 wurde der Prototyp auf Basis der Ergebnisse der Pilotstudie⁷⁹ in Kooperation mit dem NARVIS Forschungslabor weiterentwickelt und personalisiert. Das Ziel dieser Weiterentwicklung war die Darstellung von Knochen und ausgewählten Muskeln für die Bewegungen Flexion, Extension, Pronation und Supination des Armes. Dabei sollten sich die bei den oben genannten Bewegungen aktiven Muskeln analog zu den Bewegungen des Benutzers extendieren und kontrahieren sowie farblich hervorgehoben werden.

Neben der bereits erläuterten **Hardware** wurde eine neuere Version des Microsoft Kinects mit erhöhter Datenkapazität benötigt. Dieser Microsoft Kinect V2 beinhaltet eine 1920 x 1080 Pixel Farbkamera mit einer Bildfrequenz von 30 pro Sekunde sowie einer 512 x 424 Pixel Infrarot Kamera für die Tiefendetektion.⁸⁰ Aufgrund der erhöhten Datenkapazität des Microsoft Kinect V2 mussten Laptop oder PC über einen USB 3.0 Anschluss sowie das Betriebssystem Windows 8 oder höher verfügen. Folgende schematische Graphik verdeutlicht die für den weiterentwickelten Magic Mirror verwendete Hardware und die Verbindung der einzelnen Komponenten.

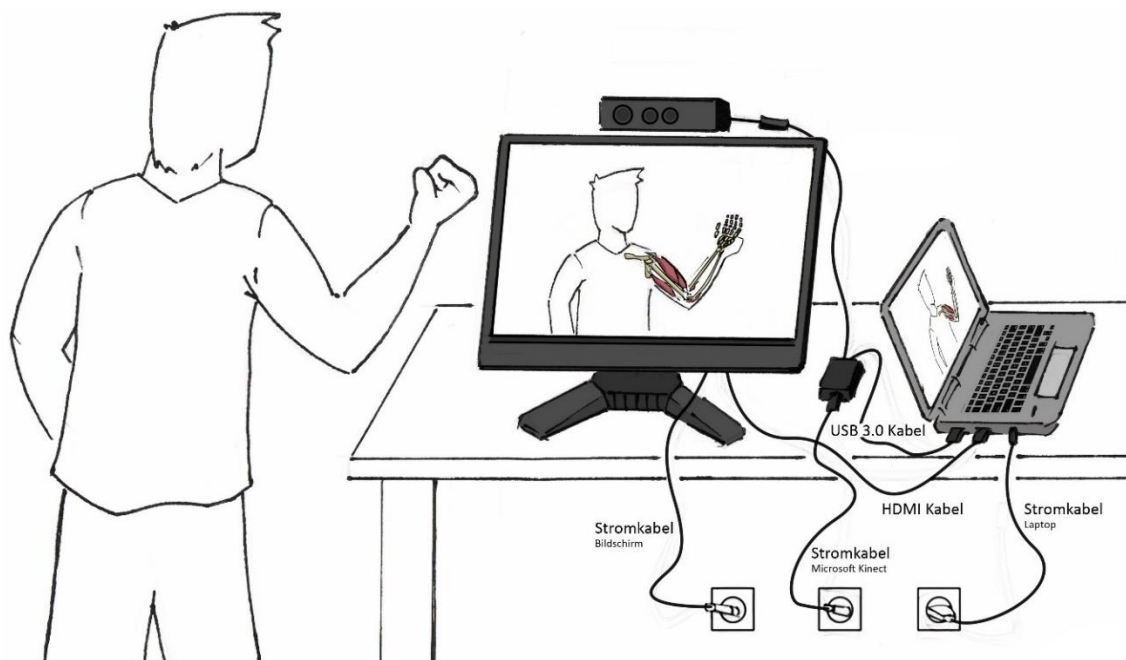


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Hardware und des Versuchsaufbaus.

Für die Programmierung des Magic Mirrors, die im Rahmen einer Bachelor Arbeit an der Fakultät für Informatik der TU München durchgeführt wurde, fand die **Software** Unity3D

⁷⁹ Siehe Kapitel 3.2 Ergebnisse der Pilotstudie.

⁸⁰ Siehe Anhang 8.1 Technische Daten des Microsoft Kinect für weitere Informationen.

Anwendung. Diese wird insbesondere für die Entwicklung von Computerspielen und 3D-Graphik-Anwendungen genutzt.⁸¹ Die Modellierung der ausgewählten Muskeln erfolgte mit der Software Autodesk 3ds max, mit der photorealistische Bilder und Videos kreiert werden können.⁸² Auch das User Interface wurde mithilfe der Software UnityUI modifiziert. Während das User Interface beim Magic Mirror Prototypen mit Handbewegungen in der sagittalen, transversalen oder koronaren Ebene gesteuert wird, werden beim Nachfolgemodell horizontale Informationsleisten am oberen und unteren Rand des Bildes einblendet. Diese informieren den Nutzer über die jeweilige Lernsektion und geben ihm Anweisungen, welche Bewegungen er ausführen soll. Neben den Informationsleisten enthält das User Interface die Farbkodierung für die Knochen Scapula, Humerus, Radius und Ulna sowie verschiedene virtuelle Buttons, um die Lerneinheit der eigenen Lerngeschwindigkeit anzupassen oder Informationen einzublenden.

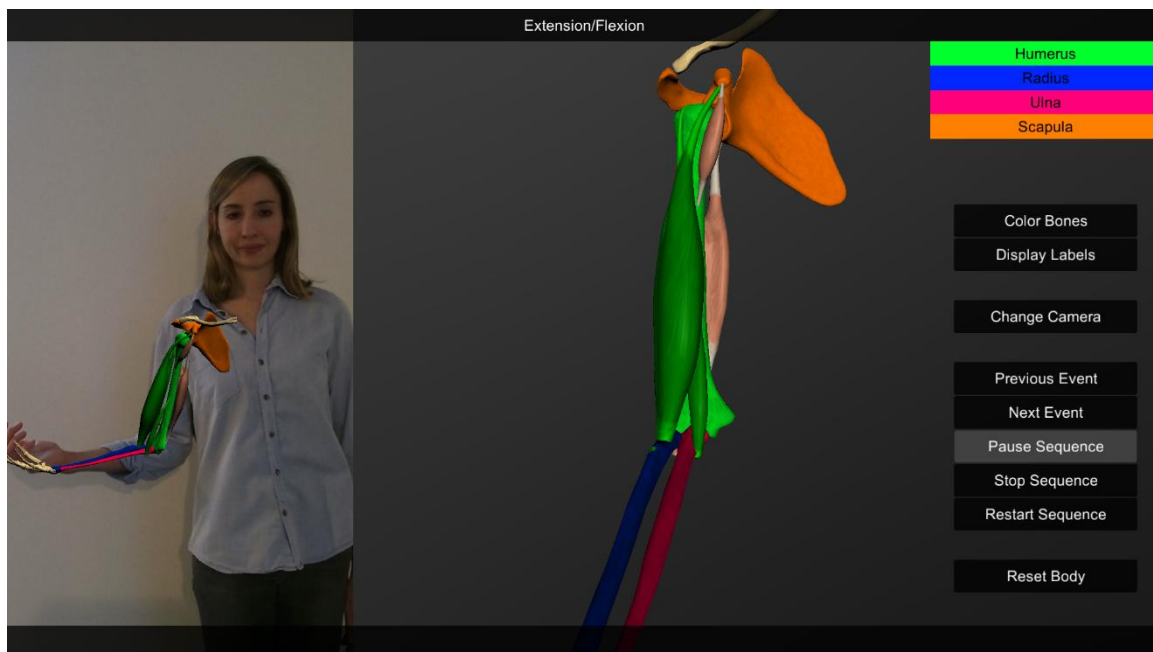


Abbildung 4: User Interface des personalisierten Magic Mirrors.

Die virtuellen Buttons erscheinen nur dann auf dem Bildschirm, wenn der Cursor an den rechten unteren Rand des Bildschirms bewegt wird. Sobald der Cursor die Position verlässt, verschwinden die virtuellen Buttons wieder, so dass die Lerneinheit dadurch nicht gestört wird. Die Bedienung der virtuellen Buttons erfolgt entweder durch die Benutzung

⁸¹ Vgl. für weitere Informationen die Homepage URL:

<http://unity3d.com/5?gclid=CMHT9pTx0MkCFRLhGwodY94DYg> (abgerufen am 10.12.2015).

⁸² Vgl. Homepage URL: <http://www.autodesk.de/products/3ds-max/overview>, abgerufen am 19.12.2015.

einer Maus oder basierend auf der Detektion des Microsoft Kinects, durch die Platzierung der Hand auf dem jeweiligen Button.

Sobald sich der Nutzer vor dem Magic Mirror positioniert, wird sein linker Arm durch den Microsoft Kinect V2 erkannt, in dem das Tiefenbild genaue Informationen über Lage und Position des Armes inklusive der beteiligten Gelenke liefert.⁸³ Farb- und Infrarotbilder vervollständigen diese Informationen. Diese Positionsdaten werden über die USB 3.0 Verbindung auf den Laptop mit der aufgespielten Software übertragen und auf die computer-generierten virtuellen Objekte in Form von Knochen, Muskeln und Textinformationen in Echtzeit addiert. Um eine exakte Überlagerung der virtuell generierten Knochen und Muskeln auf den Arm des Nutzers zu erzielen, müssen zudem die Entfernung der Kameras im Microsoft Kinect sowie Unterschiede in technischen Parametern, wie Brennweite oder optisches Zentrum berücksichtigt werden. Über eine HDMI-Verbindung wird diese augmentierte Realität auf den TV-Bildschirm übertragen. Dabei ist zu beachten, dass die Lerneinheiten des Magic Mirrors auch auf einem Laptop oder PC ohne die Benutzung eines TV-Bildschirms absolviert werden können. Allerdings ist die Darstellung mittels eines großflächigen TV-Bildschirms übersichtlicher.

Der Nutzer sieht auf dem vor ihm positionierten großflächigen Bildschirm folglich seinen eigenen Arm, der durch virtuelle Informationen in Form von Knochen, Muskeln und Textinformationen ergänzt wird.

Der weiterentwickelte Magic Mirror bietet zudem die Möglichkeit beliebige Strukturen zu vergrößern, wie beispielsweise die Ansätze und Ursprünge der dargestellten Muskeln. Dazu berührt der Nutzer mit seiner Hand die jeweilige Stelle des Armes, die vergrößert dargestellt werden soll.

⁸³ Die Darstellung des Armes erfolgt spiegelbildlich, so dass die detektierten Informationen des linken Armes auf rechten Arm übertragen und auf dem Bildschirm gezeigt werden.

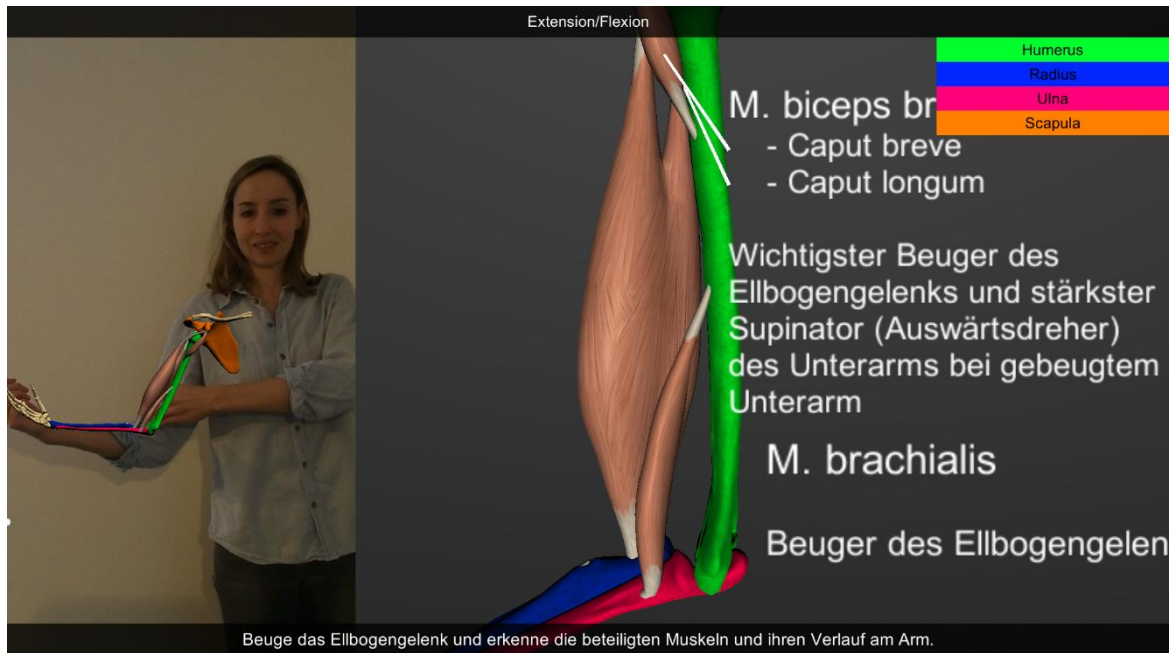


Abbildung 5: „Zoom-in“-Funktion des personalisierten Magic Mirrors.

2.2 AUSWAHL DES ZU VERGLEICHENDEN LERNMITTELS

In der experimentellen Studie wurde ein Vergleich zwischen einem herkömmlichen Lernmittel und dem weiterentwickelten, personalisierten Magic Mirror durchgeführt. Wie in der Einleitung bereits beschrieben, werden neben den Sektionen von menschlichen Kadavern insbesondere Anatomieatlanten, Plastikmodelle sowie Vorlesungen für das Erlernen von anatomischen Strukturen von Studierenden der Humanmedizin und Auszubildenden in Gesundheitsberufen genutzt. Die Auswahl des für diese Studie herangezogenen Lernmittels unterlag jedoch bestimmten Voraussetzungen, um eine Vergleichbarkeit zum Magic Mirror zu gewährleisten. Das Lernmittel bzw. der durch das Lernmittel induzierte Lernprozess sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- Selbstständiges Lernen ohne fremde Hilfe.
- Benutzung eines einzelnen Lernmittels.
- Fähigkeit des Lernmittels Bewegungen zu vermitteln.⁸⁴

Vor diesem Hintergrund konnten Anatomievorlesungen für den Vergleich ausgeschlossen werden, da der lehrende Dozent eine zusätzliche Hilfe darstellt und somit das selbstständige Lernen nicht gewährleistet ist. Bei der Verwendung von Sektionen oder

⁸⁴ Die Vermittlung von Bewegungen kann hierbei sowohl theoretisch beschreibend als auch durch die Darstellung realer Bewegungen erfolgen.

Plastikmodellen war zu beachten, dass diese in der Regel keine erklärenden Informationen liefern. Somit wäre die Verwendung eines zusätzlichen Lernmittels nötig gewesen, um grundlegende Informationen zu Knochen und Muskulatur zu vermitteln.

Das Lernmittel Anatomieatlas entsprach oben genannten Voraussetzungen, weshalb auf Basis der 23. Auflage des Buches „Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen“ mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages eine Lerneinheit erstellt wurde.⁸⁵

In der experimentellen Studie bestand die Aufgabe der Probanden darin, die Lerneinheit des Magic Mirrors oder des Anatomieatlas innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens zu studieren. Anschließend wurden Fragebögen ausgehändigt, die neben der subjektiven Bewertung des Lernprozesses auch Wissensfragen zu den in den Lerneinheiten behandelten Themen enthielten.⁸⁶

2.3 ERHEBUNG DER DATEN

Die Daten der Pilotstudie und der experimentellen Studie wurden mittels eines Fragebogens auf Papier erhoben. Die Pilotstudie fand im Rahmen einer Anatomievorlesung für Medizinstudenten des 2. Fachsemesters statt und wurde nach einer circa 20-minütigen Vorstellung des Magic Mirror Prototyps durchgeführt. Die Studierenden hatten für das Ausfüllen des Fragebogens unbefristet Zeit.

In der experimentellen Studie schloss sich die Befragung unmittelbar an die jeweils 20-minütige Lerneinheit des Magic Mirrors oder des Anatomieatlas an. Diese fand entweder in Seminarräumen des NARVIS Forschungslabors, des Zentrums für Unterricht und Studium (ZEUS) Großhadern sowie des Physiologischen Instituts der LMU München oder in den Räumlichkeiten der kooperierenden Ausbildungsstätten für Gesundheitsberufe statt. Während der Bearbeitungszeit des Fragebogens wurde auf Einzelarbeit geachtet. Die Bearbeitungszeit für das Ausfüllen des Fragebogens betrug für beide Experimentgruppen 15 Minuten.

2.4 DATENSPEICHERUNG UND STATISTIK

Die statistische Auswertung der Daten der Pilotstudie und des prospektiven randomisierten Experiments erfolgte mit Microsoft Excel für Windows 10 und mit der Software IBM

⁸⁵ Siehe Kapitel 4.1.2.2 Konzeption der Lerneinheit Anatomieatlas.

⁸⁶ Siehe Kapitel 4.1.5 Konzeption des Fragebogens.

MATERIAL UND METHODEN

SPSS Statistics Version 23.0. Alle bearbeiteten Fragebögen waren vollständig ausgefüllt und enthielten keine fehlenden Werte.

Die Pilotstudie bestand aus N=72 teilnehmenden Probanden. Für die Auswertung der fünf gestellten Fragen wurden die absoluten und relativen Häufigkeiten ermittelt. Signifikante Unterschiede zwischen den gegebenen Häufigkeitsverteilungen der Fragen 1-4 wurden anhand eines z-Proportionstest untersucht.

Die Stichprobe des prospektiven randomisierten Experiments enthielt N=150 getestete Probanden. Dabei ist zu beachten, dass die 72 Teilnehmer der Pilotstudie nicht in dieser Stichprobe enthalten waren. Von den 150 Probanden gehörten n=73 der Experimentgruppe Magic Mirror (**MM**) an, n=77 wurden in die Experimentgruppe Anatomieatlas (**AA**) eingeteilt.

Für die Ermittlung der Gesamtbewertung der Kategorien *Motivation*, *Qualität des Lernens* und *Dimensionales Verständnis* wurden jeweils die Summen der zu bewerteten Items von „Trifft nicht zu“ = 1 Punkt bis „Trifft voll zu“ = 4 Punkten gebildet. Die Ergebnisse der ermittelten Summen wurden nach Experimentgruppen und nach Kategorie aufgeteilt mittels Box-Plots dargestellt. Anschließend wurde jede der drei Kategorien mittels des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf eine normal verteilte Grundgesamtheit überprüft. Diese konnte bei allen drei Kategorien nicht bestätigt werden, so dass der nicht-parametrische Mann-Whitney-Test für unabhängige, ordinal skalierte Stichproben Anwendung fand.

Für die Analyse der Bewertungen der einzelnen Items erfolgte die Ermittlung von prozentualen Häufigkeiten der vier Antwortoptionen. Des Weiteren wurden Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) bestimmt. Die Signifikanzmessung auf Basis der jeweiligen Mediane basierte auf der Anwendung des Mann-Whitney-Test nach Ausschluss des Vorliegens einer normalverteilten Stichprobe mittels des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests.

Abschließend wurde eine Auswahl von drei Items vorgenommen, bei denen sich die Bewertung durch die Probanden der beiden Experimentgruppen deutlich unterschieden und folglich hoch signifikante Ergebnisse lieferten. Diese Items wurden mit Box-Plots dargestellt.

Im Rahmen der statistischen Auswertung des Wissensteils wurde zunächst die Gesamtperformanz analysiert. Die Probanden sollten insgesamt 10 MC-Aufgaben lösen, so dass

MATERIAL UND METHODEN

ein Ergebnis von mindestens 0 und maximal 10 Punkten zu erreichen war. Die Gesamtperformanz wurde anhand von Histogrammen dargestellt. Für die Signifikanzmessung fand der nichtparametrischen Mann-Whitney-Test Anwendung.

Neben der Gesamtperformanz wurde das Abschneiden pro Frage ausgewertet. Hier erfolgte die Ermittlung der prozentualen Häufigkeiten richtiger und falscher Antworten je Experimentgruppe. Mittels des Chi-Quadrat-Test für nominalskalierte Variablen wurde die Signifikanz der Unterschiede überprüft.

Für die Analyse der Zusammenhänge zwischen der Bewertung des jeweiligen Lernmittels und der Gesamtperformanz im Wissenstest wurde Spearmans Rangkorrelationskoeffizient ermittelt. Der Rangkorrelationskoeffizient liegt dabei zwischen den Werten -1 und +1 und gibt die Stärke sowie die Richtung des jeweiligen Zusammenhangs an. Allen statistischen Ergebnissen liegt ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde.

3. DIE PILOTSTUDIE

Die Pilotstudie wurde am 22. April 2014 während einer Vorlesung für Makroskopische Anatomie unter 72 Medizinstudenten im 2. Fachsemester an der LMU München durchgeführt. Der Befragung ging zunächst eine circa 20-minütige Vorstellung des Magic Mirrors voraus, in der verschiedene Funktionen⁸⁷ des Prototyps gezeigt wurden und die Studenten die Aufgabe hatten, diese vor Ort auszuprobieren. Anschließend wurde ein Fragebogen mit 5 Fragen zum Magic Mirror sowie zu demographischen Merkmalen ausgefüllt.⁸⁸ Für das Ausfüllen des Fragebogens hatten die Studenten unbefristet Zeit. Ein Teil der Studenten hatte den Magic Mirror bereits zu einem früheren Zeitpunkt getestet, da dieser in der Sammlung der anatomischen Anstalt aufgebaut und frei zugänglich ist.

Die Auswahl der Zielgruppe für diese Befragung unterlag verschiedenen Voraussetzungen. Grundvoraussetzung war, dass die Zielgruppe eine Assoziation zur Humanmedizin aufwies und somit über ein medizinisches sowie ein anatomisches Grundwissen verfügte, um Organe und weitere Strukturen in den Datensätzen des Magic Mirrors identifizieren zu können. Die Medizinstudenten der LMU werden bereits im ersten vorklinischen Semester im Fach Makroskopische Anatomie unterrichtet, so dass ein solches Grundwissen anzunehmen war. Gleichzeitig sollten die Probanden der Zielgruppe als potentielle Nutzer des Lernmittels Magic Mirror in Frage kommen und Erfahrungen mit dem Umgang anderer Lernmittel, wie beispielsweise einem Anatomieatlas, aufweisen.

Mit der Durchführung der Pilotstudie wurden verschiedene Ziele verfolgt. Zum einen sollte die Akzeptanz von neuen Technologien in der anatomischen Lehre eruiert werden, die hier in Form von AR verwendet wurde. Zum anderen sollten konkrete nutzerbasierte Verbesserungs- und Weiterentwicklungsmöglichkeiten ermittelt werden, um den Magic Mirror Prototypen zu personalisieren. Dabei wird unter der Personalisierung des Magic Mirrors die Implementation der Interessen und Bedürfnisse des Nutzers verstanden.⁸⁹ Gemäß Barak / Ziv (2013) stellt dieser Vorgang eine grundlegende Anforderung bei der Konzeption von AR-Systemen für die Wissensvermittlung dar.⁹⁰

⁸⁷ Siehe Kapitel 3.1.1 Lerneinheit des Magic Mirror Prototyps.

⁸⁸ Siehe Anhang 8.2 Fragebogen der Pilotstudie zum Magic Mirror.

⁸⁹ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 143.

⁹⁰ Vgl. Barak / Ziv (2013), S. 159 ff.

3.1 MATERIAL UND METHODEN DER PILOTSTUDIE

3.1.1 LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPUS

Die Lerneinheit des Magic Mirrors beinhaltete die Darstellung der im Folgenden beschriebenen Funktionen. Zunächst wurden die auf CT-Daten und Photographien basierenden Schnittbilder präsentiert, insbesondere wurde den Medizinstudenten die Steuerung des Magic Mirrors mithilfe vertikaler und horizontaler Armbewegungen erläutert.



Abbildung 6: Auszug aus der Lerneinheit des Magic Mirror Prototypen – Transversale Ansicht des Thorax.

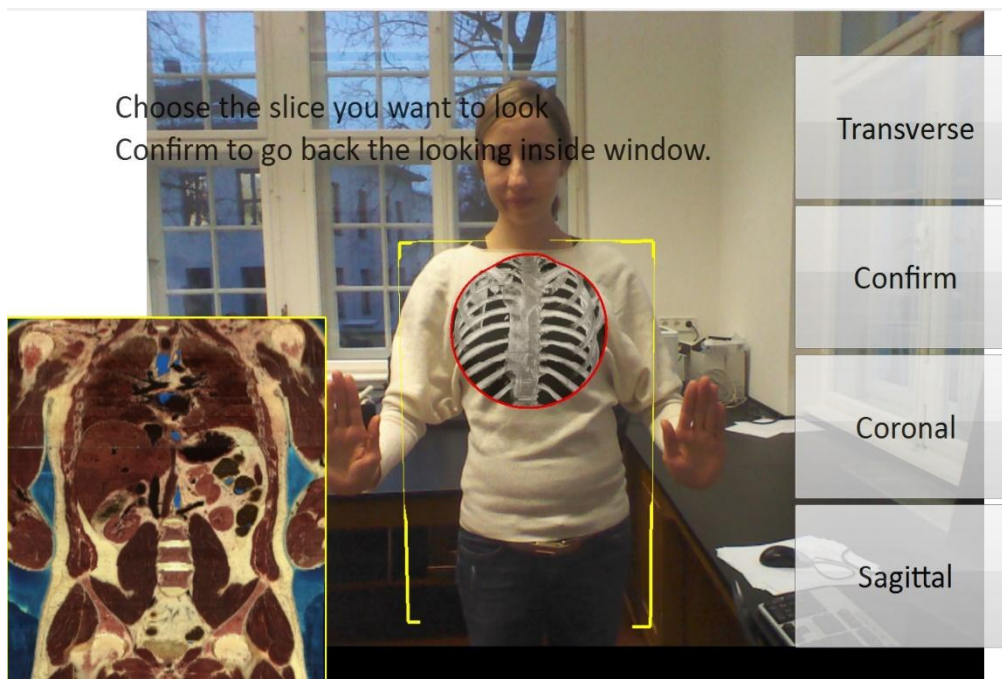


Abbildung 7: Auszug aus der Lerneinheit des Magic Mirror Prototypen – Frontale Ansicht des Thorax und des Abdomens.

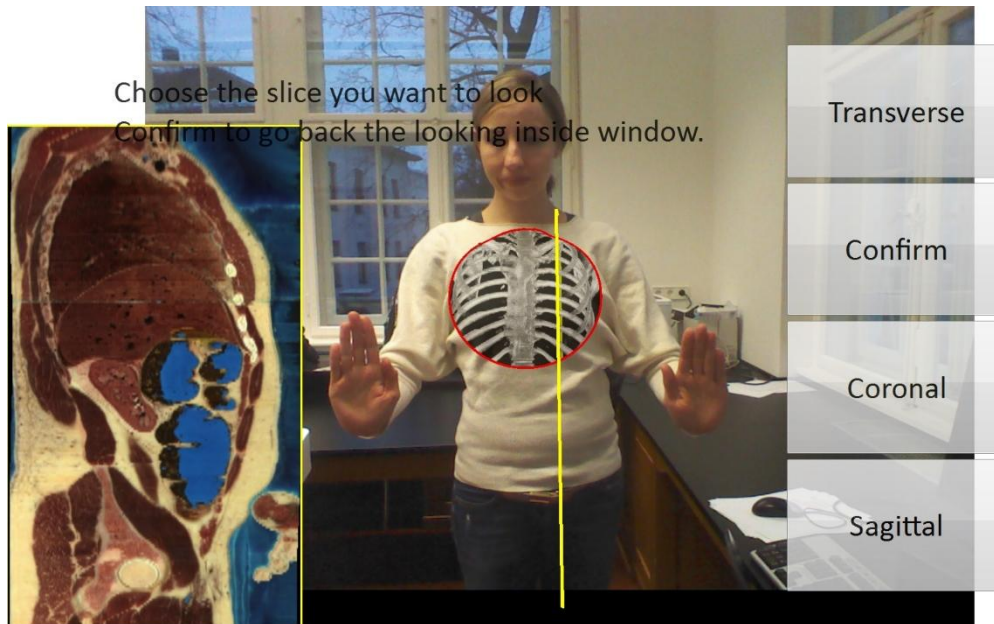


Abbildung 8: Auszug aus der Lerneinheit des Magic Mirror Prototypen – Sagittale Ansicht des Thorax und des Abdomens.

Die weitere Lerneinheit beinhaltet die Darstellung des sogenannten „Organ-Explosions-Effekt“, in der die Organe Lunge, Herz, Leber, Magen, Darm, Milz und Nieren aus Abdomen und Thorax heraustreten und somit besser ausgewählt werden können.⁹¹ Dabei wählt der Nutzer durch die vertikale Positionierung seiner linken Hand eine Ebene. Die Organe, die in der ausgewählten Ebene liegen, treten aus Abdomen oder Thorax hinaus, wobei Linien die ursprüngliche Position im menschlichen Körper markieren. Mit der linken Hand kann der Nutzer ein Organ auswählen, um sich zusätzliche Textinformationen anzeigen zu lassen. Die Aufgabe der Nutzer bestand darin, die oben genannten Lerneinheiten des Magic Mirror Prototypen zu absolvieren. Darüber hinaus sollte der Nutzer eine Meinung zur verwendeten Technologie entwickeln, insbesondere in Hinblick auf das Potenzial anatomisches Wissen zu vermitteln.

⁹¹ Vgl. für weitere Informationen Ma et al. (2015), S. 10.

DIE PILOTSTUDIE

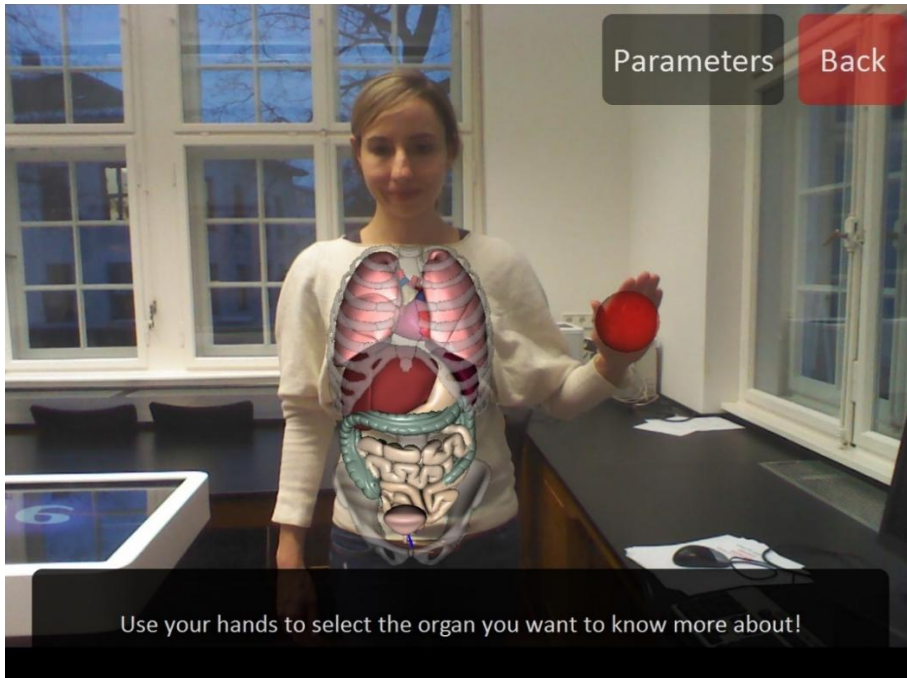


Abbildung 9: Auszug aus der Lerneinheit des Magic Mirror Prototypen – Organauswahl.

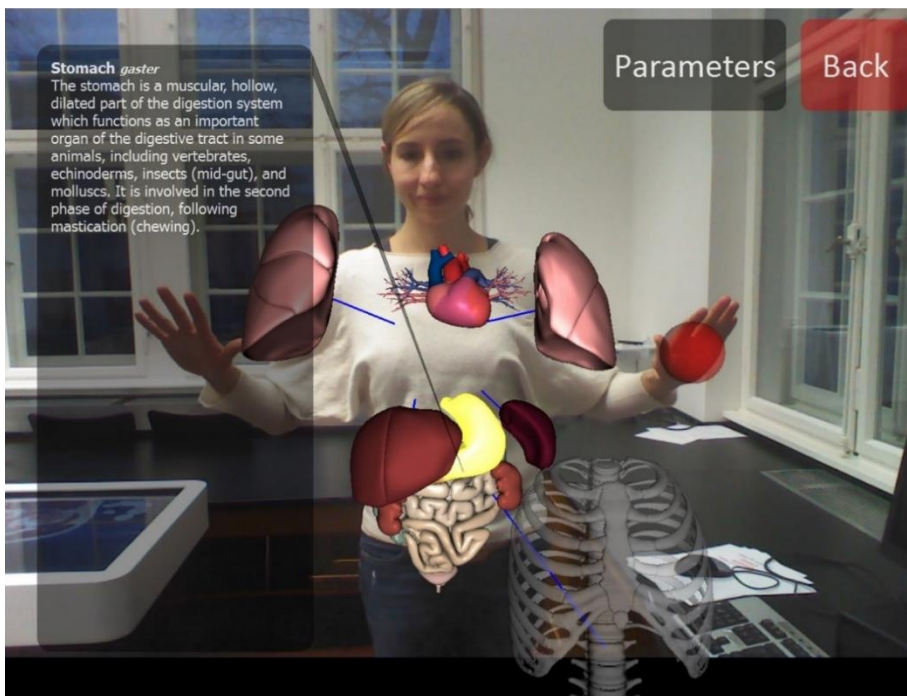


Abbildung 10: Auszug aus der Lerneinheit des Magic Mirror Prototypen – „Organ-Explosions-Effekt“.

3.1.2 KONZEPTION DES FRAGEBOGENS

Der Fragebogen für die Pilotstudie bestand aus fünf Fragen. Um eine positive Antworttendenz in der Auswertung zu erkennen, wurde Frage 3 negativ formuliert. Des Weiteren erfolgte die Formulierung von Frage 5 als offen zu beantwortende Frage, bei der Mehrfachantworten möglich waren. Dies diente der Ableitung von Optimierungspotenzialen des Magic Mirrors. Die Antwortoptionen der Fragen 1-4 wurden auf „Ja“ und „Nein“ beschränkt.

Der Fragebogen⁹² enthielt folgende zu bewertende Aussagen:

Frage 1: Ich glaube, dass der Magic Mirror eine Hilfe für das Erlernen der menschlichen Anatomie darstellt.

Frage 2: Wenn ich die Möglichkeit hätte, würde ich den Magic Mirror gerne ausprobieren.

Frage 3: Ich finde die dargestellten CT-Bilder des Magic Mirrors zu komplex.

Frage 4: Ich würde mir weitere Darstellungen der menschlichen Anatomie in 3D wünschen.

Frage 5: In Bezug zu Frage 4, welchen Darstellungen würden Sie sich wünschen?

⁹² Siehe Anhang 8.2 Fragebogen der Pilotstudie zum Magic Mirror.

3.2 ERGEBNISSE DER PILOTSTUDIE

Die teilnehmenden 72 Medizinstudenten waren zwischen 21-28 Jahre alt, 38 von ihnen waren männlichen Geschlechts, 34 weiblichen Geschlechts. 50 Probanden hatten keinerlei medizinische Erfahrung vor Studienbeginn, 8 waren im Rettungsdienst tätig und 5 hatten bereits eine Ausbildung in der Krankenpflege absolviert. Weitere 9 Probanden verfügten über andere nicht-medizinische Qualifikationen, wie beispielsweise ein Biologie- oder Chemie-Studium.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Fragen 1-4:

	Frage 1 Stellt der MM eine Hilfe für das Erlernen der menschl. Anatomie dar?		Frage 2 Ich würde den MM gerne ausprobieren.		Frage 3 Ich finde die dargestellten CT-Bilder zu komplex.		Frage 4 Ich würde mir weitere Darstellungen wünschen.	
	n	%	n	%	n	%	n	%
JA	62	86,1	60	83,3	4	5,6	66	91,7
NEIN	10	13,9	12	16,7	68	94,4	6	8,3
P-Wert	< ,0002		< ,0002		< ,0002		< ,0002	

Tabelle 1: Ergebnisse Fragen 1-4 der Pilotstudie: Positive Resonanz der Probanden gegenüber des Magic Mirror Prototypen.

Anmerkungen: n=absolute Anzahl der gewählten Antwortoption; %=gerundeter prozentualer Anteil der gewählten Antwortoption „Ja“ oder „Nein“.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Fragestellungen in gekürzter Form wiedergegeben.

Die dargestellten Ergebnisse bestätigen die Akzeptanz von AR-Technologien für die anatomische Lehre. Dabei demonstrieren die Häufigkeitsverteilungen aller vier Fragen eine überwiegend positive Einstellung gegenüber dem Magic Mirror. Für 86,1% der befragten Medizinstudenten stellt das AR-System Magic Mirror eine Hilfe für das Erlernen der menschlichen Anatomie dar (Frage 1), allerdings würden nur 83,3% der Studierenden diesen auch nutzen (Frage 2). Die Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen beider Fragen sind hoch signifikant.

Mit Frage 3 wird überprüft, ob die Darstellungen des AR-Systems zu komplex sind. Eine Mehrheit von 94,4% der Probanden stimmte dieser Aussage nicht zu.

Auch Frage 4 verdeutlicht die überwiegende Akzeptanz des Magic Mirrors: 91,7% würden sich weitere Darstellungen für den Zweck des Anatomie Lernens wünschen.

DIE PILOTSTUDIE

Die Ergebnisse der offen zu beantwortenden Frage 5 sind in folgender Tabelle dargestellt. Hier wurde der Proband aufgefordert, Vorschläge oder Wünsche für die weitere Darstellung mit dem AR-System Magic Mirror zu notieren.

Weitere 3D Darstellungen	n	%
Gefäße	19	24,7
Organe und deren Lagebeziehungen	13	17,9
Extremitäten	10	13,0
Beschriftungen / Landmarken	6	7,8
„Freezing“ Funktion	6	7,8
Pathologische Abbildungen	5	6,5
Kopf / Gehirn	5	6,5
Muskeln / Knochen	5	6,5
Steuerung über Tastatur / Maus	5	6,5
Histologische Bilder	1	1,3
Einfärbung von Strukturen	1	1,3
Kompletter Mensch in 3D	1	1,3

Tabelle 2: Ergebnisse Frage 5 der Pilotstudie: Vorschläge der Probanden für weitere Darstellungen mittels des Magic Mirrors.

Aufbauend auf Frage 4 wurden am häufigsten Gefäße, Organe und deren Lagebeziehungen sowie Extremitäten als weitere hilfreiche dreidimensionale Darstellungen vorgeschlagen. Es wurden sämtliche in der Tabelle aufgelisteten Vorschläge für die Weiterentwicklung des Magic Mirror Prototypen kritisch auf deren Umsetzbarkeit überprüft. Basierend auf dieser qualitativen Auswertung wurde eine Auswahl von technologischen Weiterentwicklungen sowie Lerninhalten für die dreidimensionale Programmierung des Magic Mirror getroffen, die in der Tabelle fett gedruckt dargestellt sind.

4. DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Die prospektive experimentelle Studie fand in einem Zeitraum von September bis einschließlich November 2015 unter insgesamt N=150 Erstsemesterstudenten der Medizin, Auszubildenden für die Berufe des Notfallsanitäters, des Medizinisch-Technisch-Radiologischen Assistenten (MTRA) sowie des Medizinisch-Technischen Assistenten (MTA) statt. Die 150 Probanden wurden dazu entweder in die Experimentgruppe Magic Mirror oder in die Experimentgruppe Anatomieatlas randomisiert verteilt. Alle Probanden hatten jeweils 20 Minuten Zeit die Lerneinheit des Magic Mirrors oder des Anatomieatlas zu studieren. Anschließend erfolgten die Evaluation des genutzten Lernmittels sowie ein Wissenstest über die in den Lerneinheiten behandelten Themen mittels Fragebogens. Die Inhalte des Fragebogens waren für beide Gruppen identisch.

4.1 MATERIAL UND METHODEN DER EXPERIMENTELLEN STUDIE

4.1.1 AUSWAHL DER LERNEINHEIT

Die Themenauswahl der Lerneinheit, welche die Probanden mit der Hilfe des Magic Mirrors oder des Anatomieatlas studieren sollten, basierte auf verschiedenen Kriterien. Grundlegendes Kriterium war, dass die ausgewählten Themen der Lerneinheit im Magic Mirror programmierbar waren sowie im Anatomieatlas thematisiert und ausreichend dargestellt sind. Des Weiteren sollte die jeweilige Lerneinheit relevantes Wissen für Studium oder Ausbildung der teilnehmenden Probanden widerspiegeln. Die auf Frage 5 der Pilotstudie genannten Vorschläge geben einen Hinweis darauf, bei welchen Themen die Probanden einen Lernbedarf haben könnten. Dabei ist zu beachten, dass diese in Tabelle 2 vorgestellten Antworten entweder den technischen oder den inhaltlich-thematischen Verbesserungsvorschlägen für den Magic Mirror zuzuordnen sind. Für die Auswahl der Lerneinheit sind allerdings nur die inhaltlich-thematischen Vorschläge relevant. Vor dem Hintergrund der technischen Umsetzbarkeit und der oben genannten Kriterien wurden schließlich folgende inhaltlich-thematischen Vorschläge ausgewählt:

- **Extremitäten**
- **Muskeln**
- **Knochen**

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Diese Vorschläge mussten allerdings näher spezifiziert werden. Dementsprechend wurde aufgrund der besseren Detektierbarkeit der oberen Extremitäten im Vergleich zu den unteren Extremitäten durch den Microsoft Kinect, nur die Arme für die Gestaltung der Lerneinheit berücksichtigt.

Des Weiteren erfolgte eine Auswahl an Muskeln, da die Darstellung aller Muskeln des Ober- und Unterarmes aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Didaktik nicht zielführend gewesen wäre. Basierend auf der Studie von Thomas et al. (2010), welche die Darstellung des Ellbogengelenks mittels AR-Systemen wegen seiner Komplexität als sinnvoll erachten,⁹³ wurden die Bewegungen Extension, Flexion, Pronation und Supination und folgende in Tabelle 3 aufgelisteten Muskeln ausgewählt. Neben den genannten Bewegungen und der Auswahl der beteiligten Muskeln, wurde ebenfalls der M. coracobrachialis für die Darstellung berücksichtigt. Dies diente dazu, die Komplexität der Lerneinheiten zu erhöhen, da der M. coracobrachialis sowie das Caput breve des M. biceps brachii ihren Ursprung am Processus coracoideus haben. Folglich können diese zwei Muskeln leicht miteinander verwechselt werden. Um die Muskeln voneinander zu unterscheiden, müssen ihre Verläufe am Oberarm sowie die jeweiligen Ansätze genau studiert werden.

Bewegung	Muskeln
Flexion	M. biceps brachii M. brachialis
Extension	M. triceps brachii M. anconeus
Pronation	M. pronator teres M. pronator quadratus
Supination	M. supinator
-	M. coracobrachialis

Tabelle 3: Ausgewählte Bewegungen und Muskeln des Armes.

⁹³ Vgl. Thomas et al. (2010), S. 15.

4.1.2 KONZEPTION DER LERNEINHEITEN

Bei der Konzeption der jeweiligen Lerneinheiten galt es zu beachten, dass diese inhaltlich ähnlich viele Informationen liefern, um eine Vergleichbarkeit des AR-Systems Magic Mirror mit dem traditionellen Lernmittel Anatomieatlas zu gewährleisten. Außerdem sollten beide Lerneinheiten von den Probanden innerhalb von 20 Minuten ausreichend zu bearbeiten sein, so dass nur die wichtigsten Informationen in diese aufgenommen wurden.

4.1.2.1 KONZEPTION DER LERNEINHEIT MAGIC MIRROR

Die Lerneinheit des Magic Mirrors beginnt mit der Vorstellung der knöchernen Strukturen des Ober- und Unterarmes sowie der Schulter (s. Abbildung 11). Anhand einer Farb-codierung können die Probanden die lateinischen Bezeichnungen den jeweiligen Knochen zuordnen.

In der gesamten Lerneinheit haben die Probanden die Möglichkeit durch Anwählen des Buttons „Next Event“ eigenständig das nächste Thema zu bearbeiten bzw. durch das Anwählen des Buttons „Previous Event“ eine Sequenz zu wiederholen. Werden diese Buttons nicht angewählt, erscheint nach 30 Sekunden das nächste Unterthema.

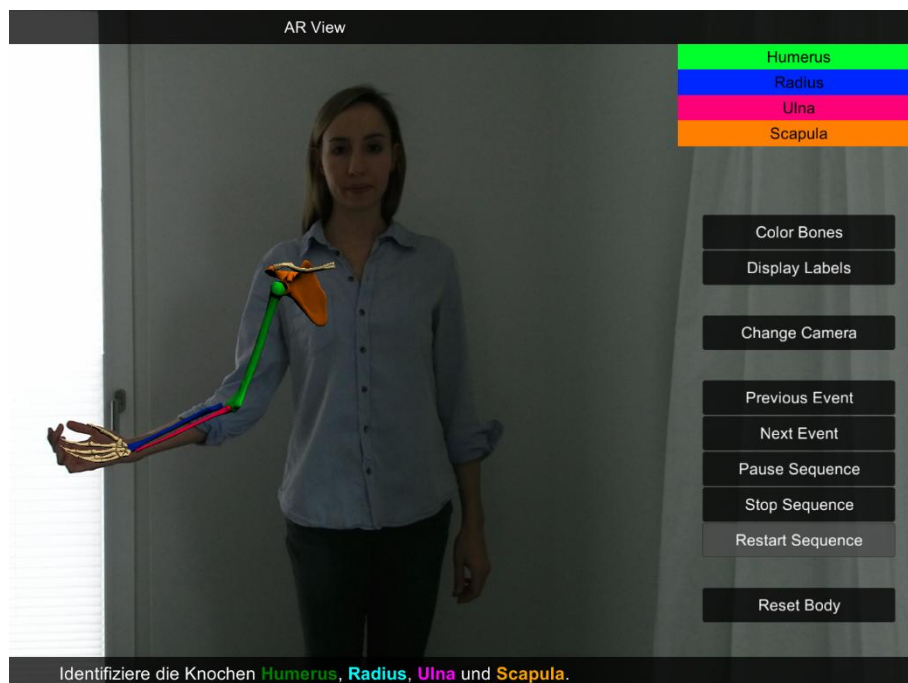


Abbildung 11: Lerneinheit Magic Mirror: Knochen.

In der darauf folgenden Sequenz werden die Muskeln des Oberarms thematisiert. Hier werden zunächst alle ausgewählten Muskeln zeitgleich eingeblendet, nämlich der M.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

coracobrachialis (Adduktion, Anteversion und Innenrotation des Oberarms) sowie die an den Bewegungen der Extension und Flexion beteiligten Muskeln M. biceps brachii, M. brachialis, M. triceps brachii und M. anconeus (s. Abbildung 12). Der Proband soll an dieser Stelle einen Überblick über die Muskeln erhalten, die im weiteren Verlauf thematisiert werden.

Der auf dem Hauptbild gezeigte Arm rotiert bei allen Sequenzen um seine Achse, so dass Muskeln und Knochen aus einer 360 Grad Perspektive angeschaut werden können. Sobald ein Muskel bzw. eine Muskelgruppe aktiv ist, z.B. der M. biceps brachii und der M. brachialis bei der Beugung des Ellbogengelenks, werden diese in grün dargestellt.

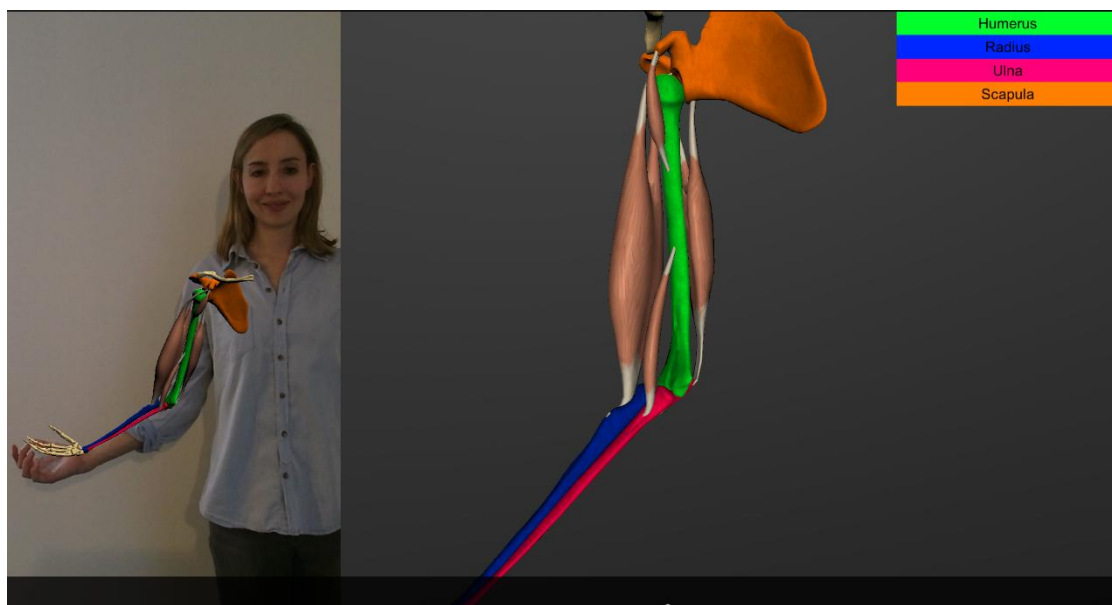


Abbildung 12: Lerninheit Magic Mirror: Überblick über die Muskulatur des Oberarms.

Die Vorstellung der einzelnen Muskeln des Oberarmes beginnt mit dem M. coracobrachialis (s. Abbildung 13). Aus didaktischen Gründen wurde auf die Darstellung der vom M. coracobrachialis durchgeführten Bewegungen verzichtet, so dass lediglich der Name sowie Ansatz und Ursprung des Muskels vermittelt werden.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

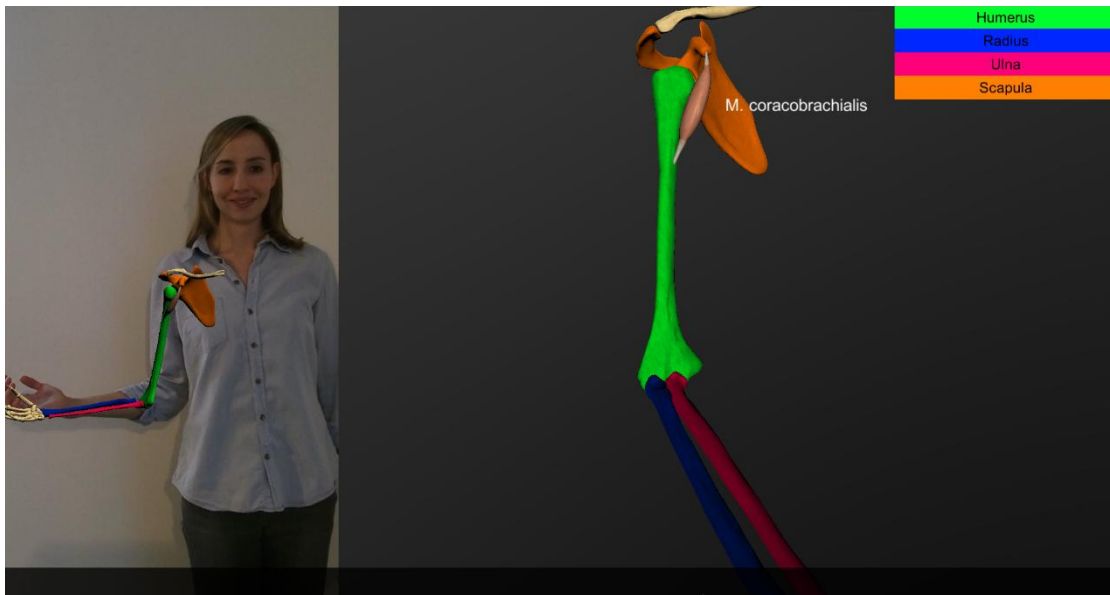


Abbildung 13: Lerneinheit Magic Mirror: M. coracobrachialis.

Im weiteren Verlauf werden die Muskeln für die Bewegung der Flexion im Ellbogengelenk thematisiert. Zunächst erfolgt die Darstellung des tief gelegenen M. brachialis (s. Abbildung 14).

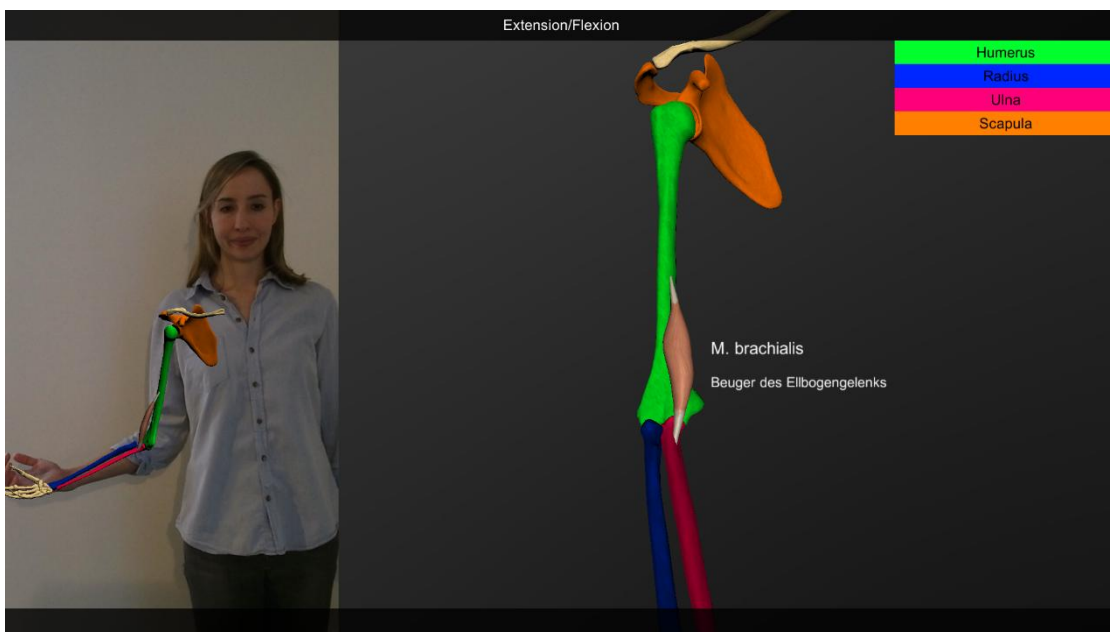


Abbildung 14: Lerneinheit Magic Mirror: M. brachialis.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Anschließend wird der M. biceps brachii dargestellt (s. Abbildung 15).

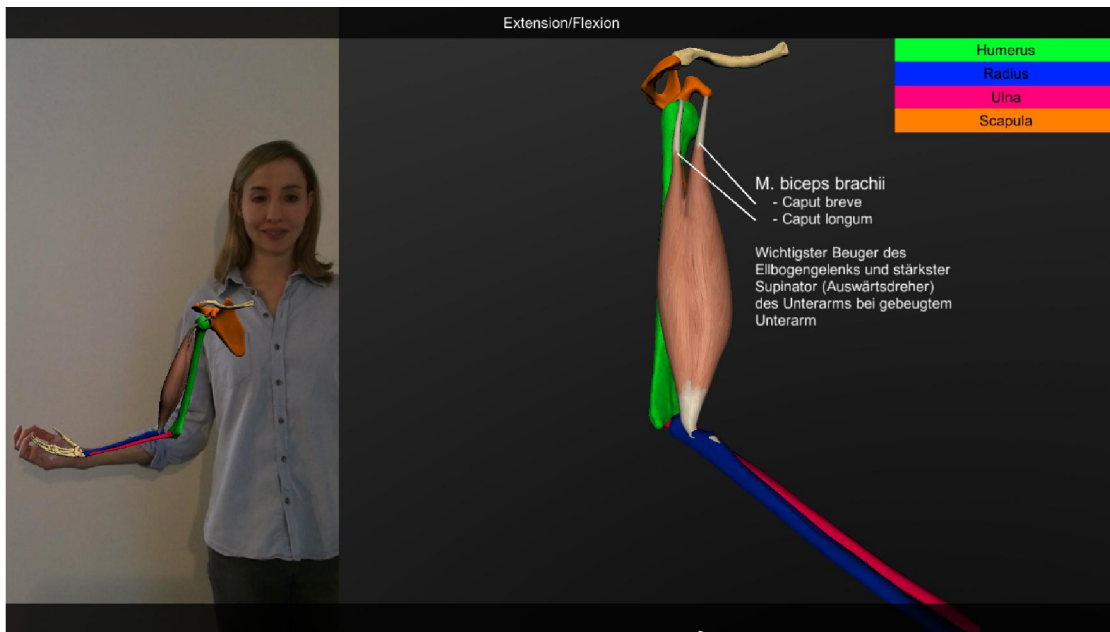


Abbildung 15: Lerninheit Magic Mirror: M. biceps brachii.

Nach der Einzelvorstellung von M. coracobrachialis, M. brachialis und M. biceps brachii, werden diese drei Muskeln mit den jeweiligen Textinformationen gleichzeitig eingeblendet (s. Abbildung 16). Der Hinweis in der unteren Leiste des Bildes dient als Hilfestellung für den Probanden. In diesem Bild ist die Grünfärbung des M. biceps brachii und des M. brachialis zu erkennen, das heisst diese beiden Muskeln werden bei Aufnahme des Bildes aktiv gebeugt.

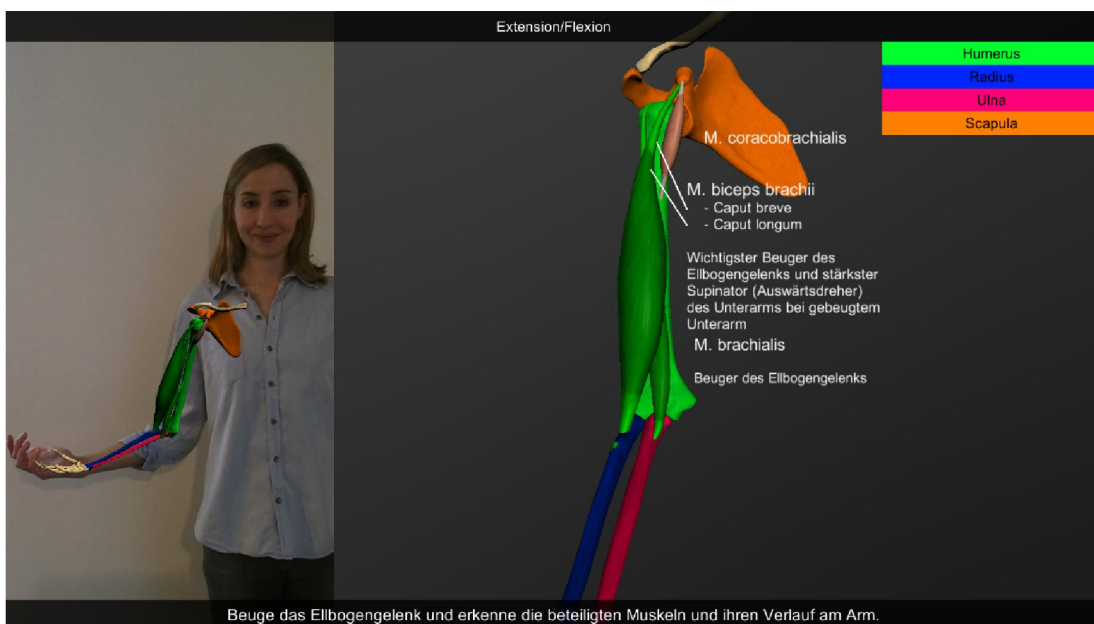


Abbildung 16: Lerninheit Magic Mirror: Flexoren des Ellbogengelenks und M. coracobrachialis.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Die nächste Sequenz thematisiert die Muskeln der Extension des Ellbogengelenks, zunächst den M. triceps brachii und darauf folgend der M. anconeus (s. Abbildung 17 und Abbildung 18).

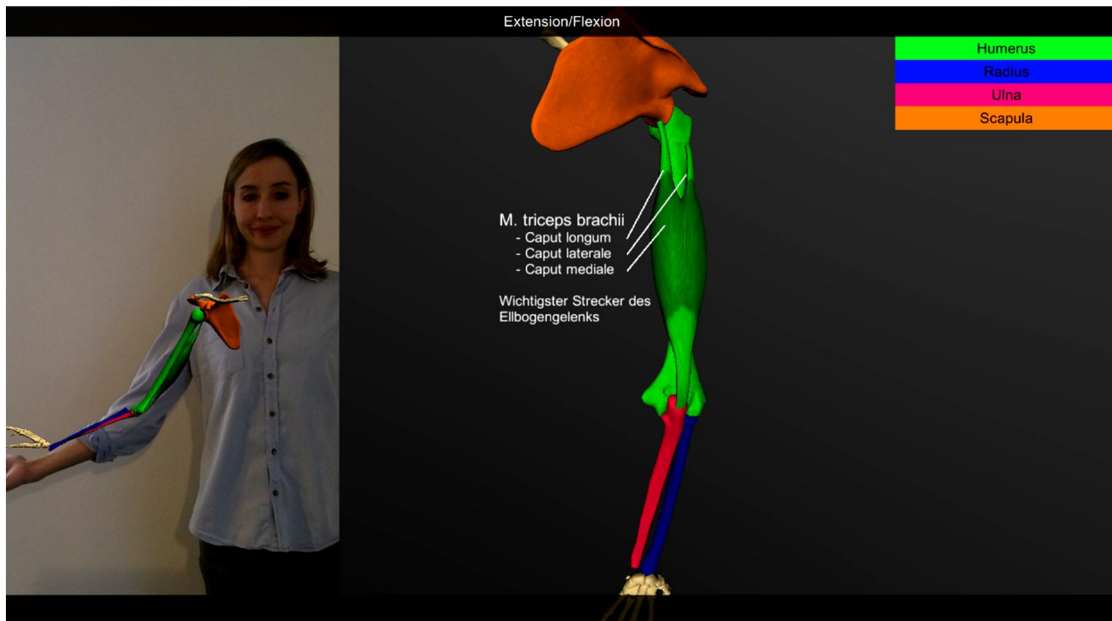


Abbildung 17: Lerninheit Magic Mirror: M. triceps brachii.

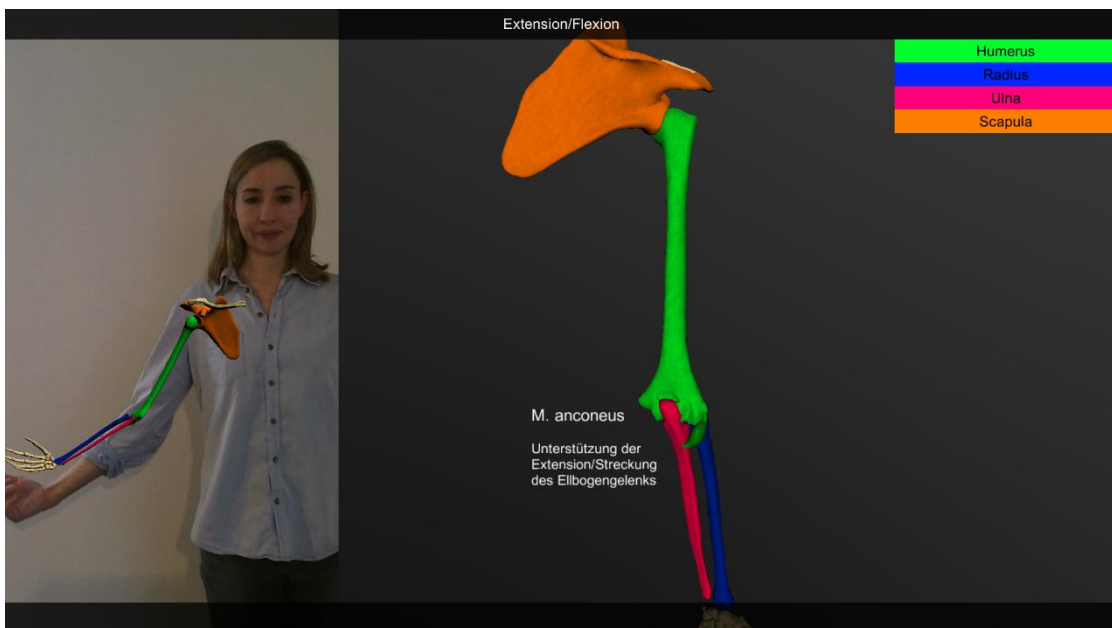


Abbildung 18: Lerninheit Magic Mirror: M. anconeus.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Auch die Extensoren des Ellbogengelenks werden zum Schluss der Sequenz gleichzeitig eingeblendet (s. Abbildung 19).

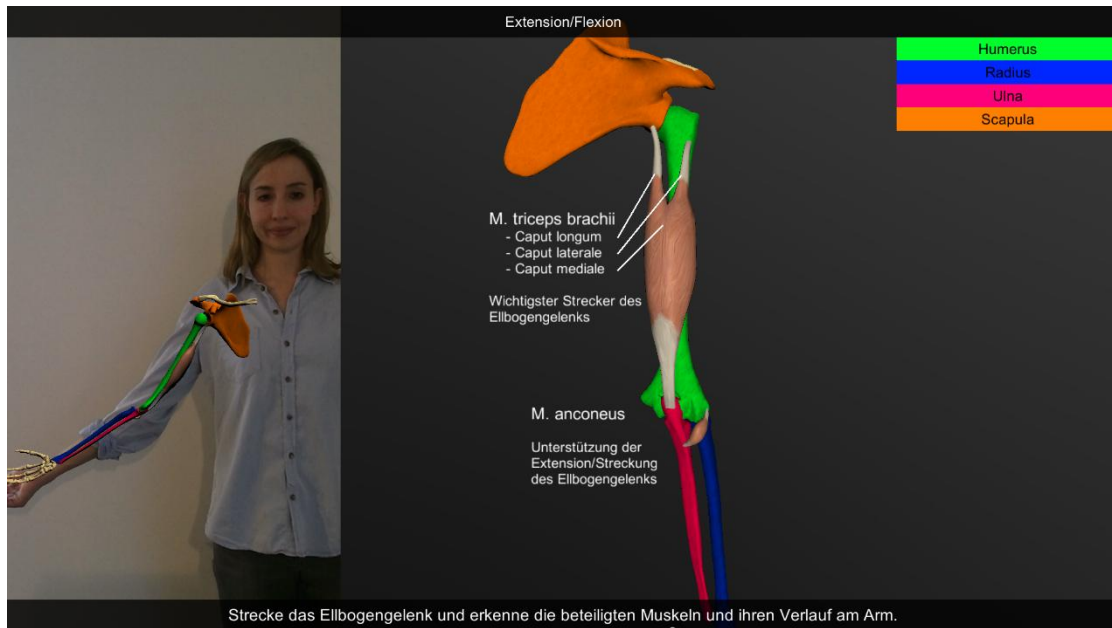


Abbildung 19: Lerninheit Magic Mirror: Extensoren des Ellbogengelenks.

Das Unterthema der Pronation und Supination im Ellbogengelenk beginnt mit der Präsentation des M. supinator, M. pronator teres und M. pronator quadratus (s. Abbildung 20 und Abbildung 21).

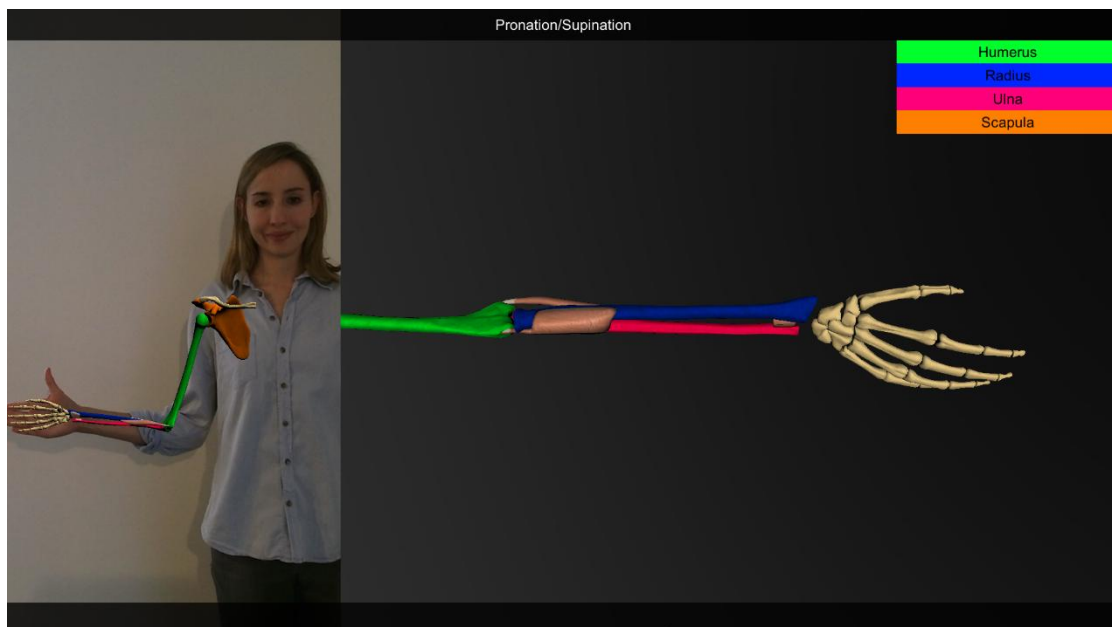


Abbildung 20: Lerninheit Magic Mirror: Übersicht Muskeln der Pronation und Supination.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

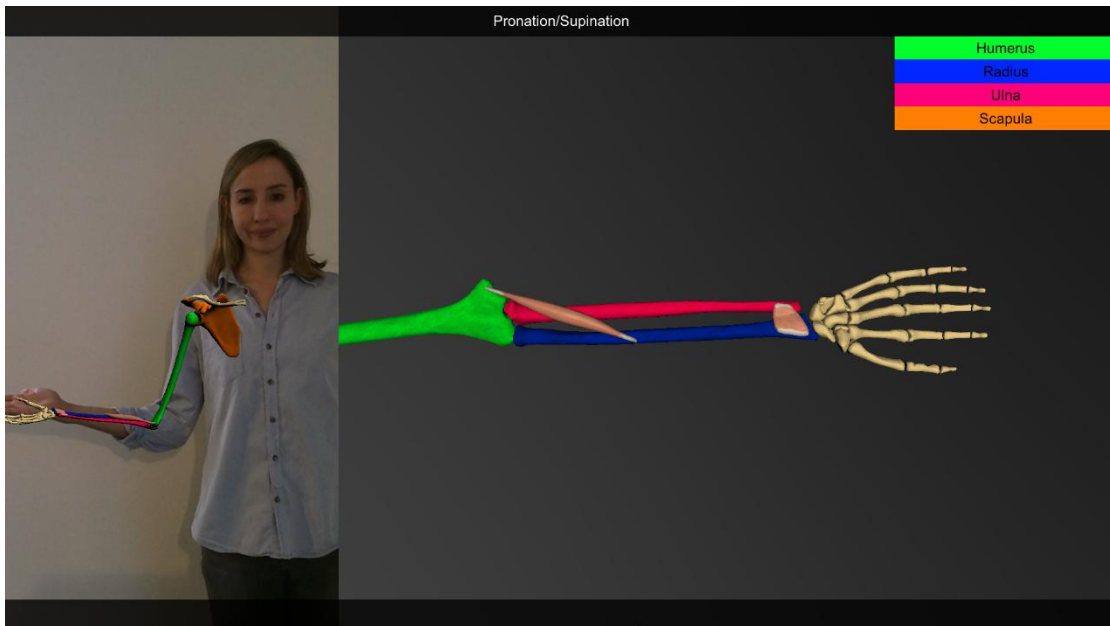


Abbildung 21: Lerninheit Magic Mirror: Übersicht über die Muskeln der Pronation und Supination.

Anschließend werden der M. pronator teres und der M. pronator quadratus mit den relevanten Informationen nacheinander dargestellt (s. Abbildung 22 und Abbildung 23).

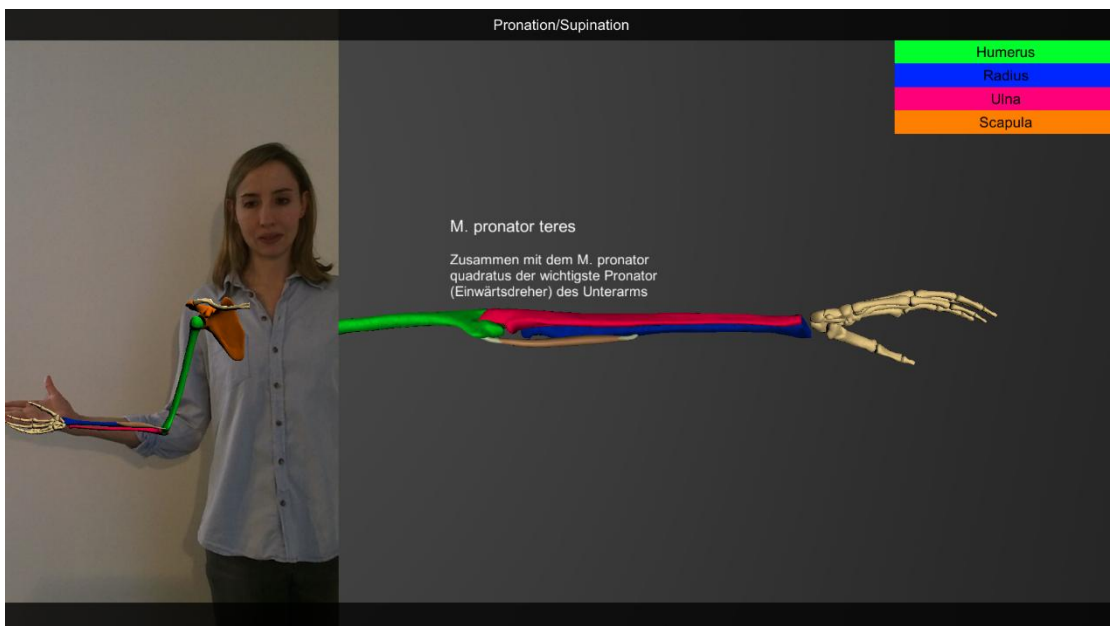


Abbildung 22: Lerninheit Magic Mirror: M. pronator teres.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

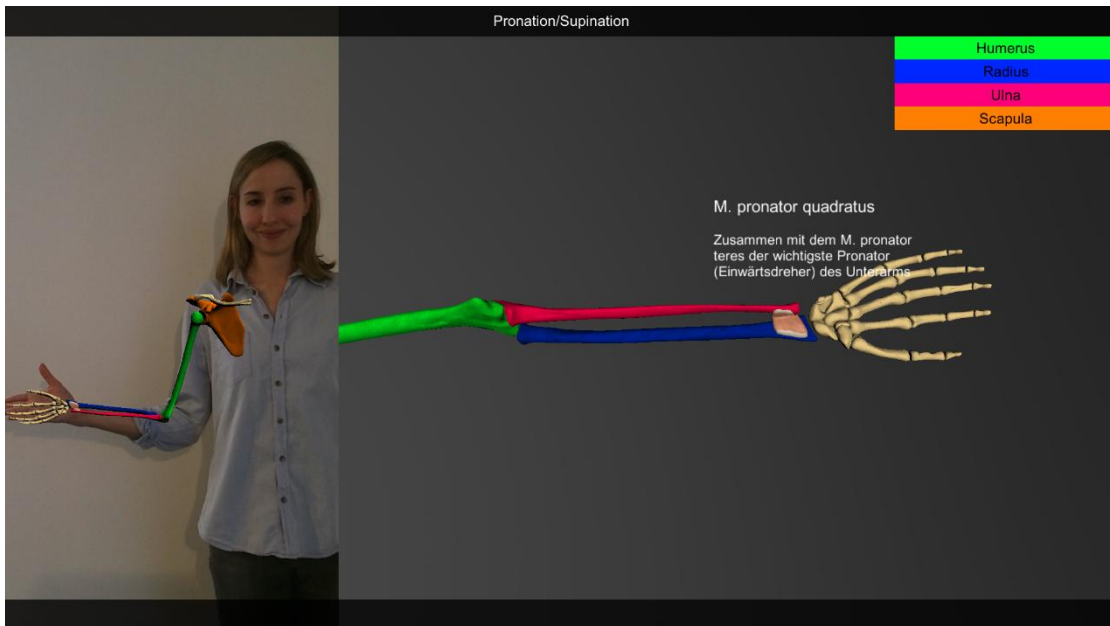


Abbildung 23: Lerninheit Magic Mirror: M. pronator quadratus.

Nach dieser Einzelvorstellung werden beide Pronatoren zeitgleich mit den jeweiligen Informationen gezeigt (s. Abbildung 24).

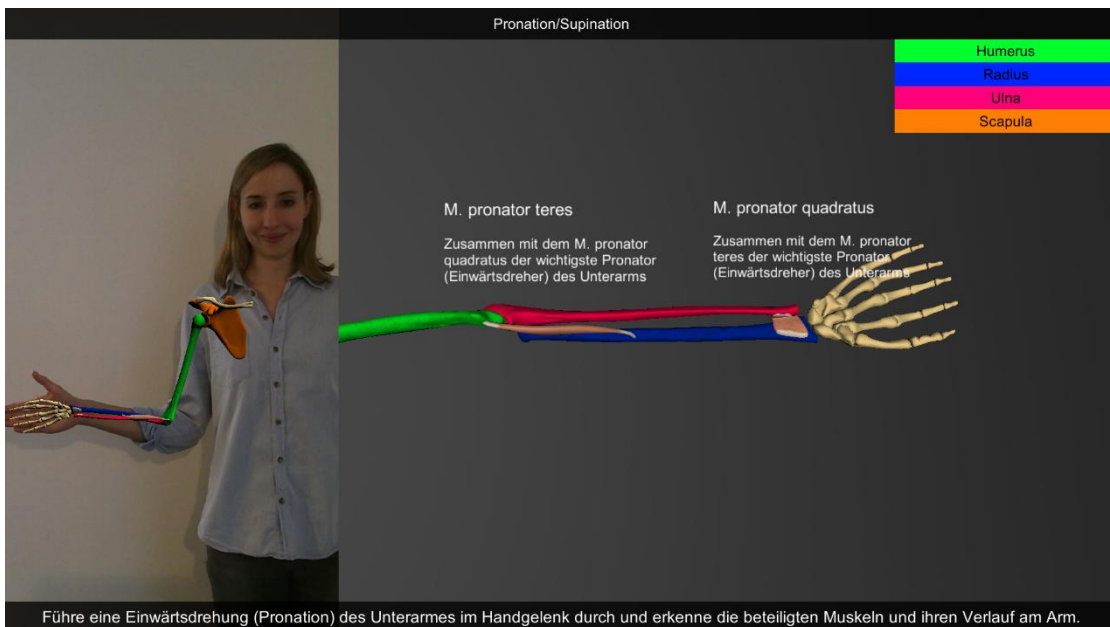


Abbildung 24: Lerninheit Magic Mirror: Übersicht über die Muskeln der Pronation.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Im Rahmen des Unterthemas der Supination wird der M. supinator vorgestellt (s. Abbildung 25).

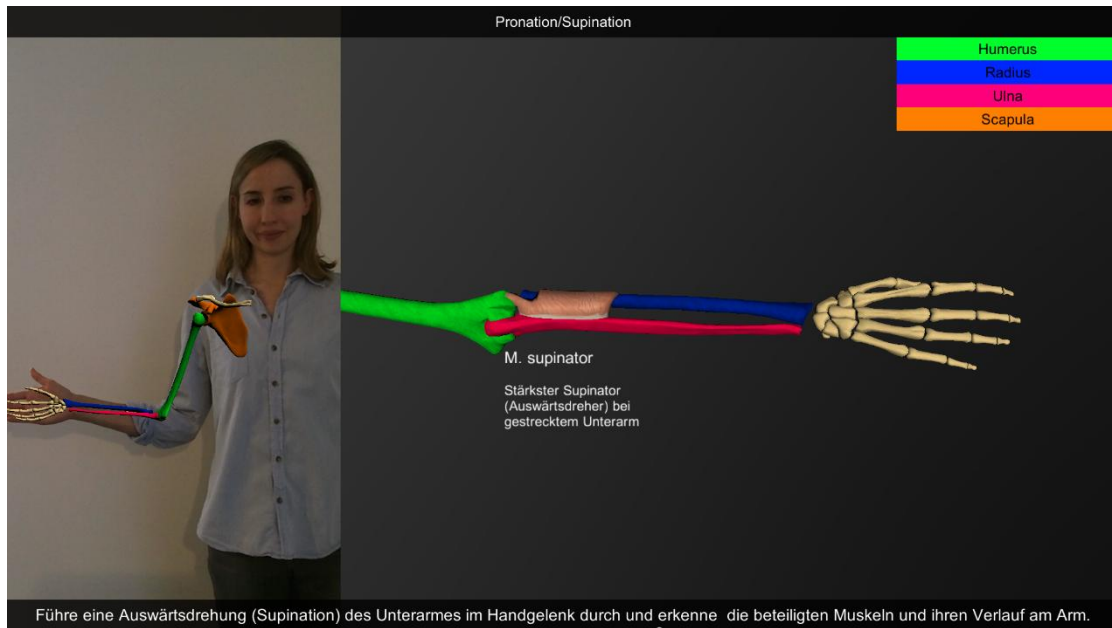


Abbildung 25: Lerneinheit Magic Mirror: M. supinator.

Die Lerneinheit Magic Mirror endet mit der zeitgleichen Darstellung der Muskeln M. pronator teres, M. pronator quadratus und M. supinator (s. Abbildung 26).

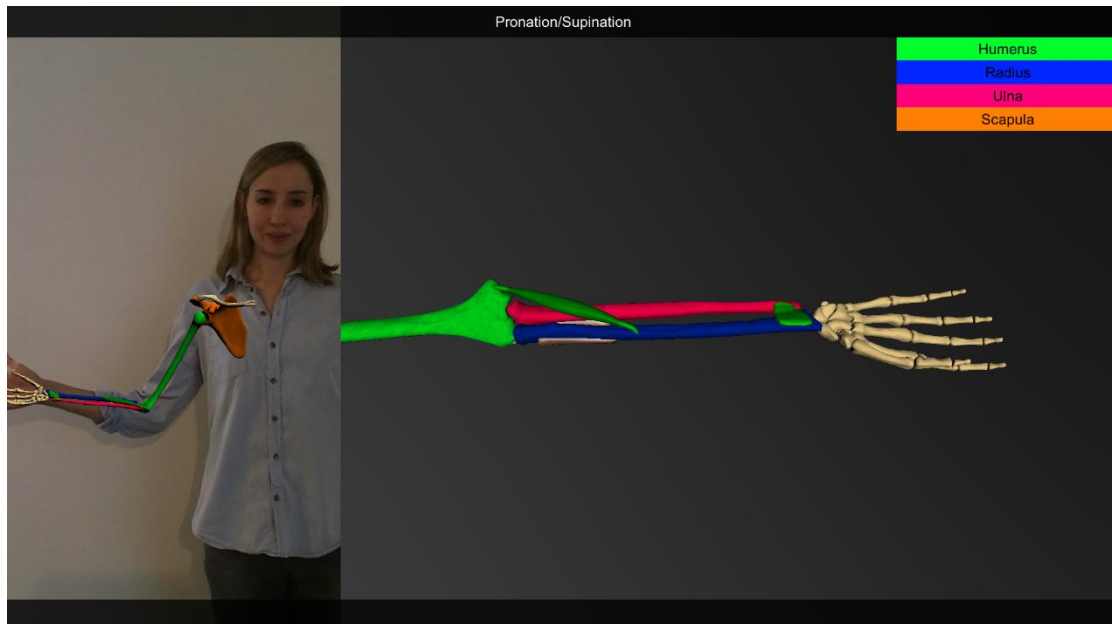


Abbildung 26: Lerneinheit Magic Mirror: Übersicht über die Muskeln der Pro- und Supination.

4.1.2.2 KONZEPTION DER LERNEINHEIT ANATOMIEATLAS

Die Lerneinheit Anatomieatlas wurde mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages auf Basis des Buches „Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen“ 23. Ausgabe 2010 erstellt.

Bei der Konzeption galt es zu beachten, dass im Vergleich zu der Lerneinheit des Magic Mirrors zu viele Informationen zu den ausgewählten Themen auf den Atlasseiten vorhanden waren. Die Menge an Informationen, die in Form von Bildern, Texten und Bewegungen vermittelt werden sollten, musste allerdings bei beiden Lerneinheiten vergleichbar sein. Dementsprechend wurden die jeweiligen Anatomieatlasseiten modifiziert, das heißt, dass Informationen, die nicht in der Lerneinheit des Magic Mirrors programmiert wurden, auch in der des Anatomieatlas nicht aufgenommen wurden.⁹⁴

4.1.3 BESTIMMUNG DER ZIELGRUPPE

Die Auswahl der Probanden für die experimentelle Studie unterlag verschiedenen Ein- und Ausschlusskriterien. Diesen Kriterien lag zugrunde, dass die Themen der oben beschriebenen Lerneinheiten Grundlagen der anatomischen Lehre darstellen und die Probanden für die Bearbeitung kein anatomisches Wissen vorweisen mussten. Die Probanden sollten allerdings ein Interesse für die menschliche Anatomie haben. Dementsprechend wurden männliche und weibliche Probanden unbegrenzten Alters in die Studie eingeschlossen, die zu Beginn einer Ausbildung oder eines Studiums eines medizinisch assoziierten Berufes standen und noch nicht in der Anatomie des Armes unterrichtet wurden. Auf Basis dieser Einschlusskriterien wurde der Kontakt zu Berufsschulen der Physiotherapie, der Krankenpflege, der präklinischen Rettungsmedizin, der Hebammen, der Medizinisch-Technisch-Radiologischen- und der Medizinisch-Technischen Assistenten aufgenommen. Auch wurden Erstsemesterstudenten der Humanmedizin der LMU München im Rahmen der Erstsemester Einführungswochen durch persönliche Ansprache akquiriert.

Die teilnehmenden Probanden konnten 4 verschiedenen Ausbildungsgruppen zugeordnet werden. Die größte Gruppe bildeten Erstsemesterstudenten der Humanmedizin. Die zweitgrößte Gruppe bestand aus Auszubildenden des Berufes zum Notfallsanitäter, während Gruppe 3 und 4 aus Auszubildenden für den Beruf des Medizinisch-Technischen Assistenten bzw. für den Beruf des Medizinisch-Technisch-Radiologischen Assistenten

⁹⁴ Siehe Anhang 8.3 Lerneinheit Anatomieatlas der experimentellen Studie.

bestanden. Alle Probanden der hier aufgeführten Berufsgruppen befanden sich in den ersten Wochen ihres Studiums bzw. ihrer Ausbildung und hatten die Anatomie des Armes zu diesem Zeitpunkt nicht behandelt. In der Gruppe der Erstsemesterstudenten befanden sich allerdings auch Probanden, die die Wartezeit für einen Studienplatz mit einer Ausbildung im Rettungsdienst oder in der Krankenpflege überbrückt hatten. Diese Probanden wurden von der Studie nicht ausgeschlossen, da angenommen wurde, dass der Unterricht über die Anatomie des Armes bereits mehrere Jahre zurück lag und nicht so detailliert wie in den erstellten Lerneinheiten gelehrt wurde. Des Weiteren war eine Teilnahme minderjähriger Probanden nur möglich, wenn eine Einverständniserklärung der jeweiligen Erziehungsberechtigten vorlag.

Von der Teilnahme wurden Probanden ausgeschlossen, die kein Studium oder keine Ausbildung für einen medizinisch-assoziierten Beruf absolvierten. Auch wurden Medizinstudenten, die sich im 2. oder höheren Fachsemestern befanden nicht als Probanden zugelassen.

4.1.4 AUSWAHL DER BEWERTUNGSMETHODE

Für die Überprüfung der in der Einleitung aufgestellten Hypothesen für die experimentelle Studie, musste zunächst eine Bewertungsmethode ausgewählt werden, die sowohl für AR-Systeme als auch für den eingesetzten Seitenauszug aus dem Anatomieatlas angewendet werden konnte. Die Literatur liefert in diesem Zusammenhang weder Erkenntnisse darüber, welche Bewertungsmethoden für AR-Systeme valide Ergebnisse liefern, noch gibt sie Aufschluss, welche Usability Tests bei einem Vergleich unterschiedlicher Lernmittel eingesetzt werden können.⁹⁵ Gleichzeitig existieren nur wenige Studien, die AR-Systeme überhaupt einer Bewertungsmethode unterzogen haben.⁹⁶

Die Auswahl der Bewertungsmethode soll gemäß Literatur auf spezifischen Merkmalen der Probanden basieren, wie beispielweise wer die Endnutzer sind, welche Ziele diese mit der Benutzung des Systems verfolgen und welche Bedürfnisse sie in diesem Zusammenhang haben.⁹⁷ Auch die zugrunde liegende Forschungsfrage muss bei der Auswahl der Bewertungsmethode beachtet werden.⁹⁸

⁹⁵ Vgl. Dünser / Billinghamurst (2011), S. 303.

⁹⁶ Vgl. Swan / Gabbard (2005); Dünser et al. (2008).

⁹⁷ Vgl. Fjeld (2003), S. 390.

⁹⁸ Vgl. Dünser / Billinghamurst (2011), S. 291.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Nach Dünser / Billinghurst (2011) können Bewertungsmethoden in 4 Kategorien eingeteilt werden. Demnach untersuchen Experimente zur Bewertung von AR-Systemen

- die Wahrnehmung und Kognition des Nutzers
- die Performanz des Nutzers
- die Kollaboration zwischen einzelnen Nutzern
- die Benutzerfreundlichkeit und Systembewertung.⁹⁹

Vor dem Hintergrund der Auswahlkriterien und der in der Einleitung aufgestellten Hypothesen basiert die Wahl der eingesetzten Bewertungsmethode auf den Kriterien „Bewertung“ durch die Probanden und dem „Ausmaß des erlangten anatomischen Wissens“ der Probanden. Analog zu Dünser / Billinghurst (2011) kann die Bewertungsmethode in die Kategorien „Benutzerfreundlichkeit und Systembewertung“ und „Performanz des Nutzers“ eingeordnet werden. Für deren Überprüfung wurde ein auf subjektiven und objektiven Messmethoden basierender Fragebogen erstellt, der im weiteren Verlauf erläutert wird.

4.1.5 KONZEPTION DES FRAGEBOGENS

Der Fragebogen gliedert sich in 3 Teile.¹⁰⁰ Im ersten Teil erfolgt die Evaluation der zuvor absolvierten Lerneinheit, während der zweite Teil das erlangte Wissen mittels Multiple Choice Fragen überprüft. Die demographischen Daten werden im dritten Teil erhoben. In Anlehnung an Ferrer-Torregrosa et al. (2015) und Bacca et al. (2014) wurde die Evaluation bzw. die Bewertung in die Kategorien *Motivation*, *Qualität des Lernens* sowie *Dimensionales Verständnis* unterteilt.¹⁰¹ Diese Kategorien beinhalten 13 geschlossene Fragen, die auf einer Likert-Rating-Skala von 1 (=„Trifft nicht zu“) bis 4 (=„Trifft voll zu“) bewertet werden können.

Die Kategorie *Motivation* beinhaltet die zwei Items „Motivation Anatomie zu lernen“ und „Spaß beim Lernen“. Darauf folgend wird die *Qualität des Lernens* thematisiert, wobei hier die Items „Aufmerksamkeit beim Lernen“, „Menge der dargestellten Information“, „Aktives Lernen“, „Eigenständiges Lernen“, „Wichtiges Wissen“, „Übersichtlichkeit der

⁹⁹ Vgl. Dünser / Billinghurst (2011), S. 297.

¹⁰⁰ Siehe Anhang 8.4 Fragebogen der experimentellen Studie.

¹⁰¹ Vgl. Ferrer-Torregrosa et al. (2015), S. 120; Bacca et al. (2014), S. 142.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Darstellung“ sowie „Hilfe für die Wissensspeicherung“ abgefragt werden. Im dritten Abschnitt werden die Probanden aufgefordert, das vermittelte *Dimensionale Verständnis* zu bewerten. Abgefragt werden folgende vier Items: „Hilfe beim Erlernen der Anatomie des Armes“, „Vermittlung des Verständnisses für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes“, „Hilfe bei der Erlernung der einzelnen Funktionen des Muskels“ und „Visualisierung der Funktion der einzelnen Muskeln“.

Im zweiten Teil des Fragebogens soll das erlangte Wissen in Form von Multiple Choice Fragen überprüft werden. Es wurden 10 Multiple Choice Fragen erstellt, die der Überprüfung der Lernziele „Kenntnisse“, „Verständnis“ und „Anwendung des Wissens auf neue Sachverhalte“ zugeordnet werden können.¹⁰²

Im Rahmen der Überprüfung des Lernziels „Kenntnisse“ sollen die Probanden zuvor erlerntes Wissen bzw. Fakten aus der jeweiligen Lerneinheit wiedergeben können.¹⁰³ Dieses Lernziel verfolgen 7 Fragen des Wissenstests. In Frage 1 haben die Probanden die Aufgabe dem Knochen Humerus die richtige Zahl eines bezifferten Armskeletts zuzuordnen. Die Identifizierung eines Extensors im Ellbogengelenk verlangt Frage 2, während bei Frage 4 der dargestellte M. coracobrachialis als dieser erkannt werden muss. Frage 6 weist einen hohen Schwierigkeitsgrad auf, da hier der Muskel angekreuzt werden soll, der an der mit einem Pfeil markierten Tuberositas ulnae ansetzt. In Frage 7 hat der Proband die Aufgabe, die richtige Bewegungskombination des Ellbogengelenks anzukreuzen, während Fragen 8 und 9 nach Ursprung und Ansatz der Muskeln M. pronator quadratus und M. pronator teres fragen. Die Schwierigkeit der Fragen 2, 8 und 9, die sich keiner Abbildung bedienen, besteht für die Probanden darin, die aus den Lerneinheiten insbesondere durch Bilder vermittelten Informationen auf Textinformationen zu übertragen.

Das Lernziel „Verständnis“ beschreibt die Fähigkeit des Probanden, den Sinn oder die Funktion eines Sachverhaltes zu begreifen und / oder diesen bei einer anderen Darstellung als in der Lerneinheit befindlichen zu identifizieren.¹⁰⁴ In Frage 5 wird dieses Lernziel überprüft, in dem der Proband anhand eines Fotos mit einem abgebildeten Oberarm, den

¹⁰² Vgl. Jensen et al. (2006); Asmuth (2003), URL: http://www.lehrer-online.de/dyn/bin/multiple-choice-tests_329588-329719-1.pdf (abgerufen am 25.08.2015).

¹⁰³ Vgl. Jensen et al. (2006), S. 68; Asmuth (2003), S. 1, URL: http://www.lehrer-online.de/dyn/bin/multiple-choice-tests_329588-329719-1.pdf (abgerufen am 25.08.2015).

¹⁰⁴ Vgl. Jensen et al. (2006), S. 70; Asmuth (2003), S. 1, URL: http://www.lehrer-online.de/dyn/bin/multiple-choice-tests_329588-329719-1.pdf (abgerufen am 17.12.2015).

wichtigsten Muskel der Extension identifizieren soll. Der Proband muss also die topographische Anatomie der behandelten Muskeln verstanden haben, um diese Aufgabe lösen zu können. Frage 10 thematisiert die Funktion des M. supinator. Es werden 4 Bewegungsabläufe photographisch dargestellt, von denen derjenige anzukreuzen ist, der durch den M. supinator ausgeführt wird.

Frage 3 verfolgt die Überprüfung des Lernziels „Anwendung des Wissens auf neue bisher unbekannte Sachverhalte“. Hier wird nach dem Muskel gefragt, der beim „Armdrücken“ die größte Kraft in einer Beugstellung entfaltet, um den gegnerischen Arm in der Startposition zu fixieren.

4.2 DURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG DER EXPERIMENTELLEN STUDIE

Im Zeitraum von 09/2015 bis einschließlich 11/2015 fand die Durchführung der experimentellen Studie statt. Dafür war eine ausreichende Anzahl verfügbarer Räume notwendig, um die beiden Experimentgruppen örtlich voneinander zu trennen. Die Experimente und die Datenerhebung fanden aus diesem Grund hauptsächlich in den Räumlichkeiten des Physiologischen Instituts der LMU München statt. Weitere Räumlichkeiten waren die Lehrsäle der staatlich anerkannten Berufsschulen „Medical Rescue College – Lehrinstitut für präklinische Notfallmedizin“, der „Walner Berufsschule – Aus- und Fortbildungszentrum für medizinische Berufe“ sowie das ZEUS im Klinikum Großhadern.

4.2.1 DURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG DER LERNEINHEIT MAGIC MIRROR

Für die Durchführung der Experimente stand das technische Equipment für maximal zwei Magic Mirror zur Verfügung, die in einem Raum aufgebaut waren. Dabei ist zu erwähnen, dass ein Magic Mirror ausschließlich von maximal einer Person benutzt wurde. Während 2 Probanden eine mündliche Einführung für die Benutzung des Magic Mirror gegeben wurde, mussten die verbleibenden Teilnehmer der Experimentgruppe in einem separaten Raum auf ihren Einsatz warten, von dem aus sie die Lerneinheit nicht verfolgen konnten. Den Probanden wurde keine zusätzliche Zeit zum Üben gewährt.

Der vor dem Magic Mirror positionierte Proband hatte 20 Minuten Zeit, die im Kapitel 4.1.2.1 vorgestellte Lerneinheit zu absolvieren. Diese Zeit war ausreichend, um die meisten Unterthemen ein weiteres Mal zu bearbeiten. Sofern technische Hilfe notwendig war,

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

wurde diese bereitgestellt. Nach Ablauf der Bearbeitungszeit wurde dem Probanden der auf Papier ausgedruckte Fragebogen ausgehändigt, für den eine Bearbeitungszeit von maximal 15 Minuten vorgesehen war. Die Bearbeitung des Fragebogens fand in einem separaten und beaufsichtigten Raum statt, um Gruppenarbeit zu vermeiden. Sobald sich der Proband im Bearbeitungsraum befand, konnten die nächsten Testpersonen ihre Lerneinheit am Magic Mirror beginnen. Ein Austausch zwischen den Studienteilnehmern, welche die Lerneinheit bereits absolviert hatten und denen, die sie noch absolvieren mussten, war nicht möglich.

4.2.2 DURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG DER LERNEINHEIT ANATOMIEATLAS

Die Bearbeitung der Lerneinheit Anatomieatlas und die Beantwortung des Fragebogens fand im Gegensatz zu der Experimentgruppe Magic Mirror bei allen Probanden gleichzeitig statt. Hier wurde zunächst ein Exemplar je Proband des mehrseitigen Atlasauszuges ausgeteilt. Die Bearbeitungszeit betrug ebenfalls 20 Minuten und reichte auch in der Experimentgruppe Anatomieatlas aus, um die meisten Unterthemen zu wiederholen. Gruppenarbeit war nicht erlaubt. Nach Ablauf der Bearbeitungszeit wurden die Lerneinheiten eingesammelt, während gleichzeitig die Fragebögen ausgeteilt wurden. Für die Beantwortung des Fragebogens hatten die Probanden ebenfalls 15 Minuten Zeit.

4.3 ERGEBNISSE DER EXPERIMENTELLEN STUDIE

4.3.1 DEMOGRAPHISCHE DATEN DER STICHPROBE

Die experimentelle Studie wurde mit N=150 Probanden durchgeführt. 54,7% der Teilnehmer waren weiblichen (n=82) und 45,3% männlichen (n=68) Geschlechts. Die Experimentgruppe Magic Mirror (**MM**) bestand aus n=73 Probanden, die Experimentgruppe Anatomieatlas (**AA**) wurde von n=77 Probanden gebildet. Das folgende Histogramm (s. Abbildung 27) stellt die Altersverteilung der Stichprobe dar.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

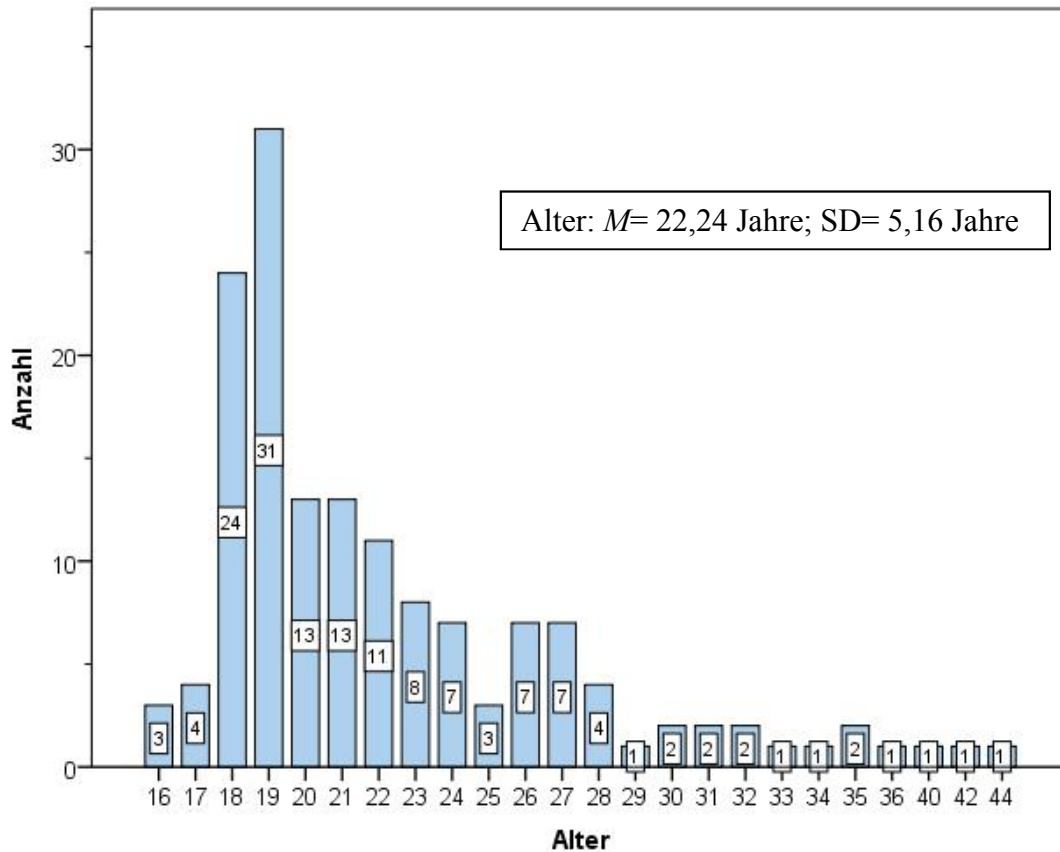


Abbildung 27: Histogramm der Altersverteilung der teilnehmenden Probanden des prospektiven randomisierten Experiments.

Anhand des Histogramms der Altersverteilung ist zu erkennen, dass mehr als die Hälfte der Probanden zwischen 18-22 Jahren alt ist. Dabei ist insbesondere die Gruppe der 18- und 19-jährigen am stärksten vertreten. Der mit circa 30% zweitgrößte Anteil wird von Probanden der Altersklasse zwischen 23 - 29 Jahren gebildet, während nur 10 % der Probanden über 29 Jahre alt ist. Der Anteil der minderjährigen Probanden zwischen 16-17 Jahren ist mit 0,05% relativ klein. Das durchschnittliche Alter beträgt in dieser Stichprobe $M= 22,24$ Jahre. Die Verteilung von Qualifikationsstufen der Probanden insgesamt und je Experimentgruppe wird in folgender Tabelle 4 dargestellt.

Höchste Qualifikationsstufe	Gesamt		Magic Mirror		Anatomieatlas	
	N	%	N	%	N	%
Schule (Abitur, ...)	118	78,7	56	76,7	62	80,5
Berufsausbildung	23	15,3	10	13,7	13	16,9
Hochschulstudium	9	6,0	7	9,6	2	2,6

Tabelle 4: Qualifikationsstufen der Probanden.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Ein Anteil von 78,7% der Probanden verfügt über eine abgeschlossene schulische Ausbildung, diese Gruppe ist auf beide Experimentgruppen annähernd gleich aufgeteilt. Auch die Gruppe derjenigen, die bereits über eine abgeschlossene Berufsausbildung verfügen, ist mit 13,7 % in der Experimentgruppe Magic Mirror und 16,9% in der Experimentgruppe Anatomieatlas ähnlich. Eine Anzahl von 9 der 150 Probanden hat bereits ein Hochschulstudium absolviert, hier bearbeiteten 7 die Lerneinheit des AR-Systems und 2 die des Anatomieatlas.

Tabelle 5 zeigt, welche Lernmittel die teilnehmenden 150 Probanden in der Vergangenheit vorwiegend genutzt haben. Mehrfachantworten waren möglich.

Lernmittel	Absolute Häufigkeiten	Prozent (%)
Bücher	138	92
Internet	66	44
Interaktive Lernprogramme	11	7,3

Tabelle 5: Häufig verwendete Lernmittel von Probanden der experimentellen Studie.

Es wird deutlich, dass 138 Probanden insbesondere Bücher als Lernmittel nutzen. Weniger als die Hälfte beziehen ihr Wissen vor allem aus dem Internet. Auch die neueren Lernmittel, wie interaktive Lernprogramme werden nur von 11 der 150 Probanden als Bildungstool genutzt.

4.3.2 GEGENÜBERSTELLUNG VON BEWERTUNGEN DER EXPERIMENTGRUPPEN MAGIC MIRROR UND ANATOMIEATLAS

Im Rahmen der statistischen Auswertung des Fragebogenabschnitts Bewertung wird zunächst das Gesamtergebnis der drei Kategorien *Motivation*, *Qualität des Lernens* und *Dimensionales Verständnis* im Vergleich zwischen den Experimentgruppen Magic Mirror und Anatomieatlas analysiert.

Abbildungen 28-30 zeigen anhand Box-Plots die bivariate Verteilung der abhängigen Variablen des jeweiligen Lernmittels. In Tabelle 6-8 wird der Mann-Whitney-Test dargestellt.

Bewertung der Kategorie *Motivation*

Box-Plots (2 Items, minimale/maximale zu erreichende Punktzahl: 2/8)

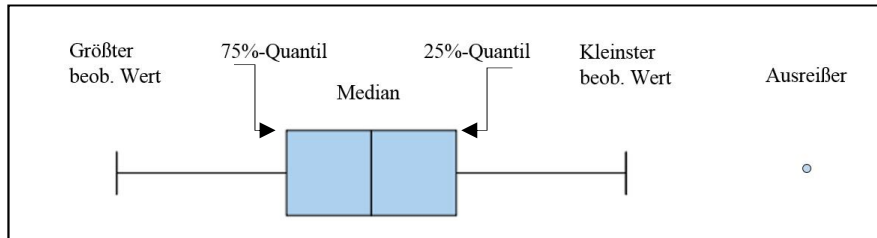
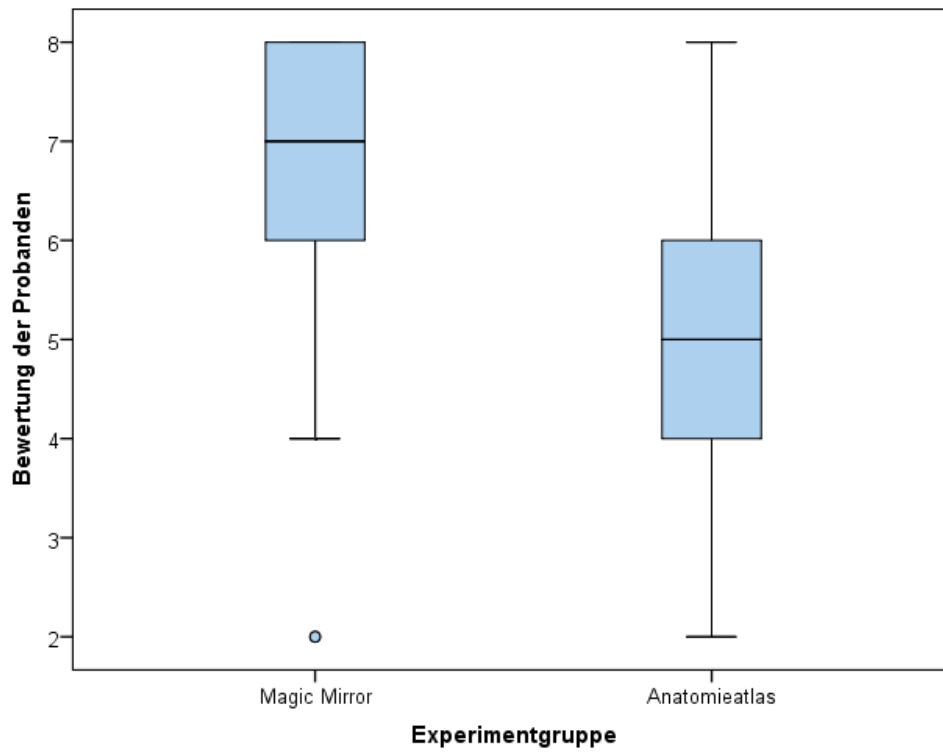


Abbildung 28: Box-Plots der Experimentgruppen MM und AA: Bessere Bewertung des MM in der Kategorie *Motivation*.

Mann-Whitney-Test

		Ränge		
Experimentgruppe		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Motivation	Magic Mirror	73	99,01	7227,50
	Anatomieatlas	77	53,21	4097,50
	Gesamt	150		

Statistik für Test^a

	Motivation
Mann-Whitney-U	1094,500
Wilcoxon-W	4097,500
Z	-6,616
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001

a. Gruppvariable: Experiment-gruppe

Tabelle 6: Mann-Whitney-Test der Kategorie *Motivation*: Signifikanter Unterschied in den erzielten mittleren Rängen der Experimentgruppen MM und AA.

Die Box-Plots (Abbildung 28) und die erzielten Ränge im Mann-Whitney-Test (Tabelle 6) der Kategorie *Motivation* verdeutlichen, dass das Lernmittel Magic Mirror besser bewertet wird als der Anatomieatlas. Neben einem im Box-Plot dargestellten Median von $\tilde{x}_{MM} = 7$ im Vergleich zu $\tilde{x}_{AA} = 5$, unterscheiden sich ebenfalls die Lage der Boxen, die 50% der beobachteten Fälle repräsentieren. Diese 25%- ($\tilde{x}_{0,25}$) und 75%-Quantile ($\tilde{x}_{0,75}$) befinden sich visuell auf unterschiedlicher Höhe und lassen signifikante Unterschiede vermuten, die der Mann-Whitney-Test bestätigt. Demnach bewerteten 50% der Probanden das AR-System zwischen $\tilde{x}_{0,25 MM} = 6$ und $\tilde{x}_{0,75 MM} = 8$ Punkten, den Anatomieatlas dagegen nur zwischen $\tilde{x}_{0,25 AA} = 4$ und $\tilde{x}_{0,75 AA} = 6$ Punkten. Auch der jeweils kleinste beobachtete Wert x_{min} unterscheidet sich zwischen den beiden Gruppen. Während dieser für den Magic Mirror $x_{min MM} = 4$ beträgt, erreicht das Lernmittel Anatomieatlas nur $x_{min AA} = 2$ Punkte, was gleichzeitig der minimalen zu erreichenden Punktzahl entspricht. Der durch die Box-Plots vermittelte Trend wird durch den Mann-Whitney-Test bestätigt. Dabei beträgt der mittlere (durchschnittliche) Rang des Magic Mirrors $R_{MM} = 99,01$ und ist somit fast doppelt so hoch, als der mittlere Rang des Anatomieatlas mit $R_{AA} = 53,21$. Dieser Unterschied ist mit $p < ,001$ hoch signifikant.

Bewertung der Kategorie *Qualität des Lernens*

Box-Plots (7 Items, minimale/maximale zu erreichende Punktzahl: 7/28)

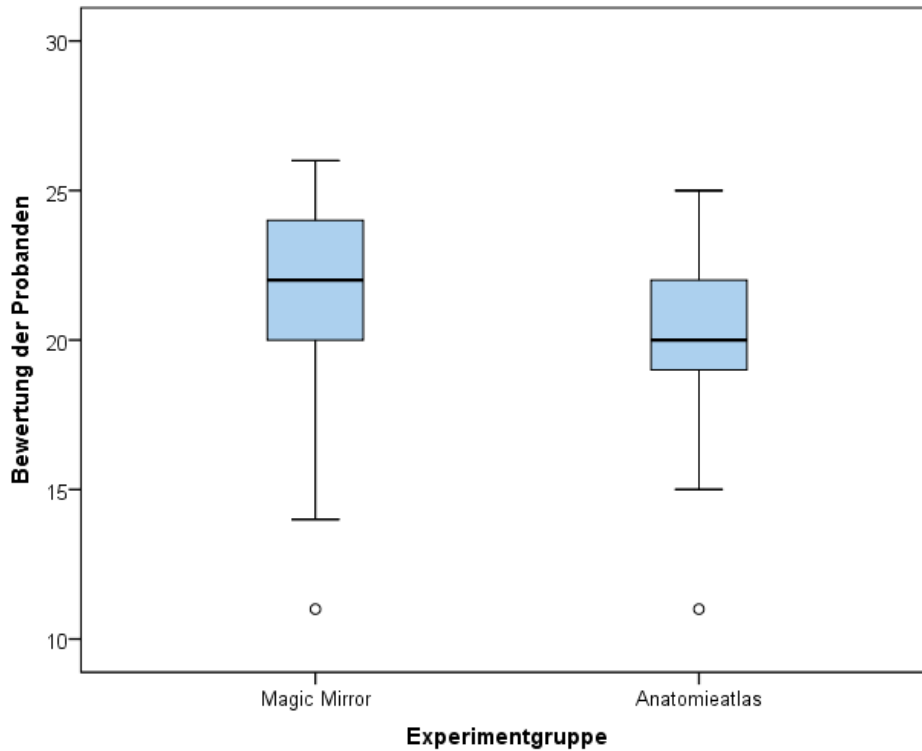


Abbildung 29: Box-Plots der Experimentgruppen MM und AA: Bessere Bewertung des MM in der Kategorie *Qualität des Lernens*.

Mann-Whitney-Test

		Ränge		
Experimentgruppe		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Qualität des Lernens	Magic Mirror	73	85,70	6256,00
	Anatomieatlas	77	65,83	5069,00
	Gesamt	150		

Statistik für Test ^a	
	Qualität d. Lernens
Mann-Whitney-U	2066,000
Wilcoxon-W	5069,000
Z	-2,816
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,005

a. Gruppenvariable: Experimentgruppe

Tabelle 7: Mann-Whitney-Test der Kategorie *Qualität des Lernens*: Signifikanter Unterschied in den erzielten mittleren Rängen der Experimentgruppen MM und AA.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Die Box-Plots (Abbildung 29) und der Mann-Whitney-Test (Tabelle 7) der Kategorie *Qualität des Lernens* spiegeln ebenfalls einen Trend der besseren Bewertung des Magic Mirrors wider. Dieser ist jedoch visuell weniger deutlich zu erkennen, als in der Kategorie *Motivation*. Während der Median des Magic Mirrors bei $\tilde{x}_{MM} = 22$ liegt, beträgt der Median für den Anatomieatlas $\tilde{x}_{AA} = 20$. Gleichzeitig weist aber die Experimentgruppe Magic Mirror mit $\tilde{x}_{0,25 MM} = 20$ sowie $\tilde{x}_{0,75 MM} = 24$ eine größere Streuung auf, als die Experimentgruppe Anatomieatlas mit $\tilde{x}_{0,25 AA} = 19$ und $\tilde{x}_{0,75 AA} = 22$. Hinsichtlich der beobachteten kleinsten und größten Werte unterscheiden sich die beiden Experimentgruppen um jeweils einen Punkt. Hier betragen der $x_{\min MM} = 14$ Punkte und der $x_{\min AA} = 15$ Punkte sowie $x_{\max MM} = 26$ Punkte und $x_{\max AA} = 25$ Punkte.

Obwohl die Unterschiede schwächer ausgeprägt sind, sind an den Boxen deutliche Höhenunterschiede erkennbar, so dass ein signifikanter Unterschied zu erwarten ist.

Die erzielten mittleren Ränge im Mann-Whitney-Test betragen für den Magic Mirror $R_{MM} = 85,70$ Punkte und für den Anatomieatlas $R_{AA} = 65,83$ Punkte. Die Unterschiede in der Bewertung der Kategorie *Qualität des Lernens* ist mit $p < ,005$ signifikant.

Bewertung der Kategorie: Dimensionales Verständnis

Box-Plots (4 Items, minimale/maximale zu erreichende Punktzahl: 4/16)

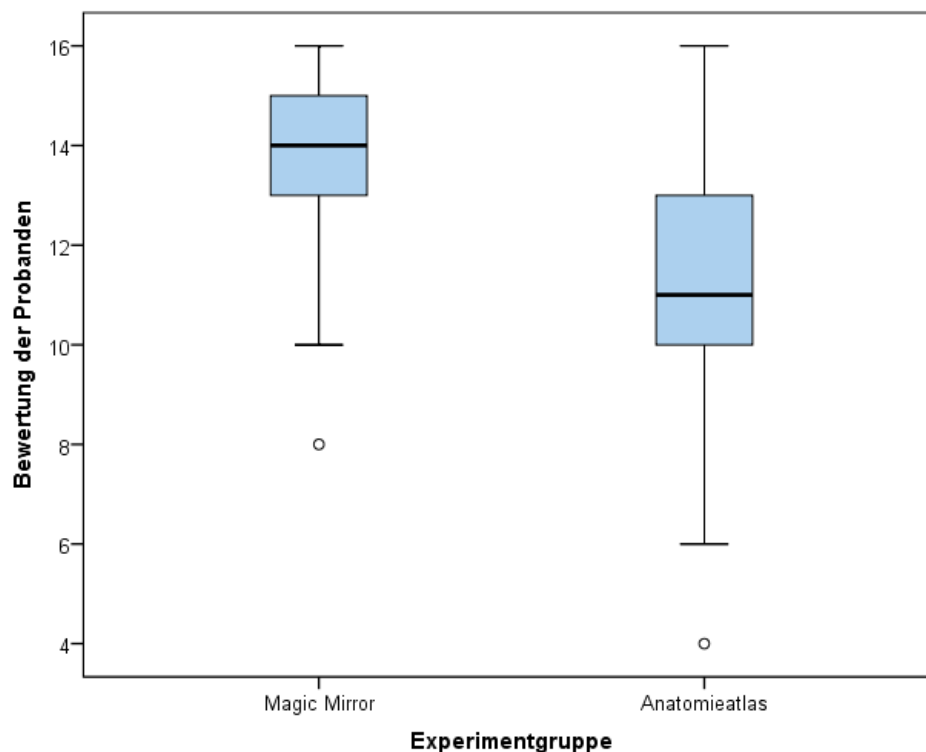


Abbildung 30: Box-Plots der Experimentgruppen MM und AA: Bessere Bewertung des MM in der Kategorie *Dimensionales Verständnis*.

Mann-Whitney-Test

		Ränge		
Experimentgruppe		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Dimensionales Verständnis	Magic Mirror	73	103,23	7536,00
	Anatomieatlas	77	49,21	3789,00
	Gesamt	150		

Statistik für Test^a

	DimVerständnis
Mann-Whitney-U	786,000
Wilcoxon-W	3789,000
Z	-7,674
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001

a. Gruppenvariable: Experimentgruppe

Tabelle 8: Mann-Whitney-Test der Kategorie *Dimensionales Verständnis*: Signifikanter Unterschied in den erzielten mittleren Rängen der Experimentgruppen MM und AA.

Auch die Bewertungen der Kategorie *Dimensionales Verständnis* weisen zwischen den beiden Experimentgruppen einen hoch signifikanten Unterschied auf ($p < ,001$) (Tabelle 8). Das AR-System wird besser bewertet als der Anatomieatlas. Während der mittlere Rang des Magic Mirrors im Mann-Whitney-Test $R_{MM} = 103,23$ Punkte beträgt, erreicht der Anatomieatlas einen deutlich schlechteren mittleren Rank von $R_{AA} = 49,21$ Punkten. Anhand der Box-Plots (Abbildung 30) ist zu erkennen, dass der Median der Experimentgruppe Magic Mirror bei $\tilde{x}_{MM} = 14$ liegt, während dieser in der Kontrollgruppe $\tilde{x}_{AA} = 11$ beträgt.

Die 25%- und 75%-Quantile liegen beim Magic Mirror zwischen $\tilde{x}_{0,25 MM} = 13$ und $\tilde{x}_{0,75 MM} = 15$ Punkten, beim Anatomieatlas zwischen $\tilde{x}_{0,25 AA} = 10$ und $\tilde{x}_{0,75 AA} = 13$ Punkten. Die Boxen überschneiden sich folglich nicht, so dass ein hoch signifikantes Ergebnis zu erwarten ist. Auch die kleinsten beobachtete Bewertungen unterscheiden sich deutlich. Während der Magic Mirror mindestens $x_{min MM} = 10$ Punkte in der Kategorie *Dimensionales Verständnis* erreicht, beträgt die schlechteste Bewertung für den Anatomieatlas $x_{min AA} = 6$ Punkte. Dagegen unterscheiden sich die größten beobachteten Bewertungen nicht, diese betragen in beiden Gruppen $x_{max} = 16$ Punkte.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Anhand der vorgestellten statistischen Ergebnisse ist zu erkennen, dass die Streuung in der Experimentgruppe Anatomieatlas fast über das gesamte Punktspektrum reicht, während die Experimentgruppe Magic Mirror deutlich homogenere Ergebnisse liefert. Alle drei Kategorien liefern dabei hoch signifikante Unterschiede. Hierbei erhält ausschließlich das AR-System Magic Mirror die bessere Bewertung.

Item Analyse

Im folgenden Abschnitt werden die insgesamt 13 Items der drei Kategorien *Motivation*, *Qualität des Lernens* und *Dimensionales Verständnis* einzeln analysiert, in dem die prozentualen Häufigkeiten je Antwortoption (Tabelle 9 bis Tabelle 11) sowie Mittelwerte und Standardabweichungen (Tabelle 12 bis Tabelle 14) bestimmt werden.

Aufgrund von interessanten Ergebnissen werden die Items „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas...

-...bereitet Spaß beim Lernen“

-... fördert aktives Lernen“ und

-...visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“

zur detaillierten Darstellung berücksichtigt.

Bewertung je Item: Prozentuale Häufigkeiten (Angaben in %)

Kategorie <i>Motivation</i>	Trifft <u>nicht</u> zu		Trifft <u>eher</u> <u>nicht</u> zu		Trifft <u>eher</u> zu		Trifft <u>voll</u> zu	
	MM	AA	MM	AA	MM	AA	MM	AA
steigert meine Motivation	2,7	10,4	13,7	35,1	47,9	49,4	35,6	5,2
bereitet Spaß beim Lernen	2,7	10,4	9,6	46,8	42,5	41,6	45,5	1,3

Tabelle 9: Prozentuale Häufigkeiten je Item der Kategorie *Motivation*.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Kategorie <i>Qualität des Lernens</i>	Trifft <u>nicht</u> zu		Trifft <u>eher nicht</u> zu		Trifft <u>eher</u> zu		Trifft <u>voll</u> zu	
	MM	AA	MM	AA	MM	AA	MM	AA
fördert meine Aufmerksamkeit	0	9,1	24,7	48,1	53,4	33,8	21,9	9,1
liefert zu viele Informationen	37,0	3,9	34,2	27,3	24,7	42,9	4,1	26,0
fördert aktives Lernen	2,7	15,6	5,5	41,6	34,2	36,4	57,5	6,5
hilft eigenständig zu lernen	2,7	6,5	24,7	29,9	49,3	41,6	23,3	22,1
liefert wichtiges Wissen	2,7	0	8,2	3,9	46,6	45,5	42,5	50,6
stellt Anatomie übersichtlich dar	4,1	1,3	9,6	22,1	32,9	53,2	53,4	23,4
hilft Wissen im Gedächtnis zu speichern	4,1	13,6	26,0	48,1	43,8	36,4	26,0	2,6

Tabelle 10: Prozentuale Häufigkeiten je Item der Kategorie *Qualität des Lernens*.

Kategorie <i>Dimensionales Verständnis</i>	Trifft <u>nicht</u> zu		Trifft <u>eher nicht</u> zu		Trifft <u>eher</u> zu		Trifft <u>voll</u> zu	
	MM	AA	MM	AA	MM	AA	MM	AA
hilft die Anatomie des Armes zu erlernen	0	1,3	8,2	6,5	49,3	61,0	42,5	31,2
fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes	1,4	6,5	2,7	27,3	31,5	48,8	64,4	19,5
hilft die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen	0	9,1	2,7	26,0	41,5	50,6	56,2	14,3
visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln	0	23,4	0	28,6	32,9	36,4	67,1	11,7

Tabelle 11: Prozentuale Häufigkeiten je Item der Kategorie *Dimensionales Verständnis*.

Bewertung je Item: Mittelwerte

Kategorie <i>Motivation</i>	Mittelwerte je Experimentgruppe		SD je Experiment- gruppe		p-Wert
	MM (n=73)	AA (n=77)	MM	AA	
steigert meine Motivation	3,16	2,49	0,76	0,75	,001
bereitet Spaß beim Lernen	3,30	2,34	0,76	0,68	,001
<i>(Von 1 = „Trifft nicht zu“ bis 4 = „Trifft voll zu“)</i>					

Tabelle 12: Mittelwerte je Item der Kategorie *Motivation*.

Wie die Analyse der Box-Plots und des Mann-Whitney-Tests bereits verdeutlicht hat, schneidet der Magic Mirror in der Kategorie *Motivation* deutlich besser ab. Anhand des Vergleichs der Mittelwerte zeigt sich, dass das AR-System insbesondere für das Item „...bereitet Spaß beim Lernen“ mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 3,30$ eine um fast $\frac{1}{4}$ hoch signifikant bessere Bewertung erhalten hat als das traditionelle Lernmittel mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{AA} = 2,34$ ($p < ,001$). Aufgrund dieses prägnanten Ergebnisses wurden zusätzlich Box-Plots zu diesem Item erstellt (Abbildung 31). Bei der Betrachtung der Box-Plots fällt auf, dass die maximal zu erreichende Punktzahl von 4 Punkten beim Magic Mirror das 75%-Quantil darstellt. Folglich haben über 25% der Probanden die höchste Punktzahl vergeben. Auch für das Item „...steigert meine Motivation“ erreicht der Magic Mirror signifikant mehr Zustimmung als der Anatomieatlas ($p < ,001$).

Tabelle 9 stellt die prozentuale Verteilung der gewählten Antwortoptionen dar. Hier ist insbesondere die Diskrepanz der prozentualen Häufigkeit für die beste Antwortoption „Trifft voll zu“ bei beiden Items der Kategorie *Motivation* erwähnenswert. Während zwischen 36% und 46% der Probanden des AR-Systems die jeweils beste Antwortoption angekreuzten, haben in der Experimentgruppe Anatomieatlas nur 5% und 1% der Probanden die maximale Punktzahl vergeben.

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass insbesondere der Faktor „Spaß“ in der Kategorie *Motivation* die Attraktivität des Magic Mirrors im Vergleich zum traditionellen Lernmittel Anatomieatlas steigert.

Item „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas bereitet mir Spaß beim Lernen“

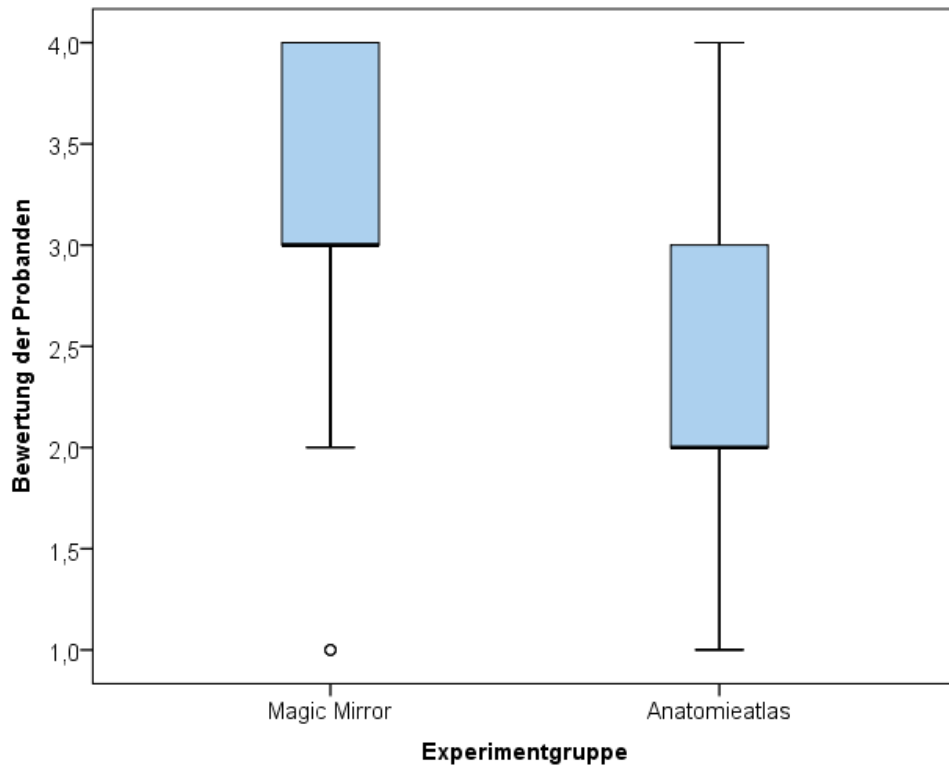


Abbildung 31: Box-Plots der Bewertung des Items „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas bereitet mir Spaß beim Lernen“: Bessere Bewertung des Magic Mirrors.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Kategorie <i>Qualität des Lernens</i>	Mittelwerte je Experimentgruppe		SD je Experiment- gruppe		p-Wert
	MM	AA	MM	AA	
fördert meine Aufmerksamkeit	2,97	2,43	0,69	0,79	,001
liefert zu viele Informationen	1,96	2,91	0,89	0,83	,001
fördert aktives Lernen	3,47	2,34	0,73	0,82	,001
hilft eigenständig zu lernen	2,93	2,79	0,77	0,86	,335
liefert wichtiges Wissen	3,29	3,47	0,74	0,58	,176
stellt Anatomie übersichtlich dar	3,36	2,99	0,82	0,72	,001
hilft Wissen im Gedächtnis zu speichern	2,92	2,29	0,83	0,72	,001
<i>(Von 1 = „Trifft nicht zu“ bis 4 = „Trifft voll zu“)</i>					

Tabelle 13: Mittelwerte je Item der Kategorie *Qualität des Lernens*.

In der Kategorie *Qualität des Lernens* wird das AR-System in insgesamt 6 von 7 Items besser bewertet als das traditionelle Lernmittel. Das Item „...liefert mir wichtiges Wissen“ stellt das einzige Item des gesamten Bewertungsteils des Fragebogens dar, in dem der Anatomieatlas eine bessere durchschnittliche Bewertung mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{AA} = 3,47$ erhält als der Magic Mirror mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 3,29$. Gleichzeitig ist dies die beste vom Anatomieatlas erzielte Bewertung aller 13 Items. Dieser Unterschied ist inferentialstatistisch nicht signifikant.

Die Bewertung des Items „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ liefert einen hoch signifikanten Unterschied zwischen beiden Experimentgruppen ($p < ,001$). Hier wurde das AR-System mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 2,97$ im Vergleich zu einem Mittelwert von $\bar{x}_{AA} = 2,43$ des Anatomieatlas besser bewertet. Vergleicht man die prozentualen Häufigkeiten (Tabelle 10) ist zu erkennen, dass kein Proband der Experimentgruppe Magic Mirror die schlechteste Bewertung angekreuzt hat, dagegen 9% der Experimentgruppe Anatomieatlas. Gleichzeitig stimmen wiederum 9% der Nutzer des Anatomieatlas dem Item „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ voll zu, während mit annähernd 22% mehr als doppelt so viele Probanden des AR-Systems dieser Aussage voll

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

zustimmen. Es ist zu konstatieren, dass die Bewertung des AR-Systems signifikant besser ausfällt im Vergleich zum traditionellen Lernmittel, ein Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 2,97$ aber einer mittelmäßigen Bewertung entspricht.

Bei der nächsten zu bewertenden Aussage „...liefert zu viele Informationen“ ist zu beachten, dass aufgrund der Formulierung ein niedriger Mittelwert \bar{x} eine gute Bewertung darstellt. Hier ist der Mittelwert des Magic Mirrors von $\bar{x}_{MM} = 1,96$ um fast einen Punkt signifikant besser ($p < ,001$) als der Mittelwert des Anatomieatlas von $\bar{x}_{AA} = 2,91$. Dennoch stellen diese Mittelwerte für beide Experimentgruppen die jeweils schlechteste Bewertung aller 13 Items dar.

Einen weiteren hoch signifikanten Unterschied von mehr als einem Punkt liefert die Aussage „...fördert aktives Lernen“ mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 3,47$ im Vergleich zu einem Mittelwert von $\bar{x}_{AA} = 2,34$. Während die Bewertung des Magic Mirrors einer guten bis sehr guten Bewertung entspricht, ist die Bewertung des Anatomieatlas mittelmäßig. Mehr als die Hälfte der Probanden des Magic Mirrors haben diesem Item voll zugestimmt, während die Mehrzahl der Nutzer des Anatomieatlas diesem Item (eher) nicht zugestimmt haben (Tabelle 10). Auch die Box-Plots (Abbildung 32) spiegeln diesen Trend wider. Hier ist zu erkennen, dass der Median $\tilde{x}_{MM} = 4$ im Vergleich zu $\tilde{x}_{AA} = 2$ doppelt so groß ist und gleichzeitig das 75%-Quantil der Experimentgruppe Magic Mirror darstellt. In der Experimentgruppe Anatomieatlas wird die maximal zu erreichende Punktzahl von 4 nur als größte beobachtete Bewertung gezählt.

Die Bewertung des Items „...hilft mir eigenständig zu lernen“ liefert keinen signifikanten Unterschied in den Mittelwerten. Beide Lernmittel erhalten eine durchschnittliche bis gute Bewertung, die beim Magic Mirror mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 2,93$ besser ausfällt, als die des Anatomieatlas mit einem Mittelwert $\bar{x}_{AA} = 2,79$. Die prozentualen Häufigkeiten je Antwortoption sind in beiden Experimentgruppen ähnlich ausgeprägt.

Hoch signifikante Unterschiede ($p < ,001$) in den Mittelwerten liefern die Items „...stellt die Anatomie übersichtlich dar“ und „...hilft mir das Wissen im Gedächtnis zu speichern“. Die Bewertungen von $\bar{x}_{MM} = 3,36$ im Vergleich zu $\bar{x}_{AA} = 2,99$ des Items „...stellt die Anatomie übersichtlich dar“ suggerieren, dass die Nutzer die sukzessive Darstellung, wie sie im AR-System eingesetzt wird, als übersichtlicher empfinden. Dennoch erhält der Magic Mirror mit 4,1% häufiger die geringste Zustimmung („Trifft nicht zu“) als der Anatomieatlas mit 1,3% (Tabelle 10).

Die Bewertung des letzten Items der Kategorie *Qualität des Lernens* „...hilft Wissen im Gedächtnis zu speichern“ fällt in beiden Experimentgruppen mittelmäßig aus. Zwar wird

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

der Magic Mirror mit $\bar{x}_{MM} = 2,92$ signifikant besser bewertet als der Anatomieatlas mit $\bar{x}_{AA} = 2,29$, dieses Ergebnis impliziert aber, dass es den Probanden schwer fiel sich die dargestellten Inhalte zu merken. Dementsprechend sind die Mittelwerte beider Experimentgruppen die zweit schlechtesten aller 13 ermittelten durchschnittlichen Bewertungen.

Item „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas fördert aktives Lernen“

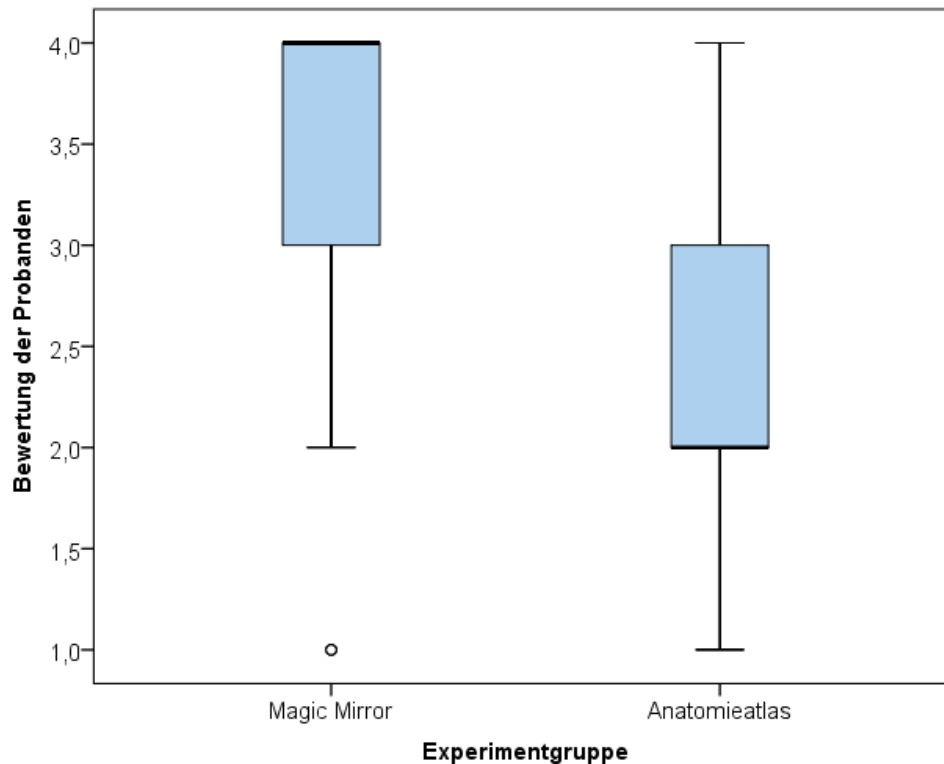


Abbildung 32: Box-Plots der Bewertung des Items „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas fördert aktives Lernen“: Bessere Bewertung des Magic Mirrors.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Kategorie <i>Dimensionales Verständnis</i>	Mittelwerte je Experimentgruppe		SD je Experiment- gruppe		p-Wert
	MM	AA	MM	AA	
hilft die Anatomie des Armes zu erlernen	3,34	3,22	0,63	0,62	,221
fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes	3,59	2,79	0,62	0,83	,001
hilft die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen	3,53	2,70	0,56	0,83	,001
visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln	3,67	2,36	0,47	0,97	,001
<i>(Von 1 = „Trifft nicht zu“ bis 4 = „Trifft voll zu“)</i>					

Tabelle 14: Mittelwerte je Item der Kategorie *Dimensionales Verständnis*.

Die Kategorie *Dimensionales Verständnis* setzt sich aus 4 Items zusammen. Die Bewertung des ersten Items dieser Kategorie „...hilft die Anatomie des Armes zu erlernen“ liefert in beiden Experimentgruppen ähnliche Mittelwerte von $\bar{x}_{MM} = 3,34$ und $\bar{x}_{AA} = 3,22$, so dass der Unterschied nicht signifikant ist. Beide Lernmittel werden als ähnlich hilfreich für das Erlernen der Anatomie des Armes empfunden.

Im Gegensatz dazu liefert die Bewertung des Items „...fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes“ einen hoch signifikanten Unterschied ($p = ,001$). Der Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 3,59$ entspricht der zweitbesten Bewertung des Magic Mirrors von allen 13 Items. Dagegen schneidet der Anatomieatlas mit $\bar{x}_{AA} = 2,79$ wesentlich schlechter ab.

Die Mittelwerte der Bewertung des Items „...hilft die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen“ zeigen ein ähnliches Ergebnis. Diese Aussage erhält für das Lernmittel Magic Mirror mit $\bar{x}_{MM} = 3,53$ signifikant mehr und gleichzeitig eine hohe Zustimmung im Gegensatz zum Anatomieatlas mit $\bar{x}_{AA} = 2,70$ ($p < ,001$). Dabei stimmen 35% der Nutzer des Anatomieatlas dieser Aussage nicht zu, während nur 3% der Nutzer des AR-Systems keine Zustimmung erteilen.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Die Aussage „...visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“ ist das Item, welches von den Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror mit einem Mittelwert von $\bar{x}_{MM} = 3,67$ die höchste Zustimmung erhält und somit am besten bewertet wurde. Dementsprechend stimmen alle Probanden der Fallgruppe dieser Aussage eher zu oder voll zu. Der Verteilung der prozentualen Häufigkeiten entsprechend, ist anhand der Box-Plots die ausschließliche Bewertung mit 3 oder 4 Punkten zu erkennen, während die Spannweite der Bewertung des Anatomieatlas von 1 Punkt bis 4 Punkten reicht. Die Bewertung des Anatomieatlas fällt insgesamt mit $\bar{x}_{AA} = 2,36$ vergleichsweise schlecht aus. Zudem liegen 50% der beobachteten Bewertungen im Vergleich zum Magic Mirror um jeweils einen Punkt niedriger bei $\tilde{x}_{0,25 AA} = 2$ und $\tilde{x}_{0,75 AA} = 3$ Punkten. Der Unterschied in den Bewertungen ist hoch signifikant ($p=,001$).

Item „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“

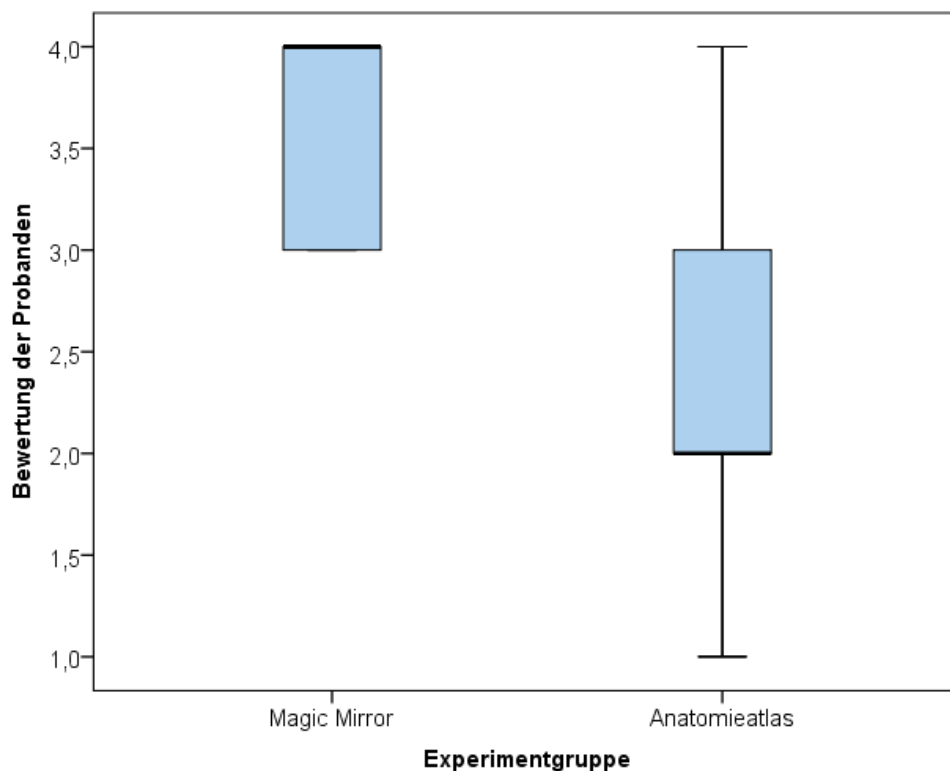


Abbildung 33: Box-Plots der Bewertung des Items „Der Magic Mirror / der Anatomieatlas visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“: Bessere Bewertung des Magic Mirrors.

4.3.3 GEGENÜBERSTELLUNG DER PERFORMANZ DER EXPERIMENTGRUPPEN MAGIC MIRROR UND ANATOMIEATLAS

Die statistische Auswertung der erzielten Punkte in den gestellten MC-Aufgaben beginnt mit der Analyse der Gesamtperformanz. Das Histogramm (Abbildung 34) zeigt die absoluten Häufigkeiten für alle richtig genannten Antworten sowie das arithmetische Mittel je Experimentgruppe. Die Signifikanzmessung erfolgte mit dem Mann-Whitney-Test für ordinal verteilte Stichproben.

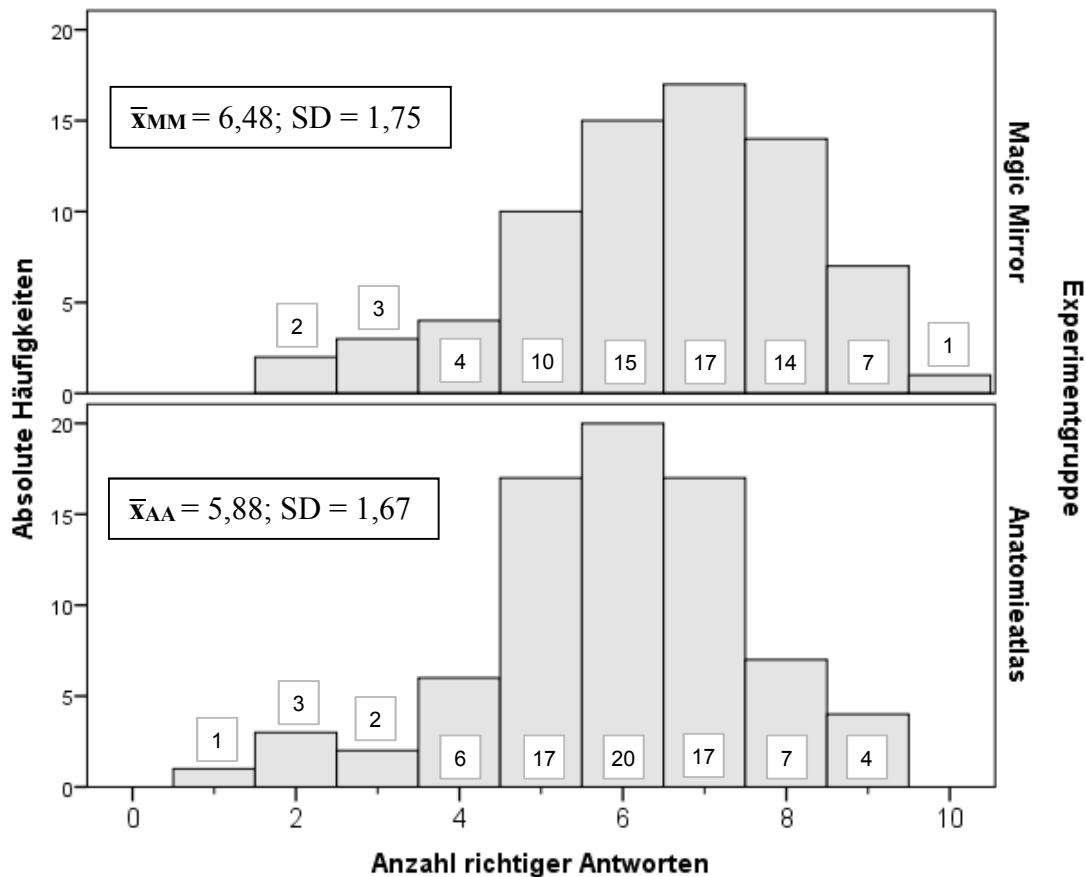


Abbildung 34: Histogramme der Gesamtperformanz „Quiz“ je Experimentgruppe: Absolute Häufigkeiten der erzielten richtigen Antworten.

Mann-Whitney-Test

Experimentgruppe		Ränge		
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
MC richtige Antworten	Magic Mirror	73	83,55	6099,50
	Anatomieatlas	77	67,86	5225,50
	Gesamt	150		

Statistik für Test^a

	Richtige MC Antworten
Mann-Whitney-U	2222,500
Wilcoxon-W	5225,500
Z	-2,249
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,025

a. Gruppenvariable: Experimentgruppe

Tabelle 15: Mann-Whitney-Test der Gesamtperformanz „Quiz“: Signifikanter Unterschied in den Häufigkeiten richtiger MC-Antworten je Experimentgruppe.

Anhand der Histogramme (Abbildung 34) ist zu erkennen, dass die absoluten Häufigkeiten der Kategorien 0 bis 4 richtige Antworten in beiden Experimentgruppen ähnlich verteilt sind. Bei der Betrachtung der absoluten Häufigkeiten der Kategorien 5 bis 10 richtiger Antworten fällt dagegen die unterschiedliche Verteilung in der Experimentgruppe Magic Mirror im Vergleich zur Experimentgruppe Anatomieatlas auf. Hier erzielten insbesondere mehr Probanden des Magic Mirrors 8 oder mehr richtige Antworten. Dementsprechend beträgt der Mittelwert der richtigen Antworten $\bar{x}_{MM} = 6,48$ im Vergleich zu $\bar{x}_{AA} = 5,88$. Die Signifikanzmessung des Gesamtergebnisses mittels Mann-Whitney-Test zeigt Tabelle 15. Das AR-System erzielte einen mittleren Rang von $R_{MM} = 83,55$ im Vergleich zu einem mittleren Rang von $R_{AA} = 67,86$ des Anatomieatlas. Der p-Wert von $p < ,025$ beweist, dass im durchgeführten Experiment das unterschiedliche Abschneiden im Wissensteil signifikant ist.

Tabelle 16 stellt die relativen Häufigkeiten der richtig und falsch genannten Antworten nach Experimentgruppe je Frage dar. Die Spalte „Frage“ gibt aus Gründen der Übersichtlichkeit die jeweilige gestellte Aufgabe stichpunktartig wieder. Mögliche Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung der Antworten wurden durch den Pearson Chi-Quadrat-Test überprüft.

Relative Häufigkeiten richtiger und falscher Antworten je MC-Frage (in Prozent %)

Frage	Magic Mirror		Anatomieatlas		Chi-Quadrat	p-Wert
	Richtig	Falsch	Richtig	Falsch	<i>r</i>	
1) Identifikation des Humerus	93	7	96	4	0,647	,421
2) Strecker des Ellbogengelenks	57	43	36	64	6,748	,009
3) Größte Kraftentfaltung in Beugstellung	77	23	61	39	4,279	,039
4) Identifikation M. coracobrachialis	72	28	79	21	0,900	,343
5) Identifikation des wichtigsten Muskels für Streckung im Ellbogen	90	10	80	20	2,930	,087
6) Ansatz welchen Muskels an Ulna	16	84	16	84	0,005	,942
7) Bewegungskombinationen Ellbogengelenk	73	27	79	21	0,577	,448
8) Ansatz / Ursprung M. pronator quadratus	82	18	68	32	3,600	,058
9) Ansatz / Ursprung M. pronator teres	30	70	14	86	5,487	,019
10) Bewegung M. supinator	54	46	55	45	0,002	,897

Tabelle 16: Relative Häufigkeiten richtig und falscher Antworten je MC-Frage.

Anhand Tabelle 16 ist zu erkennen, dass bei insgesamt drei MC-Aufgaben ein signifikanter Unterschied existiert. Bei diesen drei Aufgaben beantworten ausschließlich Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror mehr Fragen richtig.

Zu den MC-Aufgaben, die einen signifikanten Unterschied aufweisen zählt Frage 2, in der die Probanden von fünf angegebenen Muskeln denjenigen Muskel identifizieren sollen, der eine Streckfunktion besitzt. Hier haben 57% (n=42) der Nutzer des AR-Systems den richtigen Muskel identifiziert, während 36% (n=28) der Probanden des Anatomieatlas die korrekte Antwort angekreuzt haben ($p < ,009$). Infolgedessen ist bei dieser Frage auffällig, dass mehr als die Hälfte der Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror die Frage richtig beantwortet haben und mehr als die Hälfte der Probanden der Experimentgruppe Anatomieatlas die Frage falsch beantwortet haben.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Die Frage nach dem Muskel, welcher seine größte Kraft in Beugstellung entfaltet, wurde von 77% der Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror richtig beantwortet, im Vergleich zu 61% der Probanden der Experimentgruppe Anatomieatlas. Dieser Unterschied ist mit einem p-Wert von $p < ,039$ signifikant. Von den Fragen mit einem signifikanten Unterschied weist diese Frage den jeweils höchsten Anteil an richtigen Antworten in beiden Experimentgruppen auf.

Frage 9 thematisiert Ursprung und Ansatz des M. pronator teres. Diese Aufgabe erzielt das schlechteste Ergebnis aller mit einem signifikanten Unterschied getesteten Fragen. In beiden Experimentgruppen haben über 70% der Probanden diese Frage falsch beantwortet. Beim Vergleich der prozentualen Anteile der richtig gewählten Antwortoption je Experimentgruppe wird deutlich, dass mit 30% mehr als doppelt so viele Nutzer des AR-Systems die richtige Antwortoption ausgewählt haben, als in der Experimentgruppe Anatomieatlas. Hier konnten 14% der Probanden die Aufgabe lösen ($p < ,019$).

Von den sechs als nicht signifikant getesteten MC-Aufgaben, erzielt die Experimentgruppe Anatomieatlas in insgesamt vier Fragen mehr richtige Antworten als die Experimentgruppe Magic Mirror. Dazu zählen Frage 1, 4, 7 und 10.

Die größte Anzahl richtiger Antworten aller als nicht signifikant getesteten Fragen erzielt Frage 1, in der die Probanden anhand eines dargestellten knöchernen Armes den Knochen Humerus identifizieren sollen. Annähernd 96% ($n=74$) der Probanden des Anatomieatlas konnten diese Aufgabe richtig lösen sowie annähernd 93% ($n=68$) der Probanden des AR-Systems. Das schlechteste Ergebnis aller 10 Fragen liefert Frage 6, in der die Probanden den Muskel identifizieren müssen, der an der in der Aufgabe dargestellten markierten Stelle des Knochens Ulna ansetzt. In beiden Experimentgruppen haben 84% der Probanden die Frage falsch beantwortet.

In den folgenden Tabelle 17-19 wird der konzeptionelle Zusammenhang zwischen der Performanz im Wissenstest und der Bewertung beider Lernmittel je Item anhand des Spearman Rangkorrelationskoeffizienten (ρ) dargestellt.

Spearman's Rangkorrelationskoeffizienten ρ je Item

Kategorie <i>Motivation</i>	Magic Mirror		Anatomieatlas	
	ρ	p-Wert	ρ	p-Wert
steigert meine Motivation	-0,225	,056	0,324	,004
bereitet Spaß beim Lernen	-0,178	,132	0,338	,003

Tabelle 17: Rangkorrelationskoeffizienten von Items der Kategorie *Motivation*.

Anhand der p-Werte der Effektgrößen von Items der Kategorie *Motivation* (Tabelle 17) ist zu erkennen, dass nur die Experimentgruppe Anatomieatlas signifikante Zusammenhänge aufweist. Für diese Experimentgruppe kann folgende Aussage getroffen werden: Je mehr die Nutzung des Lernmittels Anatomieatlas die Motivation steigert und Spaß beim Lernen bereitet, desto besser schneiden die Probanden im Wissenstest ab. Die Rangkorrelationskoeffizienten weisen mit $\rho = 0,324$ für das Item „...steigert meine Motivation, Anatomie zu lernen“ bzw. $\rho = 0,338$ für das Item „...bereitet mir Spaß bei Lernen“ einen schwachen bis moderat positiven Zusammenhang auf.

Kategorie <i>Qualität des Lernens</i>	Magic Mirror		Anatomieatlas	
	ρ	p-Wert	ρ	p-Wert
fördert meine Aufmerksamkeit	-0,271	,020	0,256	,025
liefert zu viele Informationen	-0,196	,096	-0,247	,030
fördert aktives Lernen	0,011	,927	0,026	,821
hilft eigenständig zu lernen	-0,173	,143	0,313	,006
liefert wichtiges Wissen	-0,210	,074	0,415	,001
stellt Anatomie übersichtlich dar	-0,096	,417	0,327	,004
hilft Wissen im Gedächtnis zu speichern	0,036	,726	0,355	,002

Tabelle 18: Rangkorrelationskoeffizienten von Items der Kategorie *Qualität des Lernens*.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Im Rahmen der Kategorie *Qualität des Lernens* (Tabelle 18) ermittelt der Rangkorrelationskoeffizient für das Item „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ ein für die Experimentgruppe Magic Mirror signifikantes Ergebnis, wobei dieser einen negativen Zusammenhang abbildet: Je mehr die Aufmerksamkeit der Probanden durch die Nutzung des AR-Systems gefördert wird, desto schlechter haben diese im Wissenstest abgeschnitten. Dieser Zusammenhang ist mit $\rho = -0,271$ schwach negativ.

Einen ähnlich schwachen, aber positiven signifikanten Zusammenhang mit $\rho = 0,256$ weist die Experimentgruppe Anatomieatlas für das gleiche Item auf. Je mehr die Nutzung des Anatomieatlas die Aufmerksamkeit der Probanden fördert, desto besser haben diese im Wissenstest abgeschnitten.

Darüber hinaus hat auch die Menge an zu vermittelnden Informationen messbare Auswirkungen auf die Performanz der Probanden. Je stärker ein Proband der Aussage zugestimmt hat, dass der Anatomieatlas zu viele Informationen liefert, desto schlechter war sein Abschneiden im Wissenstest ($\rho = -0,247$).

Anhand Tabelle 18 lassen sich weitere signifikante Zusammenhänge ableiten: Je mehr das Lernmittel Anatomieatlas den Probanden hilft eigenständig zu lernen und ihnen wichtiges Wissen liefert, desto besser schneiden diese im Wissenstest ab. Die Effektgrößen betragen für das Item „...hilft mir eigenständig zu lernen“ $\rho = 0,313$ sowie für das Item „...liefert mir wichtiges Wissen“ $\rho = 0,415$ und weisen einen moderaten positiven signifikanten Zusammenhang auf.

Auch das Ausmaß der Zustimmung hinsichtlich einer übersichtlichen Darstellung anatomischen Wissens ($\rho = 0,327$) sowie der Hilfe Wissen im Gedächtnis zu speichern ($\rho = 0,355$), sind moderat positiv mit dem Abschneiden im Wissenstest korreliert.

DIE EXPERIMENTELLE STUDIE

Kategorie <i>Dimensionales Verständnis</i>	Magic Mirror		Anatomicatlas	
	ρ	p-Wert	ρ	p-Wert
hilft die Anatomie des Armes zu erlernen	-0,206	,081	0,215	,061
fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes	-0,045	,702	0,183	,111
hilft die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen	-0,126	,288	0,108	,352
visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln	-0,248	,035	0,137	,235

Tabelle 19: Rangkorrelationskoeffizienten von Items der Kategorie *Dimensionales Verständnis*.

In der Kategorie *Dimensionales Verständnis* (Tabelle 19) zeigt ausschließlich die Experimentgruppe Magic Mirror einen signifikanten Zusammenhang. Je mehr die Probanden der Aussage zustimmten, dass der Magic Mirror die Funktion der einzelnen Muskeln visualisiert, desto weniger richtige Antworten haben diese im Wissenstest erzielt. Mit einem Rangkorrelationskoeffizienten von $\rho = -0,248$ ist der Zusammenhang schwach negativ.

5. DISKUSSION

Das AR-System Magic Mirror wurde im Rahmen dieser Arbeit erstmals Probanden zur Evaluation bereitgestellt und einem Vergleich mit einem bereits etablierten Lernmittel unterzogen. Die Ergebnisse der Pilotstudie und des prospektiv randomisierten Experiments liefern Hinweise, dass AR-Systeme eine wertvolle Ergänzung zu bereits etablierten Lernmitteln in der Medizindidaktik darstellen können. Die Vorteile, welche die computergestützte Vermittlung von medizinischem Fachwissen beinhaltet, können durch herkömmliche Lernmittel nicht angeboten werden. Doch trotz der statistisch signifikanten Ergebnisse die zeigen, dass das AR-System Magic Mirror das Erlernen der menschlichen Anatomie verbessert, ist eine Integration von neuen Lernmitteln in den Lernalltag eines Schülers oder Studenten schwierig. Die Integration wird u.a. durch die Anschaffungskosten erschwert, die besonders durch die benötigte Hardware höher sind, als bei herkömmlichen Lernmitteln wie bei einem Anatomieatlas. Hier stellt sich die Frage nach einer Kosten-Nutzen-Analyse. Die in dieser Arbeit durchgeführten Studien liefern für die Evaluation des Faktors „Nutzen“ eindeutige Antworten.

Im weiteren Verlauf werden die durchgeführten Studien kritisch betrachtet, in dem auf die jeweiligen Stärken und Schwächen detailliert eingegangen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Anschließend soll eine Einordnung des Magic Mirrors in die bestehenden Lernmittel der Medizindidaktik vorgenommen werden.

5.1 DISKUSSION DER PILOTSTUDIE

Die Pilotstudie wurde aus den folgenden Gründen durchgeführt. Zum einen existierte das AR-System Magic Mirror bislang nur als Prototyp, der von Probanden der Zielgruppe, das heißt Schülern und Studenten in medizinischen Ausbildungen, noch keiner Evaluation unterzogen wurde. Aus diesem Grund war zu überprüfen, ob ein AR-System wie der Magic Mirror als potenzielles Lernmittel generell angenommen wird, da ein spezifischer Nachweis für dieses Lernmittel bislang fehlt.¹⁰⁵ Auch die Literatur liefert in diesem Zusammenhang keine ausreichenden Hinweise. Es existieren hauptsächlich Ergebnisse, in denen computer-basierte Lernmittel für die Vermittlung von anatomischem Wissens evaluiert werden.

¹⁰⁵ Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 308.

DISKUSSION

Um die Begriffe der computer-basierten und der auf AR-basierten Lernmittel abzugrenzen, soll erneut auf die von Carmigniani / Furht (2011) aufgestellte Definition von AR hingewiesen werden. Sie definieren AR als „real time direct or indirect view of physical real-world environment that has been enhanced / *augmented* by adding virtual computer-generated information to it“¹⁰⁶. AR-Systeme sind demnach Lernmittel, die zwar mit Hilfe von Computern betrieben werden, jedoch die reale Welt abbilden und durch virtuelle Informationen ergänzen. Computer-basierte Lernmittel bilden dagegen entweder die Realität oder die Virtualität ab, beispielsweise mittels Videos oder fachspezifischer Software.¹⁰⁷ Vermischte Realität existiert folglich nicht. Die Begriffe AR-basierte und computer-basierte Lernmittel können somit nicht gleichgesetzt werden, weisen jedoch Parallelen auf. Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden ein kurzer Einblick in Studien gegeben werden, die für die Einordnung der Ergebnisse der durchgeführten Pilotstudie hilfreich sind.

Studienergebnisse von u.a. Pereira et al. (2007) weisen darauf hin, dass die meisten Anatomiestudenten geschriebene Inhalte oder Sektionen anstelle computervermittelter Informationen über die menschliche Anatomie bevorzugen.¹⁰⁸ Eine mögliche Erklärung für diese Präferenz liefern Fazal-Ur-Rehman et al. (2012), die zeigen konnten, dass vielen Probanden ein routinierter Umgang mit der jeweiligen Software fehlt.¹⁰⁹ Es ist allerdings zu beachten, dass ein routinierter Umgang mit einem computerbasiertem Lernmittel entsteht, wenn ein Schüler oder ein Student häufig mit diesem arbeitet. Dabei ist entscheidend, dass eine Möglichkeit zur häufigen Nutzung des Lernmittels existiert, wie das Vorhandensein einer ausreichenden Anzahl und einer leistungsfähigen technischen Infrastruktur. Die Ergebnisse einer anderen Studie demonstrierten, dass Vorlesungen von Studenten als die effektivste Methode empfunden werden, um Anatomie zu lernen.¹¹⁰ Die vorgestellten Studienergebnisse verdeutlichen, dass sich traditionelle Lernmittel bei Studenten bewährt haben.

In den letzten Jahren konnten jedoch durch technische Weiterentwicklungen neue computer-basierte Lernmittel kreiert werden, beispielsweise sogenannte Applikationen, die auf Smart Phones betrieben werden.¹¹¹ Diese beinhalten u.a. neue Darstellungsformen und die Möglichkeit, jederzeit und überall zu Lernen. Das Ergebnis der oben genannten

¹⁰⁶ Carmigniani / Furht (2011), S. 3.

¹⁰⁷ Vgl. Carvalho da Silva et al. (2013), S. 457f.

¹⁰⁸ Vgl. Pereira et al. (2007), S. 193; Fazal-Ur-Rehman et al. (2012), S. 216.

¹⁰⁹ Vgl. Fazal-Ur-Rehman et al. (2012), S. 216.

¹¹⁰ Vgl. Lewis (2003), S. 205.

¹¹¹ Vgl. Yücel et al. (2014); Looi (2009).

DISKUSSION

Studien unterliegt folglich einer Veränderung der verfügbaren Lernmittel, so dass eine Reevaluation hinsichtlich der Effektivität von Lernmitteln durchgeführt werden sollte.

Es ist zu konstatieren, dass die hier vorgestellte Pilotstudie aufgrund der fehlenden Studien über die Akzeptanz von AR-basierten Lernmitteln für das Erlernen der menschlichen Anatomie durchgeführt wurde. Darüber hinaus können die bislang veröffentlichten Erkenntnisse aus der Literatur nicht vollständig auf das AR-System Magic Mirror übertragen werden.

Die Pilotstudie verfolgte gleichzeitig das Ziel, weitere anatomische Themenbereiche für die Darstellung mittels des Magic Mirrors zu eruieren, welche für die Zielgruppe Schüler und Studenten in medizinischen Ausbildungen relevant sind. Viele der mit dem Prototypen dargestellten Lektionen, wie etwa der Organ-Explosions-Effekt, konnten für einen Vergleich mit dem Lernmittel Anatomieatlas nicht herangezogen werden, da der Komplexitätsgrad deutlich divergierte. Einige dieser Lektionen liefern zwar grundlegende Informationen über den menschlichen Körper, nicht jedoch detaillierte Inhalte, die für Medizinstudenten und Schüler in medizinischen Ausbildungen obligat sind. Auch wird der Prototyp des Magic Mirrors nicht dem hohen Potenzial gerecht, welche die Technologie der AR bietet.¹¹²

Im weiteren Verlauf dieser Diskussion sollen ausgewählte Aspekte der Datenerhebung diskutiert werden. Die Durchführung der Pilotstudie im Rahmen einer Vorlesung für Makroskopische Anatomie für Studenten des zweiten vorklinischen Fachsemesters bot folgende Vor- und Nachteile. Für die Evaluation und die Ableitung von Personalisierungspotenzialen des Magic Mirror Prototyps war es erforderlich, die Befragung mit Probanden der potenziellen Zielgruppe durchzuführen. Gleichzeitig musste eine Stichprobengröße erreicht werden, die für einen kleinen bis moderaten Effekt sensitiv ist. Diese Voraussetzungen bot die gewählte Lehrveranstaltung. Ein weiterer Vorteil der gewählten Lehrveranstaltung bestand darin, dass sich die Probanden untereinander über das AR-System austauschen und somit gegebenenfalls neue Ideen hinsichtlich weiterer Darstellungen mittels des Magic Mirrors generieren konnten.

Gleichzeitig boten diese Rahmenbedingungen jedem Probanden allerdings nur eine begrenzte Zeit, sich mit dem Magic Mirror auseinander zu setzen und eine ideale ruhige Lernumgebung konnte nur bedingt gewährleistet werden. Auch konnte nicht beurteilt werden, mit welchem Aufmerksamkeitsgrad die Teilnehmer die Lerneinheit des Magic

¹¹² Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 306.

DISKUSSION

Mirrors absolvierten und den Fragebogen ausfüllten. Der Fragebogen wurde an diese Lernbedingungen angepasst, in dem die Anzahl der gestellten Fragen auf 5 begrenzt wurde. Davon wurden die ersten 4 Fragen als geschlossene Fragen mit den Antwortoptionen „Ja“ und „Nein“ gestellt. Die Verwendung von ausschließlich 2 Antwortoptionen diente ebenfalls der Reduktion von nicht wegweisenden Informationen. Ausschließlich Frage 5 wurde offen gestellt.

Die in der Pilotstudie aufgestellte Null- und Alternativhypothese lauteten:

H0: Die Nutzung von AR-Systemen in Form des Magic Mirror Prototypen für das Erlernen von anatomischem Wissen wird abgelehnt.

H1: Der Nutzung von AR-Systemen in Form des Magic Mirror Prototypen für das Erlernen von anatomischem Wissen wird zugestimmt.

Für die Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurden die statistischen Ergebnisse der Fragen 1, 2 und 4 herangezogen. Dabei zeigte sich, dass die Mehrheit der Probanden das AR-System Magic Mirror als eine Hilfe für das Erlernen der menschlichen Anatomie empfindet und diesen gerne ausprobieren möchte. Die Alternativhypothese H1 wird folglich beibehalten.

Allerdings ist zu beachten, dass die Anzahl derer, die das AR-System ebenfalls gerne ausprobieren möchten (Frage 2) geringer ist, als der Anteil der Probanden, die den Magic Mirror als hilfreich empfinden (Frage 1). Dieser Trend basiert möglicherweise auf einem erhöhten technischen Aufwand im Vergleich zu anderen Lernmitteln, da für die Benutzung die im Kapitel 2.1 beschriebene Hard- und Software vorhanden sein muss.

Das Ergebnis der Pilotstudie deckt sich mit Erkenntnissen aus der Literatur. Viele Schüler und Studenten sehen einen Bedarf an computergestützten Medien für das Erlernen menschlicher Anatomie und sind gleichzeitig der Auffassung davon zu profitieren.¹¹³ Kerfoot (2005) konnte zeigen, dass Probanden verschiedenen Multimedia-Ressourcen, wie z.B. einem Internetzugang, einen positiven Einfluss auf Lehrveranstaltungen zusprechen.¹¹⁴ Darüber hinaus lassen die Ergebnisse von Levine (1999) darauf schließen, dass die positive Einstellung von Probanden gegenüber computer-basierten Lernmitteln für

¹¹³ Vgl. Fazal-Ur-Rehman et al. (2012), S. 216f.

¹¹⁴ Vgl. Kerfoot (2005), S. 384.

DISKUSSION

das Erlernen menschlicher Anatomie, die Umstrukturierung des medizinischen Curriculums vereinfacht.¹¹⁵

Frage 5 diente der Generierung von neuen Ideen für die Weiterentwicklung und die Personalisierung des Magic Mirrors. Die Vorschläge der teilnehmenden Probanden konnten 12 Kategorien zugeordnet werden, von denen 5 in dem weiterentwickelten AR-System realisiert wurden. Dabei ist anzumerken, dass die beiden am häufigsten genannten Kategorien „Gefäße“ und „Organe und deren Lagebeziehungen“ für die in dieser Arbeit vorgestellte Weiterentwicklung des Magic Mirrors nicht berücksichtigt wurden. Dem lag die Überlegung zu Grunde, dass Gefäße und Organe eher starre Strukturen darstellen, die sich nicht oder nur geringfügig bewegen. Bei der Darstellung dieser Strukturen wäre das Potenzial des weiterentwickelten AR-Systems Magic Mirror nicht ausgeschöpft gewesen. Dem entsprechend wurden ebenfalls die Vorschläge „Kopf / Gehirn“ sowie „Histologische Bilder“ nicht in der Darstellung berücksichtigt.

Ein weiterer genannter Vorschlag war die Darstellung von pathologischen Abbildungen. Hier ist anzumerken, dass die ausgewählten Probanden der Zielgruppe am Anfang ihrer medizinischen Ausbildung stehen und noch kein ausreichendes Wissen über die Strukturen eines Menschen besitzen. Um jedoch die Pathologie einer Struktur begreifen zu können, muss ausreichend Fachwissen über den gesunden Zustand der jeweiligen Struktur vorhanden sein. Bei einer Darbietung von pathologischen Strukturen war somit davon auszugehen, dass die Probanden diese nicht richtig hätten einordnen können. Auch die ebenfalls genannten wünschenswerten Darstellungen eines „kompletten Menschen in 3D“ und der „Freezing Funktion“ konnten aus technischen Gründen nicht realisiert werden. Eine technische Weiterentwicklung und eine Erweiterung des Darstellungsspektrums des Magic Mirror zur Erstellung einer adäquaten Lerneinheit für Studenten in höheren Semestern wird aktuell durchgeführt.

Ein Kritikpunkt der Ergebnisse von Frage 5 ist die geringe absolute Anzahl der jeweiligen Nennungen. Aus diesem Grund basierte die Auswahl der zu realisierenden Vorschläge nicht auf der Anzahl der Nennungen, sondern auf der Relevanz für Studienzwecke und der technischen Umsetzbarkeit. Für weitere Studien wäre eine Vorabauswahl von möglichen weiteren Darstellungen sinnvoll, bei denen die Probanden durch Ankreuzen ihre Zustimmung äußern können. Auch wäre eine größere Stichprobe anzustreben, die neben Medizinstudenten, Schüler der Krankenpflege, Physiotherapie oder anderen medizinischen Ausbildungen beinhaltet.

¹¹⁵ Vgl. Levine (1999), S. 196.

DISKUSSION

Zusammenfassend wurden folgende Handlungsindikationen aus der Pilotstudie abgeleitet. Basierend auf den Ergebnissen, die die hohe Bereitschaft zur Nutzung eines auf AR basierten Lernmittels verdeutlichen, erfolgte die Weiterentwicklung des AR-Systems Magic Mirror für die Vermittlung von anatomischem Wissen. Dabei fanden ausgewählte, von den Probanden vorgeschlagene Inhalte Beachtung. Außerdem wurde bei der Auswahl der Räumlichkeiten für die Durchführung der experimentellen Studie darauf geachtet, dass diese im Vergleich zur Pilotstudie bessere Rahmenbedingungen für eine ideale Lernumgebung bieten.

5.2 DISKUSSION DER EXPERIMENTELLEN STUDIE

Das Ziel der experimentellen Studie bestand darin, das weiterentwickelte auf AR-basierte Lernmittel Magic Mirror mit dem traditionellen Lernmittel Anatomieatlas hinsichtlich Bewertung und Effektivität der Wissensvermittlung zu vergleichen. Es zeigte sich, dass die Probanden das AR-System signifikant besser bewerteten und signifikant mehr Aufgaben des Wissenstest richtig lösten, als die Probanden der Experimentgruppe Anatomieatlas.

Die Planung und Umsetzung der Studie unterlagen folgenden Überlegungen. Eine Aufgabe war, eine Lerneinheit zu kreieren, die zwar mittels unterschiedlicher Lernmittel dargestellt wird, aber den gleichen Informationsgehalt aufweist und innerhalb des gewählten Zeitrahmens gut zu absolvieren ist. Im Gegensatz zum AR-System, welches durch Programmieren modifizierbar ist, beinhaltete der relevante Seitenauszug des Anatomieatlas zu viele Informationen. Dieser Seitenauszug wurde mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages so angepasst, dass anhand von Bildern und Texten ein vergleichbarer Informationsgehalt je Lernmittel gelehrt werden konnte.

Bei der Konzeption des Fragebogens bestand eine Herausforderung darin, geeignete Items für die Bewertung zu kreieren, welche für die Probanden verständlich sind und für beide Lernmittel angewendet werden können. Eine Vielzahl von Fragebögen, die im Rahmen von Experimenten mit computer-basierten oder AR-basierten und traditionellen Lernmitteln verwendet worden sind, wurde den abzufragenden Charakteristika nicht gerecht. Der in der Studie von Fazal-Ur-Rehman et al. (2012) verwendete Fragebogen thematisiert beispielsweise nicht die Fähigkeit des eingesetzten Lernmittels, Bewegungen zu

DISKUSSION

vermitteln, sondern eruiert den Stellenwert eines computer-basierten Lernmittels im Vergleich zu Sektionen.¹¹⁶ In einer Studie über die Verwendung von AR für die Vermittlung der Anatomie des Leistenkanals beinhaltete der eingesetzte Fragebogen überwiegend Items, welche die Wichtigkeit von Anatomie für den jeweiligen Probanden testeten.¹¹⁷ Andere Fragebögen thematisierten ausschließlich die Benutzerfreundlichkeit des eingesetzten Lernmittels oder verwendeten andere Methoden, wie Interviews, um die eingesetzten Lernmittel zu evaluieren.¹¹⁸ Eine Beantwortung der in dieser Arbeit aufgestellten Hypothesen wäre bei der Verwendung der oben vorgestellten Methoden nicht zielführend gewesen. Der in der Studie von Ferrer-Torregrosa et al. (2015) verwendete Fragebogen erfüllte dagegen die oben genannten Kriterien. Auch wies die Studie eine hohe Validität, hinsichtlich des Fachbereichs Anatomie sowie der Charakteristika der Zielgruppe, die ebenfalls aus Medizinstudenten im Alter zwischen 18-42 bestand, auf.¹¹⁹

Die Metastudie von Bacca et al. (2014) bot weitere Hinweise für die Auswahl der interessierenden Items.¹²⁰ Folglich lieferten diese Studien geeignete Modelle zur Erstellung des aktuellen Fragebogens.¹²¹

Auch die Konzeption der MC-Aufgaben des Wissenstests unterlag den Kriterien der Verständlichkeit. Darüber hinaus sollten die Aufgaben einen für die ausgewählten Probanden angemessenen Schwierigkeitsgrad aufweisen. Es konnte nicht auf MC-Fragen für Medizinstudenten im präklinischen Studienabschnitt des Instituts für Medizinische und Pharmazeutische Prüfungsfragen (IMPP) zurückgegriffen werden, da sowohl die Aufgabenstellung als auch die Antwortoptionen ausschließlich die in den Lerneinheiten behandelten Strukturen enthalten sollten. Dieses Kriterium erfüllten die vom IMPP erstellten MC-Fragen nicht. Somit erfolgte die Erstellung von 10 MC Fragen, die durch Vorabtests auf Verständnis und einen angemessenen Schwierigkeitsgrad überprüft wurden.

Nachdem grundlegende Aspekte der Planung und Umsetzung der experimentellen Studie vorgestellt wurden, sollen im nächsten Abschnitt die Ergebnisse der statistischen Analyse diskutiert werden.

Für die experimentelle Studie wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

¹¹⁶ Vgl. Fazal-Ur-Rehman et al. (2012), S. 216.

¹¹⁷ Vgl. Sakellariou (2009), S. 612.

¹¹⁸ Vgl. u.a. Thomas et al. (2010), S. 11; Chien et al. (2010), S. 4; Ponce et al. (2014), S. 4; Allen et al. (2008), S. 42.

¹¹⁹ Vgl. Ferrer-Torregrosa et al. (2015), S. 120f.

¹²⁰ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 142.

¹²¹ Siehe Kapitel 4.1.5 Konzeption des Fragebogens.

DISKUSSION

H0: Die Nutzung von AR-Systemen in Form des personalisierten Magic Mirrors im Vergleich zum Lernmittel Anatomieatlas liefert gleichwertige Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung sowie hinsichtlich des Ausmaßes des erlangten anatomischen Wissens.

H1: Die Nutzung von AR-Systemen in Form des personalisierten Magic Mirrors im Vergleich zum Lernmittel Anatomieatlas liefert bessere Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung sowie hinsichtlich des Ausmaßes des erlangten anatomischen Wissens.

In der statistischen Analyse des Fragebogenabschnitts Bewertung konnte eindeutig belegt werden, dass das AR-System Magic Mirror in den drei Kategorien *Motivation*, *Qualität des Lernens* und *Dimensionales Verständnis* signifikant besser bewertet wird, als das Lernmittel Anatomieatlas. Die Alternativhypothese H1 wird hinsichtlich des Aspekts der Bewertung beibehalten.

Die signifikant bessere Bewertung des Magic Mirrors in der Kategorie *Motivation* (Abbildung 28) zeigt, dass das AR-System ein neues, attraktives Lernmittel darstellt, was dem Nutzer Spaß am Lernen bereitet. Lehrbücher wie der Anatomieatlas, sind dagegen bereits durch die schulische Ausbildung bekannt. Eine Interpretation für dieses Ergebnis ist, dass der Nutzer des Anatomieatlas nicht den Anreiz verspürt etwas Neuartiges auszuprobieren. Auch hat er im Gegensatz zum Magic Mirror keine Möglichkeit, die Lerneinheit interaktiv zu gestalten. Dies bedingt eine geringere Motivation und weniger Spaß am Lernen, was den signifikanten Unterschied in der Bewertung der Kategorie Motivation erklären könnte. Folgende Studien liefern Hinweise, dass die Charakteristika Neuartigkeit oder Interaktivität eines Lernmittels das Potenzial besitzen, die Motivation und den Spaß beim Lernen zu erhöhen. In einer Studie von AlNassar et al. (2012) wurde der Effekt eines neuen Lernmittels in Form einer videobasierten intraoperativen Thorakoskopie für das Erlernen der Anatomie des Thorax untersucht. Annähernd alle Studenten stimmten der Aussage zu, dass das neue Lernmittel das Interesse und die Motivation Anatomie zu lernen erhöht.¹²² Auch Hariri et al. (2004) demonstrierten, dass die Motivation bei Probanden, die einen neu eingeführten interaktiven Simulator für das Erlernen der Anatomie der Schulter benutzten höher war, als bei Probanden die mittels Textbuch lernten.¹²³ Und

¹²² Vgl. AlNassar et al. (2012), S. 146.

¹²³ Vgl. Hariri (2004), S. 901.

DISKUSSION

im Vergleich zu den traditionellen Sektionen konnte ein erstmalig zu Verfügung gestelltes, interaktives computer-basiertes Lernmittel die Motivation im Lernprozess erhöhen.¹²⁴ Des Weiteren existieren Studien, die eine Motivationssteigerung von Probanden zeigen konnten, die mit AR-Systemen lernten. Hier demonstrierte Ferrer-Torregrosa et al. (2015), dass die Motivation der Studenten, die mit Hilfe eines auf AR basierten Textbuches über die Anatomie der unteren Extremitäten lernten, signifikant höher war, als in der Kontrollgruppe. Die Kontrollgruppe lernte mit traditionellen Lernmitteln, wie Vorlesungen.¹²⁵ Auch in anderen Bereichen der Wissensvermittlung konnten AR-Systeme die Motivation von Probanden erhöhen.¹²⁶

In Anbetracht der vorgestellten Studien stellt sich die Frage, warum bei den Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror eine höhere Motivation zu beobachten war, als bei den Probanden der Experimentgruppe Anatomieatlas. Gründe dafür sind offenbar die Neuartigkeit des Lernmittels, die Interaktivität oder die verwendete AR-Technik. Für die weitere Forschung wären Studien sinnvoll, welche die Faktoren einer Motivationssteigerung eruieren. Hier könnte beispielsweise untersucht werden, ob eine höhere Motivation und mehr Spaß bei der Nutzung von AR-basierten Lernmitteln für die anatomische Wissensvermittlung auch bei häufiger Nutzung über eine längere Zeitspanne konstant bleiben.

In der Kategorie *Qualität des Lernens* wird der Magic Mirror ebenfalls signifikant besser bewertet, als der Anatomieatlas (Abbildung 29). Die signifikant bessere Bewertung des Items „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ könnte ähnlich wie die Items der Kategorie *Motivation* ebenfalls darauf beruhen, dass mit dem Magic Mirror eine neuartige Technik als Lernmittel zum Einsatz kommt. Um eine solche neue Technik anzuwenden, erfordert es eine erhöhte Aufmerksamkeit. Insbesondere in den letzten Jahren war das Konzept der Aufmerksamkeitssteigerung durch AR-basierte Lernmittel ein Thema in der Forschung über AR. Studien konnten zeigen, dass AR-Systeme die Aufmerksamkeit im Lernprozess erhöhen.¹²⁷ Die Übersichtsarbeit von Bacca et al. (2014) liefert in diesem Zusammenhang ein Resümee über die Effekte von AR auf die Aufmerksamkeit in verschiedenen Bildungsbereichen. Für die Überprüfung der Aufmerksamkeit im Bereich der

¹²⁴ Vgl. Venkathiah (2010), S. 523.

¹²⁵ Vgl. Ferrer-Torregrosa et al. (2015), S. 122.

¹²⁶ Vgl. Liu / Chu (2010), S. 635; Di Serio et al. (2013), S. 590; Jara et al. (2011), S. 2459; Chang et al. (2014), S. 190; Billinghamurst / Duenser (2012), S. 58ff.; Tarnig / Ou (2012), S. 64; Lee (2012), S. 17ff.; Rasimah et al. (2011), S. 1378.

¹²⁷ Vgl. u.a. Chiang et al. (2014); Wu et al. (2013); Huang et al. (2016).

DISKUSSION

anatomischen Wissensvermittlung existiert allerdings bislang nur eine Studie. Diese liefert vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich des Faktors Aufmerksamkeit, wie die in dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung.¹²⁸ Die Experimentgruppe Magic Mirror bewertete zwar das Item „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ signifikant besser, dennoch erhält diese Aussage nur eine moderat ausgeprägte Zustimmung. Dementsprechend kann der Einsatz einer neuen Technik gegenteilige Effekte auf die Aufmerksamkeit haben, da sich die Probanden von der eigentlichen Aufgabe sich Inhalte einzuprägen, stark abgelenkt fühlen. Das AR-System Magic Mirror stellt ein neuartiges Lernmittel dar, mit dem die Probanden zuvor nicht gearbeitet haben. Folglich muss der Umgang mit dieser Technik zunächst erlernt werden, so dass ein Teil der Aufmerksamkeit möglicherweise nicht für die Inhalte der Lerneinheit zur Verfügung steht. Der ermittelte negative Rangkorrelationskoeffizient stützt diesen Erklärungsansatz. In diesem Zusammenhang zeigten Bacca et al. (2014) in ihrer Studie, dass insbesondere Probleme mit der Technik Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit haben.¹²⁹ Der in diesem Experiment verwendete Fragebogen beinhaltet jedoch kein Item für die Evaluation des technischen Aspekts des AR-Systems. Hier wäre insbesondere in Hinblick auf die technische Weiterentwicklung von AR-Systemen ein detailliertes Feedback der Probanden hilfreich. Darüber hinaus sollte in zukünftigen Studien untersucht werden, ob der Faktor Aufmerksamkeit eine bessere Bewertung erhält, wenn Probanden ausreichend Zeit hatten sich mit der verwendeten Technik vertraut zu machen.

Die unterschiedliche Bewertung des Items „...liefert zu viele Informationen“ offeriert ebenfalls weitere interessante Fragestellungen für die zukünftige Erforschung von AR-Systemen für die anatomische Wissensvermittlung. Wie bereits dargestellt, wurden beide Lerneinheiten so konzipiert, dass gleich viele Informationen durch Texte, Bilder oder Bewegungen vermittelt werden. Der Unterschied bestand darin, *wie* die Informationen vermittelt werden. Es stimmten signifikant weniger Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror der Aussage zu, dass zu viele Informationen auf einmal geliefert werden. Dieser Unterschied demonstriert, dass der Magic Mirror insbesondere die Funktion der dargestellten Muskeln durch aktive Bewegungen des Nutzers vermittelt und nicht anhand von Textinformationen.

¹²⁸ Vgl. Ferrer-Torregrosa et al. (2015), S. 122.

¹²⁹ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 141.

DISKUSSION

Es stellt sich somit die Frage, ob eine auf aktiven Bewegungen des Nutzers basierende Wissensvermittlung vom Gedächtnis besser aufgenommen wird, als die Wissensvermittlung durch Textinformationen. Zwar liefert die Literatur sehr viele Studien aus verschiedenen Feldern der Psychologie, die sich dieser allgemeinen Forschungsfrage widmen. Jedoch existieren nur wenige Studien, die diese Fragestellung in Hinblick auf die Nutzung von 3D Trackingsystemen beleuchten, wie dem in dieser Studie verwendeten Microsoft Kinect.¹³⁰ In diesem Zusammenhang ist die Studie von Chang et al. (2013) zu nennen, die zeigen konnte, dass durch vom Microsoft Kinect erfasste Bewegungen umfangreiche Auswirkungen auf unterschiedliche Lernprozesse haben. Dazu gehören die Steigerung der Aufmerksamkeit sowie die Abspeicherung und das Abrufen von Wissen aus dem Gedächtnis.¹³¹ Auch Vogel et al. (2012) sowie Lee et al. (2012) belegten in ihren Studien eine Aufmerksamkeitssteigerung durch vom Benutzer ausgeführten Bewegungen in Form von Gesten. Die ausgeführten Bewegungen wurden als eine bisher unbekannte Lernerfahrung wahrgenommen. Auch konnten sie demonstrieren, dass Bewegungen dem Nutzer halfen, relevante Daten im Gedächtnis aufzunehmen.¹³²

Doch die Nutzer von auf Bewegungen basierenden Lernmitteln profitieren nicht nur von einer Aufmerksamkeitssteigerung. Die in dieser Arbeit durchgeführte Studie liefert Hinweise, dass auch der Verarbeitungsprozess von Informationen positiv beeinflusst wird. Zu einem entsprechenden Ergebnis kommen Ozcelik / Sengul (2012). In ihrer Studie halfen Bewegungen die kognitive Belastung im Lernprozess zu senken.¹³³ Dabei nutzten sie den Microsoft Kinect für die Erfassung von Bewegungen im Lernprozess des Faches Physik.

In der Literatur existiert bislang kein Nachweis über die Auswirkungen von Bewegungen für den Zweck der anatomischen Wissensvermittlung. Das durchgeführte Experiment konnte erstmals zeigen, dass Bewegungen, die mittels des Microsoft Kinect erfasst werden, auch im Rahmen der anatomischen Wissensvermittlung vielversprechende Ergebnisse liefern. An dieser Stelle sollen auch die Ergebnisse der Bewertungen der Items „...fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes“ sowie „...hilft die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen“ der Kategorie *Dimensionales Verständnis* erwähnt werden. Diese Aussagen erhalten deutlich mehr Zustimmung von Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror. Der Vergleich der jeweiligen erzielten

¹³⁰ Vgl. Xu / Ke (2014), S. 712.

¹³¹ Vgl. Chang et al. (2013), S. 8.

¹³² Vgl. Vogel et al. (2012), Lee (2012).

¹³³ Vgl. Ozcelik / Sengul (2012), S. 87.

DISKUSSION

Mittelwerte lässt darauf schließen, dass die vom Probanden ausgeführten Bewegungen während der Nutzung des AR-Systems zu einem größeren Verständnis führen, als wenn diese Bewegungen anhand von Textinformationen im Anatomieatlasauszug erklärt werden. Gleichzeitig sind Bewegungen hilfreich, um die Funktionen der einzelnen Muskeln zu erlernen.

Eine umfangreiche Einführung über dieses spezifische Thema liefern Xu/Ke (2014). Sie konstatieren, dass durch Bewegungen der Informationsprozess erleichtert und verbessert werden kann, die Aufmerksamkeit gesteigert wird, Denkprozesse angestoßen und Informationen für die Aufnahme ins Gedächtnis umkodiert werden.¹³⁴ Diese Thematik bietet ein hohes Potenzial für die zukünftige Forschung. Da das in dieser Arbeit durchgeführte Experiment bislang das einzige ist, welches das große Potenzial eines auf Bewegungen basierten AR-Lernmittels zeigen konnte, sind weiterführende Studien über die Auswirkungen von Bewegungen auf Lernprozesse wünschenswert.

Die hohe Zustimmung der Aussage „...fördert aktives Lernen“ durch die Experimentgruppe Magic Mirror impliziert, dass einer der Vorteile des AR-Systems, nämlich die aktive Integration des Nutzers in das Lernprogramm, vom Probanden als positiv wahrgenommen wird. Das Item liefert keine Aussage darüber, ob eine solche aktive Integration des Nutzers gewollt ist. Die insgesamt gute Bewertung des Magic Mirrors suggeriert allerdings, dass die aktive Rolle des Probanden beim Lernen eine willkommene Abwechslung darstellt im Vergleich zu anderen häufig genutzten Lernmitteln, wie Plastikmodelle oder Anatomieatlanten. Bei deren Nutzung nehmen die Probanden eine passive Rolle ein. Darüber hinaus konnten Studien von McNulty et al. (2004) und Gopal et al. (2010) bereits beweisen, dass interaktive Lernmethoden den Lernprozess im Fach Anatomie positiv beeinflussen können, in dem bessere Ergebnisse in Wissenstests erzielt werden konnten.¹³⁵

Für die im Folgenden erläuterten zwei Items lieferte die statistische Auswertung für beide Experimentgruppen gleichwertige Ergebnisse. Dabei fiel die Bewertung des Items „...hilft mir eigenständig zu lernen“ für beide Lernmittel eher moderat aus. Dies ist ein möglicher Hinweis darauf, dass bei der Absolvierung der Lerneinheiten zusätzliche Fragen bei den Probanden entstanden sind, die das jeweilige Lernmittel nicht beantworten konnte. Es ist

¹³⁴ Vgl. Xu / Ke (2014), S. 732.

¹³⁵ Vgl. McNulty et al. (2004), S. 76; Gopal et al. (2010), S. 509.

DISKUSSION

allerdings zu klären, ob eine eingeschränkte Eigenständigkeit beim Lernen aufgrund inhaltlicher Fragen oder technologischen Problem entstanden ist.

Das Item „...liefert mir wichtiges Wissen“ erzielte in beiden Experimentgruppen ähnlich gute Bewertungen. Der Anatomieatlas schnitt marginal besser ab. Eine Interpretation dieses Unterschieds wäre aufgrund des gering ausgeprägten und daher nicht signifikanten Unterschieds nicht zielführend. Vielmehr deuten die in beiden Experimentgruppen ähnlich guten Bewertungen darauf hin, dass beide Lerneinheiten vergleichbare Informationen beinhalteten, auch wenn diese unterschiedlich dargestellt wurden. In der Lerneinheit des Magic Mirrors werden die Knochen und Muskeln gruppiert und anschließend einzeln gezeigt. Gleichzeitig wird die jeweilige Funktion des Muskels durch die Bewegungen des Nutzers in die Darstellung integriert. Beim Anatomieatlas werden die Muskeln dagegen überwiegend gruppiert dargestellt, zusätzlich erfolgt die Beschreibung der jeweiligen Muskelfunktion durch Textinformationen.

Die signifikant unterschiedlichen Bewertungen des Items „...stellt die Anatomie übersichtlich dar“ demonstrieren, dass die beim AR-System genutzte schrittweise Darstellung der oben genannten Strukturen und die Integration der Muskelfunktionen durch aktive Bewegungen als übersichtlicher empfunden wird.

Doch obwohl die Probanden die Darstellungen des Magic Mirrors als übersichtlicher empfinden, erhält das Item „...hilft mir das Wissen im Gedächtnis zu speichern“ nur eine moderate Zustimmung. Das Ergebnis impliziert einerseits, dass beide Lernmittel bessere Strategien finden sollten, anatomisches Wissen zu vermitteln. Andererseits deutet der signifikante Unterschied darauf hin, dass eine aktive Rolle des Nutzers wie beim Magic Mirror, die Wissensspeicherung im Gedächtnis vereinfacht. Diese These konnte in der bereits erwähnten Metaanalyse von Xu / Ke (2014) belegt werden.¹³⁶ Darüber hinaus wäre eine Studie interessant, die dieses Item erneut untersucht, wenn die Probanden mit der Anwendung von AR-Systemen vertraut sind. Ähnlich wie bei dem Item „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ könnte eine mehrmalige Nutzung des Magic Mirrors dazu führen, dass sich die Probanden ausschließlich auf die Themen der Lerneinheit konzentrieren können.

Die Bewertung der Kategorie *Dimensionales Verständnis* spiegelt deutlich die Vorteile des AR-Systems wider, die u.a. in der dreidimensionalen Darstellung von Muskeln und Knochen liegen. Diese Darstellung wird von den Probanden als hilfreich empfunden und

¹³⁶ Vgl. Xu / Ke (2014), S.732.

DISKUSSION

dementsprechend gut bewertet. Dennoch stellt der Anatomieatlas ebenfalls ein hilfreiches Lernmittel dar. Dies zeigt die Bewertung des ersten Items „...hilft die Anatomie des Armes zu erlernen“. Beide Lernmittel schneiden ähnlich gut ab, so dass der Unterschied nicht signifikant ist.

Der Unterschied hinsichtlich der dreidimensionalen Darstellung wird insbesondere bei den drei weiteren Items der Kategorie deutlich. Die signifikant besseren Ergebnisse der Items „...fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes“ sowie „...hilft die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen“ decken sich mit denen aus der Studie von Ferrer-Torregrosa et al. (2015).¹³⁷ Auch hier konnte gezeigt werden, dass die Vermittlung von anatomischem Wissen mithilfe von auf AR-basierter Technik eher gelingt als mit traditionellen Lernmitteln.

Das Item „...visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“ erhielt von allen zu bewerteten Aussagen die meiste Zustimmung aus der Experimentgruppe Magic Mirror. In Hinblick auf den signifikant großen Unterschied in den Mittelwerten der beiden Experimentgruppen suggeriert dieses Ergebnis, dass vom Nutzer ausgeführte Bewegungen zu einem höheren Verständnis der Muskelfunktionen führen.

Trotz der eindeutigen Ergebnisse zugunsten von auf AR-basierten Lernmitteln, sind weitere Forschungen insbesondere im Bereich der Darstellung sinnvoll. Es ist zu klären, wie Informationen am besten dargestellt werden können. Tönnis et al. (2013) beschreiben 5 Kategorien der Darstellung, die auf unterschiedliche Art durch AR-Systeme präsentiert werden können. Diese Kategorien sind die Zeitlichkeit von virtuellen Objekten, die Dimensionalität, der Standort von dem Informationen wahrgenommen werden, die Verbindung zwischen präsentierten Objekten sowie die Ähnlichkeit des virtuellen Objekts zur Realität.¹³⁸ Es fehlen bislang Studien darüber, wie diese Kategorien für unterschiedliche Zwecke, wie beispielsweise im Bildungsbereich, optimal gestaltet werden können. Um diese umfangreiche Forschungsfrage zu beantworten, ist eine Zusammenarbeit von Informatikern, Neuropsychologen und Medizinern sinnvoll.

Die statistische Auswertung des Wissenstests zeigte, dass der Magic Mirror signifikant besser Lerninhalte vermitteln kann, als der Anatomieatlas. Die Probanden des Magic Mirrors beantworteten signifikant mehr Fragen korrekt als die Probanden des Anatomieatlas.

¹³⁷ Vgl. Ferrer-Torregrosa et al. (2015), S. 123.

¹³⁸ Vgl. Tönnis et al. (2013), S. 997ff.

DISKUSSION

Aufgrund des erzielten Ergebnisses wird die aufgestellte Alternativhypothese H1 hinsichtlich des Ausmaßes des erlangten anatomischen Wissens beibehalten. Der bedeutende Unterschied war insbesondere durch drei als signifikant getestete Fragen bedingt. Diese sollen im weiteren Verlauf diskutiert werden.

Frage 2 forderte die Probanden auf, aus einer Auswahl einen Muskel mit einer Streckfunktion zu identifizieren. Das signifikant bessere Abschneiden der Experimentgruppe Magic Mirror impliziert, dass das AR-System die Funktion der einzelnen Muskeln vor allem durch die vom Probanden durchgeführten Bewegungen besser lehrt, als der Anatomieatlas durch Textinformationen. An dieser Stelle soll auf die bereits vorher erfolgte ausführliche Darstellung existierender Studien zu den Auswirkungen von Bewegungen auf den Lernprozess verwiesen werden.

Außerdem suggeriert das Ergebnis einen positiven Effekt durch die 360°-Darstellung des Armes mit Rotation um die eigene Achse. Die gesuchte Struktur, der M. anconeus ist verhältnismäßig klein und besitzt auf der dorsalen Seite des Armes seinen Ursprung und Ansatz. Zum einen wird der M. anconeus durch die permanente Rotation um die eigene Achse wiederholt dargestellt. Andererseits vermittelt die dreidimensionale Darstellung die dorsale Lage des Muskels besser als eine zweidimensionale Abbildung.

Einen weiteren signifikanten Unterschied lieferte die statistische Auswertung von Frage 3, in der derjenige Muskel mit der größten Kraftentwicklung in Beugestellung gesucht wurde. Um die Frage beantworten zu können ist es hilfreich, die in der Textangabe der MC-Aufgabe genannte Position des Armes zu imitieren. Die große Anzahl richtiger Antworten der Experimentgruppe Magic Mirror lässt darauf schließen, dass diese Probanden häufiger den oben genannten Lösungsansatz gewählt haben, da sie bereits während der Absolvierung der Lerneinheit ihren Arm aktiv einsetzen mussten, um die Muskelfunktion zu erlernen.

In der dritten mit einem signifikanten Unterschied getesteten Frage 9, hatten die Probanden die Aufgabe, die richtige Kombination des Ansatzes und des Ursprungs vom M. pronator teres anzukreuzen. Die Frage weist einen hohen Schwierigkeitsgrad auf, da der M. pronator teres schräg über den Arm verläuft und insbesondere die Identifikation des Ansatzpunktes aus dem Gedächtnis heraus schwierig sein kann. Das signifikant bessere Abschneiden der Experimentgruppe Magic Mirror zeigt, dass ähnlich wie bei Frage 2, die Rotationsfunktion des AR-Systems zu einer besseren Darstellung des M. pronator teres geführt hat, so dass Ansatz und Ursprung besser identifiziert werden konnten.

DISKUSSION

Nachdem auch die Ergebnisse im Wissensteil diskutiert wurden, sollen die ermittelten Rangkorrelationskoeffizienten Beachtung finden. Diese belegen den Zusammenhang zwischen der Bewertung des genutzten Lernmittels und der Leistung im Wissenstest. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass die Bewertung des jeweiligen Lernmittels und die Leistung im Wissenstest nur gering korreliert sind.

Bei der Ermittlung der Rangkorrelationskoeffizienten für die Experimentgruppe Magic Mirror konnte nur in 2 von 13 Fällen ein signifikantes Ergebnis erzielt werden. Diese wiesen beide schwach negative Zusammenhänge auf, so dass die Interpretierbarkeit eingeschränkt ist. Der Effekt für das Item „...fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen“ und dem Abschneiden im Wissenstest wurde bereits im Rahmen der Interpretation des Items erläutert. Auch der negative Zusammenhang des Korrelationskoeffizienten des Items „...visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“ und dem Abschneiden im Wissenstest entspricht nicht den Erwartungen. Hier wäre eine positive Ausprägung des Zusammenhangs nachvollziehbar gewesen.

Die Rangkorrelationskoeffizienten der Experimentgruppe Anatomieatlas liefern in 8 von 13 Fällen ein signifikantes Ergebnis. Für den Großteil der Assoziationen konnten positive Zusammenhänge gemessen werden, die jedoch nur schwach ausgeprägt sind. Folglich haben die Probanden, die das Lernmittel Anatomieatlas tendenziell gut bewertet haben auch im Wissenstest besser abgeschnitten als die Probanden, die den Anatomieatlas schlecht bewertet haben.

Das durchgeführte prospektiv randomisierte Experiment weist verschiedene Limitationen auf, die für Schlussfolgerungen und die zukünftige Forschung bedacht werden müssen. Dazu zählt die Repräsentativität der Stichprobe. Die Stichprobe umfasste 150 Probanden, die vier verschiedenen Ausbildungsgruppen zugeordnet werden konnten: Erstsemesterstudenten des Faches Humanmedizin sowie Auszubildende für den Beruf des Notfallsanitäters, des MTA's und des MTRA's. Andere Ausbildungsberufe wie der des Physiotherapeuten oder der Krankenpflege konnten dabei aus organisatorischen Gründen nicht berücksichtigt werden. Die Repräsentativität der Ergebnisse beschränkt sich folglich auf die oben genannte Stichprobe. Dabei wäre es zukünftig interessant, auch andere medizinische Ausbildungsberufe in die Stichprobe aufzunehmen und somit die potenzielle Zielgruppe zu erweitern. Darüber hinaus wurden in dieser Arbeit keine Unterschiede zwischen den oben genannten vier Zielgruppen analysiert. Ein Anteil von 51,3% der gesamten Stichprobe wurde von Erstsemesterstudenten der Medizin gebildet, 30% der Probanden waren

DISKUSSION

Auszubildende des Notfallsanitäters. Weitere 11,3% gehörten der Gruppe der Auszubildenden für den Beruf des MTAs an, während der kleinste Anteil von 7,3% von Auszubildenden für den Beruf des MTRAs gebildet wurde. Die Unterschiede in den Gruppengrößen sind demzufolge stark ausgeprägt, im Speziellen weisen die letzten beiden genannten Gruppen einen verhältnismäßig kleinen Anteil an der Gesamtstichprobengröße auf. Eine statistische Analyse von möglichen Unterschieden innerhalb der vier Gruppen wäre aufgrund dieser ungleichmäßigen Verteilung nicht zielführend gewesen. Des Weiteren befanden sich alle Probanden am Anfang ihrer Ausbildung, so dass davon auszugehen ist, dass keine nennenswerten Kenntnisse über die Themen der Lerneinheiten existierten, die signifikante Unterschiede zwischen den teilnehmenden Gruppen hätten rechtfertigen können. Eine Analyse von Gruppenunterschieden ist sinnvoll, wenn in zukünftigen Erhebungen eine gleichmäßige Verteilung der Stichprobengröße auf teilnehmende Gruppen möglich ist und ggf. Unterschiede in den Vorkenntnissen von Probanden anzunehmen sind. Eine solche Untersuchung kann wichtige Hinweise liefern, um zielgruppenspezifische Personalisierungspotenziale zu eruieren.

Eine weitere Limitation betrifft die Häufigkeit der Messung. Das prospektiv randomisierte Experiment entspricht einer Querschnittsstudie, die Ergebnisse basieren ausschließlich auf nur einem Messzeitpunkt. Wie oben bereits erwähnt, wäre eine Verlaufsbeobachtung für verschiedene Items wie „...bereitet mir Spaß beim Lernen“ interessant, um Gewöhnungseffekte bei der Nutzung des Magic Mirrors zu erkennen.

Das Lernmittel Magic Mirror konnte im durchgeführten Experiment vielversprechende Ergebnisse liefern. Das AR-System erzielte sowohl im Fragebogenteil Bewertung als auch im Wissenstest eindeutig bessere Ergebnisse als das Lernmittel Anatomieatlas. Damit liefert diese Studie erstmalig Belege dafür, dass der Magic Mirror ein Lernmittel darstellt, welches in der anatomischen Ausbildung von angehenden Ärzten und anderen medizinischen Berufen Beachtung finden sollte.¹³⁹ Die Ergebnisse dieser Studie können auch Investitionskosten rechtfertigen, die für die Anschaffung eines solchen neuartigen Lernmittels entstehen. Im folgenden Kapitel soll das AR-System Magic Mirror in die existierenden Lernmittel des Faches Anatomie eingeordnet werden.

¹³⁹ Vgl. Kamphuis et al. (2014), S. 308.

5.3 EINORDNUNG DES AR-SYSTEMS MAGIC MIRROR IN BESTEHENDE LERNMITTEL DER ANATOMISCHEN LEHRE

Die anatomische Lehre bedient sich, wie in der Einleitung bereits dargelegt, einer Vielzahl an Lernmitteln. Dazu zählen Sektionen, Vorlesungen, Anatomieatlanten und Plastikmodelle.¹⁴⁰ Die Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten Studie konnten zeigen, dass auch die Nutzung des Magic Mirrors zu einer effizienten Vermittlung von anatomischem Wissen führt. Somit besitzt das AR-System das Potenzial, als weiteres Standardlernmittel in die Reihe der oben genannten Lernmittel aufgenommen zu werden.

Schüler und Studenten verfolgen mit der Nutzung von Lernmitteln das Ziel, Inhalte effizient und sinnvoll zu erlernen. Vor diesem Hintergrund identifizieren Howland et al. (2013) u.a. folgenden Merkmale eines Lernmittels, die ein solches Lernen ermöglichen:¹⁴¹

- „Learning by doing“
- Integration von neuen Erfahrungen im Lernprozess sowie
- Kooperation durch Kommunikation und Kollaboration

Diese Merkmale werden durch die Verwendung oben genannter Lernmittel unterschiedlich bedient. Das Merkmal „Learning by doing“ impliziert, dass der Nutzer des jeweiligen Lernmittels eine interaktive Rolle im Lernprozess einnimmt. Eine solche interaktive Rolle des Nutzers wird hauptsächlich bei Sektionen und der Verwendung des Magic Mirrors ermöglicht, wie die durchgeführte Studie dies bereits für das AR-System demonstrieren konnte.¹⁴² Bei der Verwendung von Vorlesungen, Anatomieatlanten und Plastikmodellen nimmt der Nutzer dagegen eine eher passive Rolle ein, da Informationen inaktiv empfangen werden und nicht gestaltet werden können.¹⁴³ Im Rahmen von Sektionen haben Schüler oder Studenten die Aufgabe, vorgegebene Strukturen des menschlichen Körpers mit geeigneten Hilfsmitteln zu präparieren und zu studieren.¹⁴⁴ Durch das systematische Freilegen erhalten sie nicht nur Informationen über die topographische Lage von Strukturen und Gewebe.¹⁴⁵ Gleichzeitig werden motorische und haptische Fähigkeiten geschult, was vor allem für chirurgische Disziplinen hilfreich ist.¹⁴⁶ Bei der Verwendung des Magic Mirrors wird die Funktion der Muskeln durch die aktiven Bewegungen des

¹⁴⁰ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 247ff.

¹⁴¹ Vgl. Howland et al. (2013), S. 3f.

¹⁴² Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 253; Kennedy / Todd (2009), S. 27ff.

¹⁴³ Vgl. Frame et al. (2015), S. 4; Yip / Rajendran (2008), S. 49; O’Byrne et al. (2008), S. 260.

¹⁴⁴ Vgl. Sugand et al. (2010), S. 83f.

¹⁴⁵ Vgl. Lempp (2005), S. 318; Aziz et al. (2002), S. 22ff.; Nnodim (1990), S. 392.

¹⁴⁶ Vgl. Aziz et al. (2002), S. 22ff; Adoga (2011), S. 73.

DISKUSSION

Benutzers gelehrt. Aufgrund der Virtualität der dargestellten Muskeln erfolgt jedoch keine Vermittlung von haptischen Informationen durch Anfassen, wie es bei Sektionen stattfindet. Es kann geschlussfolgert werden, dass zwar sowohl Sektionen als auch der Magic Mirror das Merkmal „Learning by doing“ in den Lernprozess integrieren, jedoch auf unterschiedliche Weise. Während Sektionen für die Vermittlung von haptischen Informationen hilfreich sind, bietet der Magic Mirror die Möglichkeit Muskelfunktionen und Bewegungsabläufe zu erlernen. Diese werden durch Sektionen nicht vermittelt.

Beide Lernmittel ermöglichen ebenfalls das Sammeln von neuen Erfahrungen im Lernprozess. Bei der Durchführung von Sektionen haben die meisten Schüler und Studenten erstmals die Möglichkeit, invasive Tätigkeiten an einem menschlichen Körper durchzuführen.¹⁴⁷ Gleichzeitig müssen sie sich mit dem Anblick eines toten Menschen auseinandersetzen, was für einige eine Grenzerfahrung darstellt.¹⁴⁸ Im Gegensatz dazu machen die Nutzer bei der Verwendung des Magic Mirrors neue Erfahrungen dadurch, dass eine moderne Technik zum Einsatz kommt, mit der anhand des Körpers und der Bewegungen des Benutzers Informationen vermittelt werden. Die Lernmittel Vorlesungen, Anatomieatlanten und Plastikmodelle stellen dagegen bekannte Lehrkonzepte dar, die in Form von Frontalunterricht, Büchern und ebenfalls Plastikmodellen bereits in der schulischen Ausbildung Beachtung finden.

Das Merkmal Kooperation durch Kommunikation und Kollaboration kann am ehesten durch Sektionen und in Seminaren vermittelt werden, da diese in Kleingruppen stattfinden und Teamarbeit ein wichtiger Bestandteil ist.¹⁴⁹ Bei der Durchführung der Studie wurde der Magic Mirror von jeweils nur einem Probanden getestet. Allerdings bietet der verwendete Microsoft Kinect die Möglichkeit bis zu 6 Nutzer gleichzeitig zu detektieren, so dass die Möglichkeit besteht, Gruppenarbeit durchzuführen.¹⁵⁰ Bei der Verwendung von Anatomieatlanten und Plastikmodellen besteht ebenfalls die Möglichkeit sich in Kleingruppen Themenbereiche zu erarbeiten. Vorlesungen bieten dagegen keinen Rahmen Kollaborationen und Kommunikation in den Lernprozess zu integrieren.

Die von Howland et al. (2013) aufgestellten Merkmale für einen effizienten und sinnvollen Lernprozess können am ehesten durch die Lernmittel Sektionen und den Magic Mirror

¹⁴⁷ Kennedy / Todd (2009), S. 27ff.

¹⁴⁸ Vgl. Finkelstein / Mathers (1990), S. 221; Lempp (2005), S. 320; Snelling et al. (2003), S. 168; Kennedy / Todd (2009), S. 27ff.

¹⁴⁹ Vgl. Kennedy / Todd (2009), S. 26; Burges et al. (2012), S. 459f.

¹⁵⁰ Vgl. Homepage Microsoft, URL: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561> (abgerufen am 10.12.2015).

realisiert werden. Beide besitzen das Potenzial sich gegenseitig zu ergänzen und den Lernerfolg zu steigern. Ein vollständiger Ersatz von Sektionen durch das AR-System für die anatomische Lehre ist aufgrund des derzeitigen Entwicklungsstandes von auf AR-basierenden Lernmitteln allerdings noch nicht denkbar.

5.4 AUSBLICK

AR-Systeme bieten die Möglichkeit verschiedene Bereiche der Bildung durch innovative Technologien zu unterstützen und das Lernen zu verbessern.¹⁵¹ Hier ist beispielsweise der in der Diskussion bereits genannte, vielversprechende Effekt von Bewegungen auf die anatomische Wissensvermittlung zu nennen.

Gleichzeitig befinden sich AR-Systeme für Bildungszwecke in der Entwicklungsphase.¹⁵² Im Vergleich zu neuen und technologisch weiter entwickelten Lernmitteln, wie web-basierten Lernplattformen, sind wissenschaftlich fundierte Nachweise über die Auswirkungen auf Lernprozesse tendenziell nur spärlich vorhanden.¹⁵³ Ein Grund für den Mangel wissenschaftlicher Erkenntnisse sehen Bower et al. (2014) in der rasanten Entwicklung von AR-Systemen und der Unfähigkeit der Bildungsforschung mit diesem Tempo Schritt zu halten.¹⁵⁴

Wie Bacca et al. (2014) in ihrer Übersichtsarbeit zeigen konnten, existieren allerdings deutliche Unterschiede in der Anzahl von Studien über die Effekte von AR je nach Bildungsbereich.¹⁵⁵ Dabei wird deutlich, dass vor allem der Bildungsbereich Gesundheit und Wohlbefinden zu den am wenigsten wissenschaftlich untersuchten Feldern zählt.¹⁵⁶

Vor diesem Hintergrund liefert die in dieser Arbeit durchgeführte Studie weitere Hinweise über die bislang nur wenig erforschten Auswirkungen von AR-Systemen im Bereich der anatomischen Ausbildung.

Darüber hinaus zeigen die vielversprechenden Ergebnisse, dass weitere Forschungsanstrengungen im Bildungsbereich der Anatomie nötig sind. Sinnvolle zukünftige Untersuchungen betreffen neben den in der Diskussion genannten Aspekten auch die Frage, wie sich Sektionen und das AR-System Magic Mirror ergänzen können, um die Vorteile bei-

¹⁵¹ Vgl. Wu et al. (2013), S. 47.

¹⁵² Vgl. Cheng / Tsai (2012), S. 455ff; Wu et al. (2013), S. 47; Bujak et al. (2013), S. 540.

¹⁵³ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 139.

¹⁵⁴ Vgl. Bower et al. (2014), S. 13.

¹⁵⁵ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 139.

¹⁵⁶ Vgl. Bacca et al. (2014), S. 139.

DISKUSSION

der Lernmittel für das Erlernen der menschlichen Anatomie zu nutzen. Ein weiteres interessantes Forschungsgebiet im Bereich Gesundheit ist die Verwendung des Magic Mirrors für die Rehabilitation von Patienten mit motorischen Defiziten. Durch die Detektion von Bewegungen und der Überlagerungsfunktion der an der Bewegung beteiligten Muskeln kann der Patient eigenständig kontrollieren, ob er krankengymnastische Übungen richtig ausführt.¹⁵⁷

Um das Potenzial von AR-Systemen für Bildungszwecke umfassender ausschöpfen zu können, muss allerdings zunächst die zugrunde liegende Technologie weiterentwickelt werden.¹⁵⁸ Dabei besteht eine Herausforderung darin, die Benutzerfreundlichkeit zu evaluieren, auf Basis dieser Erkenntnisse zu optimieren und für spezifische Bildungszwecke anzupassen.¹⁵⁹

Die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten von AR-Technologien bieten die Option, die im Lernprozess angesprochenen Sinnesmodalitäten zu erweitern.¹⁶⁰ Untersuchungen von Auswirkungen auf Lernerfolge durch eine Integration von Triggern wie Geräuschen, Stimmen, Temperatur oder Gerüchen sind in diesem Zusammenhang denkbar.¹⁶¹ Eine Möglichkeit für die Integration dieser Trigger in das AR-System Magic Mirror besteht in der Ergänzung der verwendeten schriftlichen Erklärungen der Muskelfunktionen durch gesprochene Hörinformationen.

Die Benutzung moderner Bildungstechnologien stellt allerdings nicht nur eine Herausforderung für die technologische Entwicklung und die Integration in das bestehende Bildungssystem dar. Eine weitere wichtige Rolle nehmen die unterrichtenden Dozenten ein. Diese können mit ihrer Einstellung gegenüber AR-Systemen maßgeblich dazu beitragen, ob ein solches Lernmittel angenommen wird oder nicht.¹⁶² Ein wesentlicher Grund für die aktuell noch oft anzutreffende Resistenz gegenüber der Benutzung solcher neuen Lernmittel liegt in der fehlenden Information über die Technologie dieser Lernsysteme.¹⁶³ Eine wichtige Aufgabe besteht demzufolge zukünftig darin, die Dozenten für die Anwendung von AR-Systemen zu schulen und eine Technologie zu entwickeln, die es ihnen ermöglicht, Lehrinhalte eigenständig zu gestalten.¹⁶⁴

¹⁵⁷ Vgl. Ma et al (2015), S.18; Corraera et al. (2009), S. 218f.

¹⁵⁸ Vgl. Bower et al. (2014), S. 12.

¹⁵⁹ Vgl. Di Serio et al. (2013), S. 594f; Ibanez et al. (2014), S. 10; Cuendet et al. (2013), S. 565.

¹⁶⁰ Vgl. Ho et al. (2011), S. 1092ff.

¹⁶¹ Vgl. Bower et al (2014), S. 12; Ho et al. (2011), S. 1092ff.

¹⁶² Vgl. Juhary (2012), S. 300.

¹⁶³ Vgl. Juhary (2012), S. 300f; Da Silva et al. (2013), S. 457.

¹⁶⁴ Vgl. Chang et al. (2014), S. 191ff.

DISKUSSION

Bei der Durchführung zukünftiger Studien ist ein longitudinales Studiendesign anzustreben, um zu eruieren, wie sich Lerneffekte über einen längeren Zeitraum entwickeln. Eine endgültige Beurteilung von AR-Systemen als effektives Lernmittel kann erst dann vorgenommen werden, wenn auch die Ergebnisse von Longitudinalstudien langanhaltende Lerneffekte demonstrieren.¹⁶⁵

Abschließend ist festzuhalten, dass verschiedene Faktoren, wie eine in den kommenden Jahren erfolgreiche technologische Weiterentwicklung des Magic Mirrors, über den Umfang des Einsatzes als Lernmittel für die Vermittlung anatomischen Wissens entscheiden werden. Die in dieser Arbeit durchgeführte Studie liefert erste vielversprechende Hinweise, dass der Magic Mirror gegenüber dem traditionellen Lernmittel Anatomieatlas zu einer verbesserten Performanz und einem besseren Lernprozess führt.

¹⁶⁵ Vgl. McLachlan / Patten (2006), S. 250.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Erlernen der menschlichen Anatomie bildet die Grundlage für eine erfolgreiche und patientensichere Ausübung des Arztberufes. Die anatomische Ausbildung bedient sich für diesen Zweck unterschiedlicher Lernmittel, die in die Kategorien Sektionen von Leichen, Bücher, Plastikmodelle sowie Vorlesungen und Seminare eingeordnet werden können. Vor dem Hintergrund sich stetig weiterentwickelnden Technologien und dem Anspruch das Lernen effizienter zu gestalten, entwickelte das NARVIS Forschungslabor den sogenannten Magic Mirror, einen auf AR-basierten Prototypen für das Erlernen der menschlichen Anatomie. Dabei ermöglicht es die Technologie der AR dem Nutzer, den Lernprozess interaktiv zu gestalten und Information zu beziehen, die durch eine Kombination von virtuellen Objekten mit der realen Umgebung vermittelt werden.

In der vorliegenden Arbeit erfolgte zunächst die Durchführung einer Pilotstudie, die der Evaluation des Magic Mirrors hinsichtlich der Akzeptanz von AR-Technologien für die anatomische Lehre unter Medizinstudenten diente. Dabei zeigte sich eine hohe Akzeptanz des Magic Mirrors als potenzielles Lernmittel. Gleichzeitig wurden Verbesserungsvorschläge für den Magic Mirror Prototypen erhoben. Vor dem Hintergrund dieser Analyse konnte das AR-System weiterentwickelt und eine Lerneinheit kreiert werden, welche die Anatomie des Ober- und Unterarmes mit ausgewählten Knochen, Muskeln und Muskel-funktionen thematisierte. Zeitgleich konnte eine thematisch identische Lerneinheit erstellt werden, welche auf den Inhalten eines Anatomieatlas basierte. Die der Studie zugrunde liegenden Fragestellung lautete, ob das AR-System Magic Mirror im Vergleich zu dem bereits etablierten Anatomieatlas zu einer effektiveren Vermittlung von anatomischem Wissen beiträgt. Die Lerneinheiten wurden in einer prospektiv randomisierten Studie mit 150 Probanden auf Unterschiede in der Bewertung des jeweiligen Lernmittels sowie des Ausmaßes des Wissenszuwachses verglichen.

Für die Überprüfung dieser Fragestellung wurde ein Fragebogen verfasst, der sich aus einem Bewertungs- und einem Wissensteil zusammensetzte. Der Bewertungsteil beinhaltete 13 auf einer 4-stufigen Likert-Skala zu evaluierende Items, welche die Kategorien *Motivation*, die *Qualität des Lernens* sowie das *Dimensionale Verständnis* im entstandenen Lernprozess thematisierten. Der Wissensteil bestand aus 10 MC Aufgaben, die das erlangte Wissen aus den zuvor bearbeiteten Lerneinheiten abfragte.

Für die statistische Auswertung der oben genannten Kategorien wurde der Mann-Whitney-Test für ordinal verteilte Stichproben angewendet. Die Analyse der Einzelbewertung

ZUSAMMENFASSUNG

der 13 Items erfolgte durch die Ermittlung der prozentualen Häufigkeiten der jeweils gewählten Antwortoptionen. Zusätzlich wurden die Mittelwerte der mit 1 bis 4 Punkten bewerteten Antwortoptionen bestimmt.

Für die Beurteilung der Gesamtperformanz des Wissenstests fand ebenfalls der Mann-Whitney-Test Anwendung, während der Chi-Quadrat-Test bei der Bewertung des Abschneidens in einzelnen MC Aufgaben eingesetzt wurde.

Um mögliche Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß der Bewertung einzelner Item sowie dem Abschneiden im Wissenstest zu eruieren, erfolgte eine Überprüfung mit Spearmans Rangkorrelationskoeffizienten.

Die Auswertung der erhobenen Daten lieferte eine signifikant bessere Gesamtbewertung des Magic Mirrors im Vergleich zum Anatomieatlas in den drei Kategorien *Motivation*, *Qualität des Lernens* und *Dimensionales Verständnis*. Die Analyse der Mittelwerte der einzelnen Items zeigte in 10 von 13 Fällen ein signifikantes Ergebnis. Bei allen mit einem signifikanten Unterschied ermittelten Ergebnissen erhielt das AR-System Magic Mirror eine bessere Bewertung als der Anatomieatlas. Die Bewertung des Items „...visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln“ stellt dabei das am besten bewertete Item für das AR-System Magic Mirror dar. Die Experimentgruppe Anatomieatlas erteilte dem Item „...liefert mir wichtiges Wissen“ die meiste Zustimmung. Obwohl dieses Item die meiste Zustimmung erhielt, ist der Unterschied zum AR-System Magic Mirror nicht signifikant. Die Analyse des Wissensteils des Fragebogens demonstrierte eine signifikant bessere Gesamtperformanz der Probanden der Experimentgruppe Magic Mirror. Die Einzelauswertung der 10 MC Fragen lieferte bei 3 Aufgaben einen signifikanten Unterschied zwischen den Experimentgruppen. Auch hier schnitten die Probanden besser ab, welche zuvor mit dem Magic Mirror gearbeitet hatten.

Auf der Basis der in dieser Arbeit durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, dass das AR-System einen wichtigen Beitrag als Lernmittel für die anatomische Lehre leisten kann. Im Vergleich zum etablierten Lernmittel Anatomieatlas führte die Benutzung des Magic Mirrors zu einer effektiveren Vermittlung von anatomischem Wissen und zu einer besseren Bewertung des Lernmittels. Auch konnte diese Studie erstmals zeigen, dass die vom Benutzer im Lernprozess ausgeführten Bewegungen, die mittels des Microsoft Kinects erfasst werden, im Rahmen der anatomischen Wissensvermittlung vielversprechende Ergebnisse liefern.

ZUSAMMENFASSUNG

Die wichtigsten Aufgaben für die zukünftige Erforschung des AR-Systems Magic Mirror sind zum einen die Reevaluierung obiger Ergebnisse auf Basis von longitudinalen Studien. Zum anderen sollte die Zielgruppe um Schüler und Studenten weiterer medizinischer Ausbildungsberufe ergänzt werden, um zielgruppenspezifische Personalisierungspotenziale für die anatomische Lehre zu erkennen. Eine Erweiterung des Magic Mirrors hinsichtlich der Darstellung zusätzlicher muskuloskelettalen Abschnitte oder Organsystemen des menschlichen Körpers ist wünschenswert.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Adoga, S. A. / Maan, N. D. / Ugwu, B. T. / Umar, B. M. / Nwaorgu, G. O. (2011): Temporal bone dissection skill: A necessity for life otologic surgery, in: Indian Journal of Otology, Vol. 17, No. 2, S. 71-75.

Allen, E. B. / Walls, R. T. Reilly, F. D. (2008): Effects of interactive instructional techniques in a web-based peripheral nervous system component for human anatomy, in: Medical Teacher, Vol. 30, S. 40-47.

Al-Issa, H. / Regenbrecht, H. / Hale, L. (2012): Augmented reality applications in rehabilitation to improve physical outcomes, in: Physical Therapy Reviews, Vol. 17, S. 16-28.

AlNassar, S. A. / Waseem, H. / Rahal, S. / Clifton, J. / Finley, R. / Sidhu, R. (2012): The use of thoracoscopy to enhance medical students' interest and understanding of thoracic anatomy, in: Annals of Thoracic Medicine, Vol. 7, No. 3, S. 145-148.

Asmuth, M. (2003): Prüfen mit der Multiple Choice Methode, abgerufen unter URL: http://www.lehrer-online.de/dyn/bin/multiple-choice-tests_329588-329719-1.pdf (zitiert am 17.12.2015).

Autodesk Homepage, abgerufen unter URL: <http://www.autodesk.de/products/3ds-max/overview> (zitiert am 19.12.2015).

Aziz, M. A. / McKenzie J. C. / Wilson, J. S. / Cowie, R. J. / Ayeni, S. A. / Dunn, B. K. (2002): The human cadaver in the age of biomedical informatics, in: The Anatomical Record, Vol. 269, S. 20-32.

Azuma, R. / Baillot, Y. / Behringer, R. / Feiner, S. / Julier, S. / MacIntyre, B. (2001): Recent advances in augmented reality, in: IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 21, No. 6, S. 34-47.

Bacca, J. / Baldiris, S. / Fabregat, R. / Graf, S. / Kinshuk (2014): Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications, in: Journal of Educational Technology & Society, Vol. 17, No. 4, S. 133-149.

LITERATURVERZEICHNIS

Barak, M. / Ziv, S. (2013): Wandering: A web-based platform for the creation of location-based interactive learning objects, in: *Computers & Education*, Vol. 62, S. 159-170.

Billinghamurst, M. / Duenser, A. (2012): Augmented reality in the classroom, in: *Computer*, Vol. 45, S. 56-63.

Blum, T. / Kleeberger, V. / Bichlmeier, C. / Navab, N. (2012): Mirracle: An Augmented Reality Magic Mirror System for Anatomy Education, in: *IEEE Virtual Reality*, S. 115-116.

Botden, S. / Jakimowicz, J. (2009): What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery? In: *Surgical Endoscopy*, Vol. 23, No. 8, S. 1693-1700.

Bower, M. / Howe, C. / McCredie, N. / Robinson, A. / Grover, D. (2014): Augmented Reality in education – cases, places and potentials, in: *Educational Media International*, Vol. 51, No. 1, S. 1-15.

Bujak, K. R. / Radu, I. / Catrambone, R. / McIntyre, B. / Zeng, R. / Golubski, G. (2013): A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom, in: *Computers & Education*, Vol. 68, S. 536-544.

Burges, A. W. / Ramsey-Stewart, G. / May, J. / Mellis, C. (2012): Team-based learning methods in teaching topographical anatomy by dissection, in: *ANZ Journal of Surgery*, Vol. 82, No. 6, S. 457-460.

Carmigniani, J. / Furht, B. (2011): Augmented Reality: An Overview, in: Furht, B. (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*, S. 3-46.

Carvalho da Silva, K. / Santana, O. A. / Arruda de Moraes, S. R. (2013): Quality and Language of Learning Objects Used in the Teaching of Human Anatomy, in: *International Journal of Morphology*, Vol. 31, No. 2, S. 455-460.

LITERATURVERZEICHNIS

Caudell, T. P. / Mizell, D. W. (1992): Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conferences on System Sciences, 1992, S. 659-669.

Chang, C. Y. / Chien, Y. T. / Chiang, C. Y. / Lin, M. C. / Lai, H. C. (2013): Embodying gesture-based multimedia to improve learning, in: British Journal of Educational Technology, Vol. 44, No. 1, S. 5-9.

Chang, K.-E. / Chang, C.-T. / Hou, H.-T. / Sung, Y.-T. / Chao, H.-L. / Lee, C.-M. (2014): Development and behavioural pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum, in: Computers & Education, Vol. 71, S. 185-197.

Cheng, K.-H. / Tsai, C.-C. (2012): Affordance of augmented reality in science learning: Suggestions for future research, in: Journal of Science Education and Technology, Vol. 22, No. 4, S. 449-462.

Chiang, T.-H.-C. / Yang, S.-J.-H. / Hwang, G.-J. (2014): An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities, in: Educational Technology & Society, Vol. 17, No. 4, S. 352-365.

Chien, C.-H. / Chen, C.-H. / Jeng, T.-S. (2010): An Interactive Augmented Reality System for Learning Anatomy Structure, in: Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, March 17-19, Vol. 1. S. 1-6, abgerufen unter URL: http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/IMECS2010_pp370-375.pdf (zitiert am 25.10.2015).

Correa, A. G. D. / Ficheman, I. K. / Nascimento, M. D. / Lopes, R. D. D. (2009): Computer assisted music therapy: A case study of an augmented reality musical system for children with cerebral palsy rehabilitation, in: Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, S. 218-220.

LITERATURVERZEICHNIS

Cristancho, S. M. / Moussa, F. / Dubrowski, A. (2011): A framework-based approach to designing simulation-augmented surgical education and training programs, in: *The American Journal of Surgery*, Vol. 202, S. 344-351.

Cuendet, S. / Bonnard, Q. / Do-Lenh, S. / Dillenbourg, P. (2013): Designing augmented reality for the classroom, in: *Computers & Education*, Vol. 68, S. 557-569.

Da Silva, C. K. / Santana, A. O. / De Moraes, A. S. R. (2013): Quality and language of learning objects used in teaching human anatomy, in: *International Journal of Morphology*, Vol. 31, No. 2, S. 455-460.

De Paolis, L. T. / Ricciardi, F. / Dragoni, A. F. / Aloisio, G. (2011): An augmented reality application for the radio frequency ablation of the liver tumors, in: Murgante, B. / Gervasi, O. / Iglesias, A. (Hrsg.): *Computational science and its applications ICCSA 2011*, Vol. 6785, S. 572-581. Springer Verlag, Berlin.

DiSerio, A. / Ibáñez, M. B. / Kloos, C. D. (2013): Impact of an augmented reality system on students motivation for a visual art course, in: *Computers & Education*, Vol. 68, S. 586-596.

Dünser, A. / Grasset, R. / Billinghamurst, M. (2008): “A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies”, Konferenzbeitrag ACM SIGGRAPH ASIA, 2008, Singapore.

Dünser, A. / Billinghamurst, M. (2011): Evaluating Augmented Reality Systems, in: Furht, B. (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*, S. 289-307.

Eckart, W. (2005): *Geschichte der Medizin*, Springer Verlag, Berlin.

El Sayed, N. A. M. / Zayed, H. H. / Sharawy, M. I. (2011): “ARSC: Augmented reality student card” An augmented reality solution for the education field, in: *Computers & Education*, Vol. 56, No. 4, S. 1045-1061.

LITERATURVERZEICHNIS

Erhardt, A. (2008): Einführung in die Digitale Bildverarbeitung, Vieweg + Teubner, Wiesbaden.

Fazal-Ur-Rehman / Khan, S. N. / Yunus, S. M. (2012): Students, perception of computer assisted teaching and learning of anatomy-in a scenario where cadavers are lacking, in: Biomedical Research, Vol 23, No. 2, S. 215-218.

Ferrer-Torregrosa, J. / Torralba, J. / Jimenez, M. A. / Garcia, S. / Barcia, J. M. (2015): ARBOOK: Development and Assessment of a Tool Based on Augmented Reality for Anatomy, in: Journal of Science Education Technology, Vol. 24, S.119-124.

Finkelstein, P. / Mathers, L. H. (1990): Post-traumatic stress among medical students in the anatomy dissection laboratory, in: Clinical Anatomy, Vol. 3, No. 3, S. 219-226.

Fjeld, M. (2003): Introduction: Augmented Reality-Usability and Collaborative Aspects, in: International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 16, S. 387-393.

Frame, T. R. / Cailor, S. M. / Gryka, R. J. / Chen, A. M. / Kiersma, M. E. / Sheppard, L. (2015): Student perceptions of Team-based Learning vs. Traditional Lecture-based Learning, in: American Journal of Pharmaceutical Education, Vol. 79, No. 4, S. 1-12.

Frenk, J. / Chen, L. / Bhutta Z. A. / Cohen, J. / Crisp, N. / Evans, T. / Fineberg, H. / Garcia, P. Ke, Y. / Kelley, P. / Kistnasamy. B. / Meleis, A. / Naylor, D. / Pablos-Mendez, A. / Reddy, S. / Scrimshaw, S. / Sepulveda, J. / Serwadda, D. / Zurayk, H. (2010): Health professionals for a new: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world, in: Lancet, Vol. 376, S. 1923-1958.

Gopal, T. / Herron, S. S. / Mohn, R. S. et al. (2010): Effects of an interactive web-based instruction in the performance of undergraduate anatomy and physiology lab students, in: Computers & Education, Vol 55, S. 500-512.

Hariri, S. / Rawn, C. / Srivastava, S. / Youngblood, P. / Ladd, A. (2004): Evaluation of a surgical simulator for learning clinical anatomy, in: Medical Education, Vol 38, S, 896-902.

LITERATURVERZEICHNIS

Ho, C. M. L. / Nelson, M. E. / Mueller-Wittig, W. (2011): Design and implementation of a student-generated virtual museum in a language curriculum to enhance collaborative multi-modal meaning-making, in: *Computers & Education*, Vol. 57, S. 1083-1097.

Howland, J. L. / Jonassen, D. H. / Marra, R. M. (2012): Meaningful learning with technologies, 4. Auflage, Pearson.

Huang, C. S. J. / Yang, S. J. H. / Chiang, T. H. C. / Su, A. Y. S. (2016): Effects of the Situated Mobile Learning Approach on Learning Motivation and Performance of EFL Students, in: *Educational Technology & Society*, Vol. 19, No. 1, S. 263-276.

Ibanez, M. B. / DiSerio, A. / Villaran, D. / Kloos, C. D. (2014): Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness, in: *Computers & Education*, Vol. 71, S. 1-13.

Jara, C. / Candelas, F. / Puente, S. T. / Torres, F. (2011): Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory, in: *Computers & Education*, Vol. 57, No. 4, S. 2451-2461.

Jensen, M. / Duranczyk, I. / Staats, S. / Moore, R. / Hatch, J. (2006): Using a Reciprocal Teaching Strategy to create Multiple Choice Exam Questions, in: *American Biology Teacher*, Vol. 68, No. 6, S. 67-71.

Juan, C. / Beatrice, F. / Cano, J. (2008): An augmented reality system for learning the interior of the human body, in: *Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, S. 186-188.

Juhary, J. (2012): Online comments for language learning: a pilot study, in: *Procedia Technology*, Vol. 1, S. 297-302.

Kamphuis, C. / Barsom, E. / Schijven, M. / Christoph, N. (2014): Augmented reality in medical education?, in: *Perspectives on Medical Education*, Vol. 3, S. 300-311.

Kennedy, G. J. / Olson, T. R. (2009): "Cadaver Conference Day": A Psychiatrist in the Gross Anatomy Course, in: *Primary Psychiatry*, Vol. 16, No. 1, S. 26-30.

LITERATURVERZEICHNIS

Kerfoot, B. (2005): Influence of new educational technology on problem-bases learning at Harvard Medical School, in: Medical Education, Vol. 39, No. 4, 380-387.

Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der LMU Innenstadt Homepage, abgerufen unter URL: <http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Klinik-fuer-Allgemeine-Unfall-Hand-und-Plastische-Chirurgie/de/forschung/narvis/index.html> (zitiert am 23.10.2015).

Klontz, J. C. / Klare, B. F. / Klum, S. / Jain, A. K. / Burge, M. J. (2013): Open source biometric recognition. BTAS, S. 1-8.

Lee, K. (2012): Augmented reality in education and training, in: Tech Trends, Vol. 56, S. 13-21.

Lee, W. / Huang, C. / Wu, C. / Huang, S. / Chen, G. (2012): The effects of using embodied interactions to improve learning performance, in: IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies, S. 557-559.

Lempp, H. K. (2005): Perceptions of dissections by students in one medical school: beyond learning about anatomy. A qualitative study. In: Medical Education, Vol. 39, No. 3, S. 318-325.

Levine, M. (1999): Implementing and Integrating computer-based activities into a problem-based gross anatomy curriculum, in: Clinical Anatomy, Vol. 12, No. 3, S. 191-198.

Lewis, M. J. (2003): Computer-assisted learning for teaching anatomy and physiology in subjects allied to medicine, in: Medical Teacher, Vol. 25, No. 2, S. 204-206.

Liu, T.-Y. / Chu, Y.-L. (2010): Using ubiquitous games in an English listening and speaking course: Impact on learning outcomes and motivation, in: Computers & Education, Vol. 55, No. 2, S. 630-643.

LITERATURVERZEICHNIS

Looi, C.-K. / Wong, L.-H. / So, H.-J. / Seow, P. / Toh, Y. / Chen, W. / Zhang, B. / Norris, C. / Soloway, E. (2009): Anatomy of mobilized lesson: Learning my way, in: *Computers & Education*, Vol. 53, Issue 4, S. 1120-1132.

Ma, M. / Fallavollita, P. / Blum, T. / Eck, U. / Sandor, C. / Weidert, S. / Waschke, J. / Navab, N. (2013): Kinect for Interactive AR Anatomy Learning, in: *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, S. 277-278.

Ma, M. / Fallavollita, P. / Seelbach, I. / Von der Heide, A. M. / Euler, E. / Waschke, J. / Navab, N. (2015): Personalized Augmented Reality for Anatomy Education, in: *Clinical Anatomy*, Vol. 29, No. 4, S. 446-453.

Marg, W. (Übers.) (1990): Herodot. Geschichte und Geschichten, Band 2. Artemis, München.

McCuskey, R. S. / Carmichael, S. W. / Kirch, D. G. (2005): The Importance of Anatomy in Health Professions Education and the Shortage of Qualified Educators, in: *Academic Medicine*, Vol. 80, No. 4, S. 349-351.

McLachlan, J. C. / Blingh, J. / Bradley, P. / Searle, J. (2004): Teaching anatomy without cadavers, in: *Medical Education*, Vol. 38, No. 4, S. 418-424.

McLachlan, J. C. / Patten, D. (2006): Anatomy teaching: ghost of the past, present and future, in: *Medical Education*, Vol. 40, S. 243-253.

McNulty, J. A. / Halama, J. / Espiritu, B. (2004): Evaluation of computer-aided instruction in the medical gross anatomy curriculum, in: *Clinical Anatomy*, Vol. 17, S. 73-78.

McWorther, D. L. / Forester, J. P. (2004): Effects of an alternate dissection schedule on gross anatomy laboratory practical performance, in: *Clinical Anatomy*, Vol. 17, S. 144-148.

LITERATURVERZEICHNIS

Microsoft Homepage, abgerufen unter URL: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561> (zitiert am 10.12.2015).

Microsoft X-Box Homepage, abgerufen unter URL: <http://www.xbox.com/de-DE/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one#fbid=tFFswnZUIAA> (zitiert am 10.12.2015).

Milgram, P. / Kishino, F. (1994): A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Paper, Vol. 77, No. 12, S. 1321-1329.

Milgram, P. / Takemura, H. / Utsumi, A. / Kishino, F. (1994): Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Proceeding of telemanipulator and telepresence technologies, S. 282-292.

NARVIS Forschungslabor Homepage, abgerufen unter URL: <http://campar.in.tum.de/Main/NarvisLabNew> (zitiert am 23.10.2015).

NARVIS Forschungslabor Homepage Projekt Magic Mirror, abgerufen unter URL: http://campar.in.tum.de/Chair/ProjectKinectMagicMirror_form (zitiert am 11.11.2015).

Navab, N. / Blum, T. / Wang, L. / Okur, A. / Wendler, T. (2012): First Deployments of Augmented Reality in Operating Rooms, in: IEEE Computer, Vpl. 45, No. 7, S. 48-55.

Nnodim, J. O. (1990): Learning human anatomy: by dissection or from prosection, in: Medical Education, Vol. 24, S. 389-395.

O'Byrne, P. J. / Patry, A. / Carnegie, J. A. (2008): The development of interactive online learning tools for the study of Anatomy, in: Medical Teacher, Vol. 30, S. 260-271.

Ong, S. K. / Shen, Y. / Zhang, J. / Nee, A. Y. (2011): Augmented reality in assistive technology and rehabilitation engineering, in: Furht, B. (Hrsg.): Handbook of Augmented Reality, S. 603-630.

Ozcelik, E. / Sengul, G. (2012): Gesture-based interaction for learning: Time to make the dream reality, in: British Journal of Educational Technology, Vol. 43, No. 3, S. 86-89.

LITERATURVERZEICHNIS

Park, J.S. / Chung, M.S. / Hwang, S.B. / Shin, B.S. / Park, H.S. (2006): Visible Korean Human: its techniques and applications, in: *Journal of Clinical Anatomy*, Vol. 19, No. 3, S.216-224.

Patel, K.M. / Moxham, B.J. (2008): The relationships between learning outcomes and methods of teaching anatomy as perceived by professional anatomists, in: *Journal of Clinical Anatomy*, Vol. 21, S.182-189.

Pereira, J. A. / Pleguezuelos, E. / Meri, A. / Molina-Ros, A. / Molina-Tomas, M. C. / Masdeu, C. (2007): Effectiveness of using blended learning strategies for teaching and learning human anatomy, in: *Medical Education*, Vol. 41, S. 189-195.

Ponce, B. A. / Jennings, J. K. / Clay, T. B. / May, M. B. / Huisingh, C. / Sheppard, E. D. (2014): Telementoring: Use of Augmented Reality in Orthopaedic Education, in: *The Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol. 96A, No. 10, S. 1-6.

Rasimah, C. / Ahmad, A. / Zaman, H. (2011): Evaluation of user acceptance of mixed reality technology, in: *Australasian Journal of Educational Technology*, Vol. 27, S. 1369-1387.

Sakellarriou, S. / Ward, B. M. / Charissis, V. / Chanock, D. / Anderson, P. (2009): Design and implementation of augmented reality environment for complex anatomy training: inguinal canal case study, in: Shumaker, R. (Hrsg.): *Virtual and mixed reality – systems and applications*, Vol. 5622, S. 605-614.

Sielhorst, T. / Feuerstein, M. / Navab, N. (2008): Advanced medical displays: A literature review of augmented reality, in: *Journal of Display Technology*, Vol. 4, No. 4, S. 451-467.

Snelling, J. / Sahai, A. / Ellis, H. (2003): Attitudes of medical and dental students to dissection, in: *Clinical Anatomy*, Vol. 16, No. 2, S. 165-172.

LITERATURVERZEICHNIS

Stanford, W. / Erkonen, W. E. / Caselli M. D. / Moran, B. D. / Easley, G. Carris, R. L. / Albanese, M. A. (1994): Evaluation of a computer-based programme for teaching cardiac anatomy, in: *Investigative Radiology*, Vol. 29, 248-252.

Sugand, K. / Abrahams, P. / Khurana, A. (2010): The anatomy of anatomy: A review for its modernization, in: *Anatomical Science Education*, Vol. 3, S. 83-93.

Squire, K. D. / Jan, M. (2007): Mad City Mystery: Developing Scientific Augmentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers, in: *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 16, No. 1, S. 5-29.

Swan, J. E. / Gabbard, J. L. (2005): „Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality“, Konferenzbeitrag zur 1. International Conference on Virtual Reality, HCI International, Las Vegas, USA, 2005.

Tam, M. D. B. S. / Hart, A. R. / Williams, S. / Heylings, D. / Leinster, S. (2009): Is learning anatomy facilitated by computer-aided learning? A review of the literature, in: *Medical Teacher*, Vol. 31, S. 393-396.

Thomas, R. G. / John, N. W. / Delieu, J. M. (2010): Augmented Reality for Anatomical Education, in: *Journal of Visual Communication in Medicine*, Vol. 33, No. 1, S. 6-15.

Tönnis, M. / Plecher, D. A. / Klinker G. (2013): Representing information – Classifying the Augmented Reality presentation space, in: *Computers & Graphics*, Vol. 37, S. 997-1011.

Unity 3D Homepage, abgerufen unter URL: <http://unity3d.com/5?gclid=CMHT9pTx0MkCFRLhGwodY94DYg> (zitiert am 10.12.2015).

Vasan, N. S. (2003): Management and delivery of the gross anatomy curriculum with decreased course time: the importance of structured teaching activities, in: *Medical Education*, Vol. 37, S. 479-480.

LITERATURVERZEICHNIS

Veltman, K. H. (1992): Leonardo da Vinci: Untersuchungen zum menschlichen Körper und Prinzipien der Anatomie, in: Schreiner, K. / Schnitzler, N. (Hrsg.): Gepeinigt, begehrt, vergessen – Symbolik und Sozialbezug des Körpers im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit, S. 287-308. Fink Verlag, München.

Venkatiah, J. (2010): Computer-assisted modules to enhance the learning of anatomy by dissection, in: Medical Education, Vol. 44, S. 489-526.

Verhoeven, B. H. / Verwijnen, G. M. / Scherpier, A. J. / van der Vleuten, C. P. (2002): Growth of medical knowledge, in: Medical Education, Vol. 36, S. 711-717.

Vogel, B. / Pettersson, O. / Kurti, A. / Huck, A. S. (2012): Utilizing gesture based interaction for supporting collaborative explorations of visualizations in TEL, in: Proceedings of the 2012 Seventh IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education.

Winkelmann, A. (2007): Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence, in: Medical Education, Vol. 41, S. 15-22.

Wojciechowski, R. / Cellary, W. (2013): Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments, in: Computers & Education, Vol. 68, S. 570-585.

Wu, H.-K. / Lee, S. W.-Y. / Chang, H.-Y. / Liang, J.-C. (2013): Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education, in: Computers & Education, Vol. 62, S. 41-49.

Xu, X. / Ke, F. (2014): From psychomotor to “motorpsycho”: learning through gestures with body sensory technologies, in: Educational Technology Research & Development, Vol. 62, S. 711-741.

Yip, G. W. / Rajendran, K. (2008): SnapAnatomy, a Computer-Based Interactive Tool for Independent Learning of Human Anatomy, in: Journal of Visual Communication in Medicine, Vol. 31, No. 2, S. 46-50.

LITERATURVERZEICHNIS

Yücel, K. / Gergin, S. / Ercan, İ / Kafa, M. İ. / Sarıkciöđlu, L. / Öztürk, H. / Tokem Ergür, M. İ. / Kaya, Y (2014): The evaluation of free anatomy applications for smartphones, in: International Journal of Experimental & Clinical Anatomy, Vol. 8, S. 37.

Zhu, E. / Hadadgar, A. / Masiello, I. / Zary, N. (2014): Augmented reality in healthcare education: an integrative review, in: Peer Journal (PeerJ), Vol. 2, S. 1-17.

8. ANHANG

8.1 TECHNISCHE DATEN DES MICROSOFT KINECT



Abbildung 35: Der Microsoft Kinect.¹⁶⁶



Abbildung 36: Der Microsoft Kinect V2.¹⁶⁷

Bestandteile	Kinect für Windows	Kinect für Windows V2
Farbkamera	640 x 480 @ 30 fps	1920 x 1080 @ 30 fps
Tiefenkamera	320 x 240	512 x 424
Anzahl aktive Benutzer	2	6
USB Anschluss	2.0	3.0
Benötigte Software	Windows 7, Windows 8	Windows 8, Windows 10

Tabelle 20: Technische Daten des Microsoft Kinect und Microsoft Kinect V2.¹⁶⁸

¹⁶⁶ Homepage URL: <http://www.takesontech.com/microsoft-shows-off-the-kinect-at-e3> (abgerufen am 10.12.2015).

¹⁶⁷ Homepage Microsoft X-Box URL: <http://www.xbox.com/de-DE/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one#fbid=tFFswnZUIAA> (abgerufen am 10.12.2015).

¹⁶⁸ Vgl. Homepage Microsoft URL: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561> (abgerufen am 10.12.2015).

8.2 FRAGEBOGEN DER PILOTSTUDIE ZUM MAGIC MIRROR

Bitte beantworten Sie folgende Fragen:

- 1) **Ich glaube, dass der Magic Mirror eine Hilfe für das Erlernen der menschlichen Anatomie darstellt.**

JA NEIN

- 2) **Wenn ich die Möglichkeit hätte, würde ich den Magic Mirror gerne ausprobieren.**

JA NEIN

- 3) **Ich finde die dargestellten CT-Bilder des Magic Mirror zu komplex.**

JA NEIN

- 4) **Ich würde mir weitere Darstellungen der menschlichen Anatomie in 3D wünschen.**

JA NEIN

- 5) **Im Bezug zu Frage 4, welche Darstellungen würden Sie sich wünschen?**

Bei Interesse an der weiteren Benutzung des Magic Mirrors, notieren Sie bitte Ihre Email Adresse:

(Ihre Email Adresse wird ausschließlich für die Kontaktaufnahme genutzt; keine Weitergabe an Dritte, keine Werbezwecke).

ANHANG

Zum Schluss bitten wir Sie, 3 weitere Fragen zu Ihrer Person zu beantworten:

Ihr Alter: _____

Ihr Geschlecht: Männlich Weiblich

Falls Sie vor dem Medizinstudium eine Ausbildung / ein Studium absolviert haben, welche/s?

8.3 LERNEINHEIT ANATOMIEATLAS DER EXPERIMENTELLEN STUDIE

Lerneinheit Anatomieatlas

„Ausgewählte Knochen, Muskeln und Bewegungen des Armes“*



**Ein Dissertationsprojekt der Chirurgischen Klinik Innenstadt der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

**von
Ina Seelbach**

*Folgende Seiten stammen aus: Paulsen, Waschke: Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Ausgabe 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München.
Mit freundlicher Genehmigung des Verlags Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München

ANHANG

Lieber Teilnehmer,
die folgenden Seiten thematisieren die **Knochen** des Armes sowie die Bewegungen der **Extension (Streckung)**, **Flexion (Beugung)**, **Pronation (Einwärtsdrehung)** und **Supination (Auswärtsdrehung)** des Unterarmes und der jeweiligen beteiligten **Muskeln**. Versuchen Sie, sich diese Inhalte einzuprägen. Sie haben dafür 20 Minuten Zeit. Anschließend erhalten Sie einen Fragebogen (Multiple Choice) zu diesen Inhalten.

Skelett der oberen Extremität

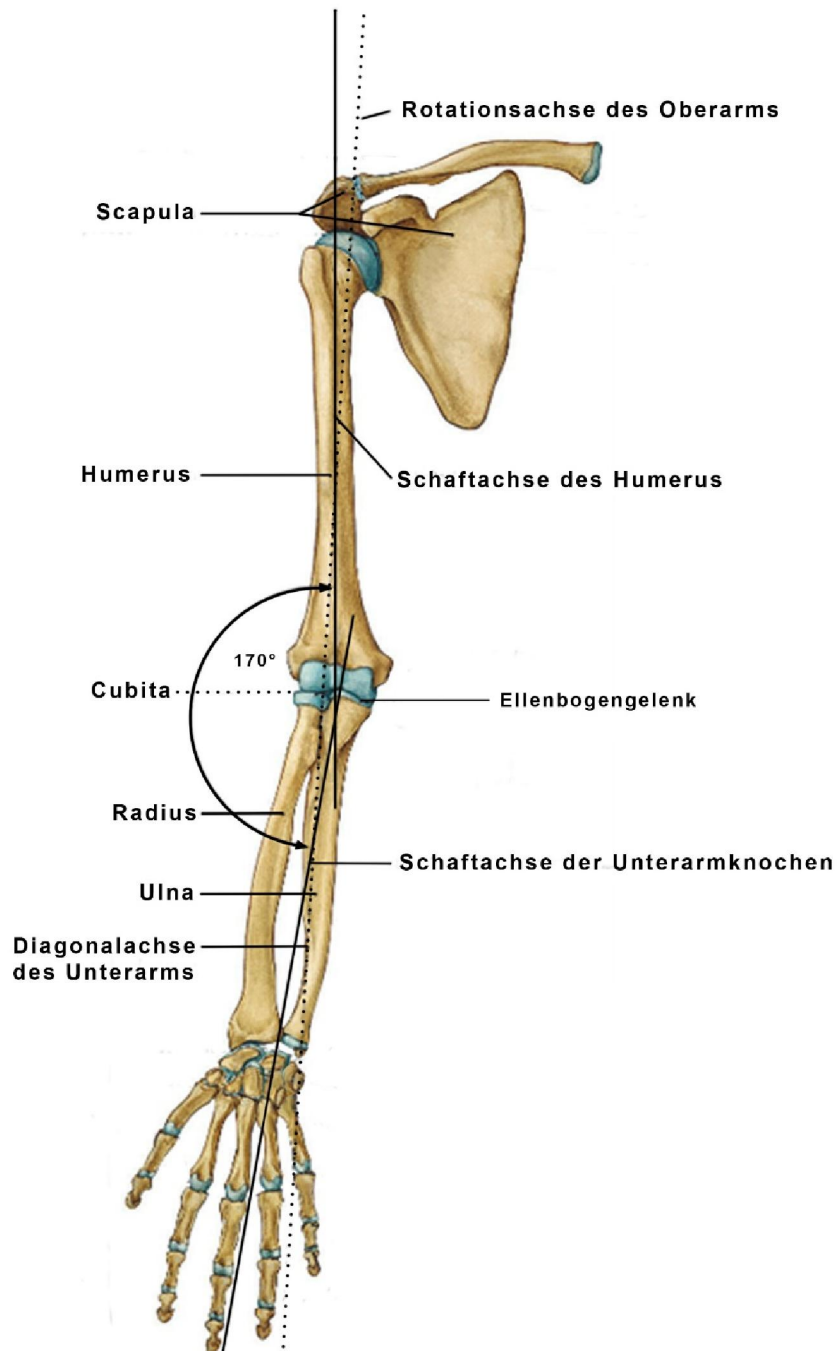


Abb. 3.8 Knochen und Gelenke der oberen Extremität, rechts; Ansicht von ventral (bauchwärts)

Ober- und Unterarm bilden ähnlich wie beim Bein einen nach lateral (von der Mitte weg) offenen **Armaußenwinkel** von 170°.

Die Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der Köpfe von Humerus und Ulna entspricht der Rotationsachse des Oberarms. Um die Diagonalachse des Unterarms wird die Wendebewegung (Pronation/Supination) des Radius um die Ulna durchgeführt.

Quelle: Aus: Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Ausgabe 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München

Ellenbogengelenk

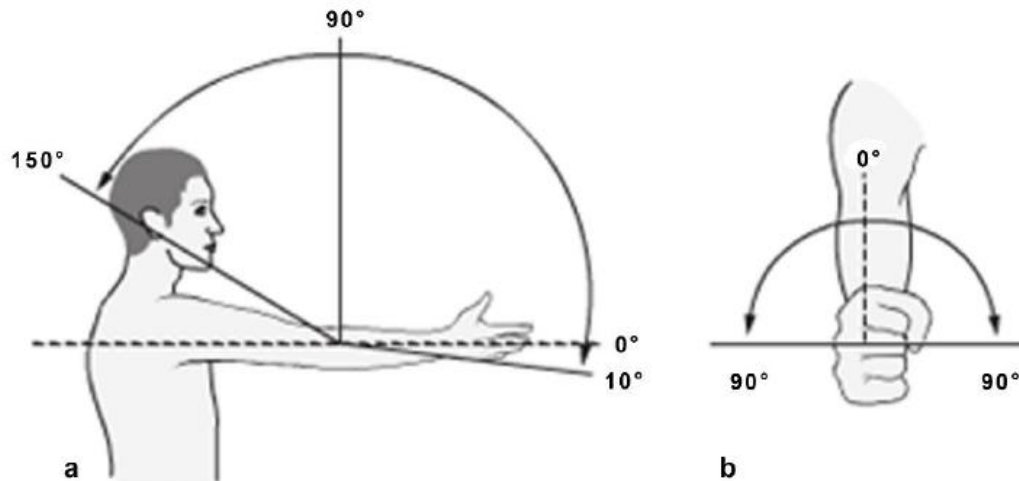


Abb. a und b Bewegungsumfang des Ellenbogengelenks (nach [1]).

Im Ellenbogengelenk werden Scharnierbewegungen zwischen Humerus und Ulna und zwischen Humerus und Radius sowie Drehbewegungen zwischen Humerus und Radius sowie Radius und Ulna durchgeführt. Daher verhalten sich die Teilgelenke zusammen wie ein **Drehscharniergelenk**. Das Humeroulnargelenk besitzt eine starke Knochenführung. Während die Beugung durch Weichteilhemmung durch die Oberarmbeuger limitiert wird, ist die Streckung durch Knochenhemmung des Olecranon begrenzt. Die Bewegungsachse des Scharniergelenks zieht transversal durch die Mitte der Trochlea humeri (a). Die Drehbewegung wird durch das

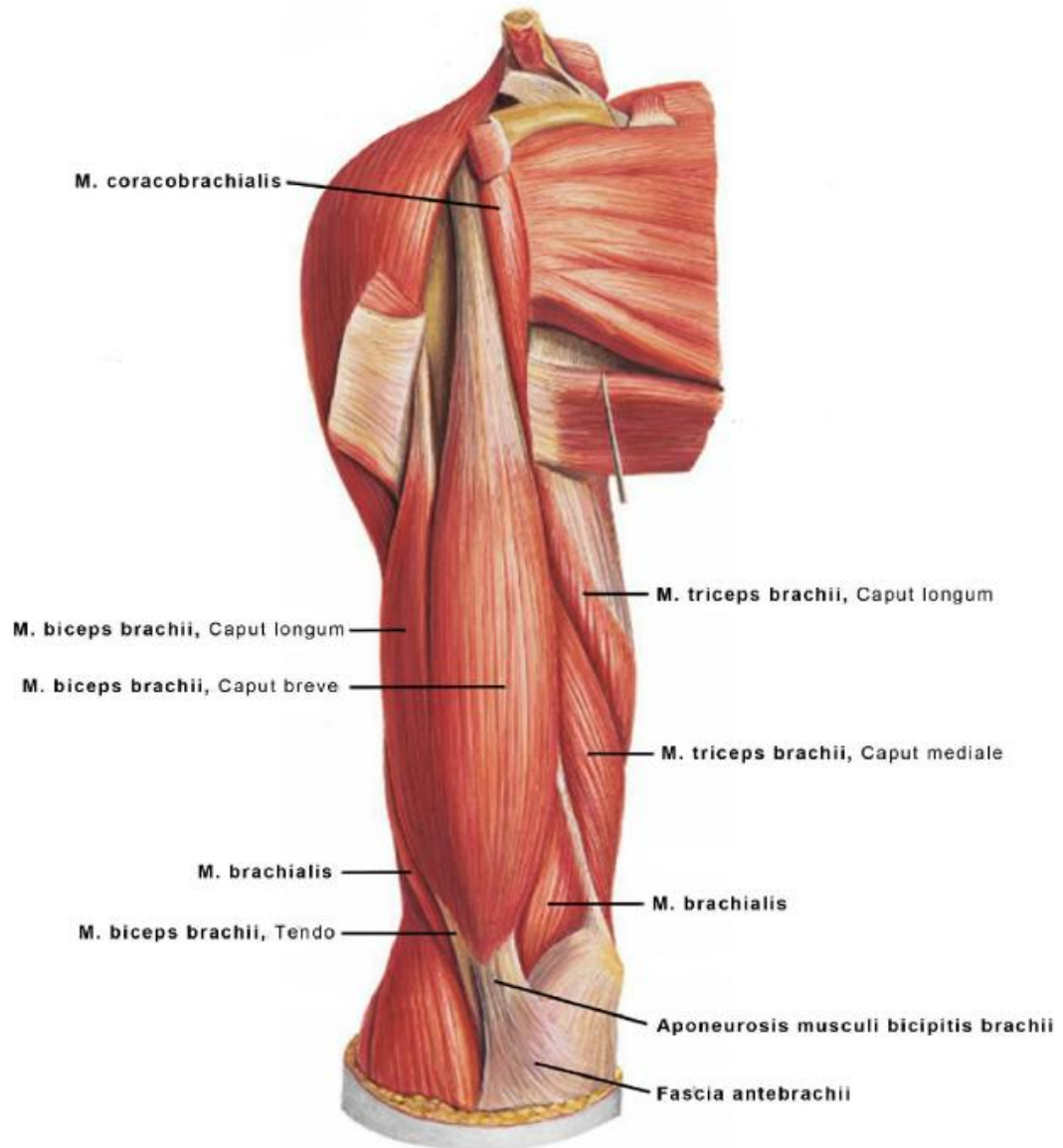
Lig. anulare radii gesichert (Bänderführung) (b). Bei dieser Wendebewegung, an der auch das distale (zum Ende der Gliedmaßen hin) Radioulnargelenk beteiligt ist, wird der Radius um die Ulna herumgeführt. Ausgehend von der Neutral-Null-Stellung, bei der der Daumen nach oben weist, kann der Unterarm bei dieser Wendebewegung supiniert (Handfläche zeigt nach oben) und proniert (Handfläche zeigt nach unten) werden.

Bewegungsumfang des Ellenbogengelenks:

Extension – Flexion: 10°-0°-150°

Supination – Pronation: 90°-0°-90°

Oberarmmuskeln

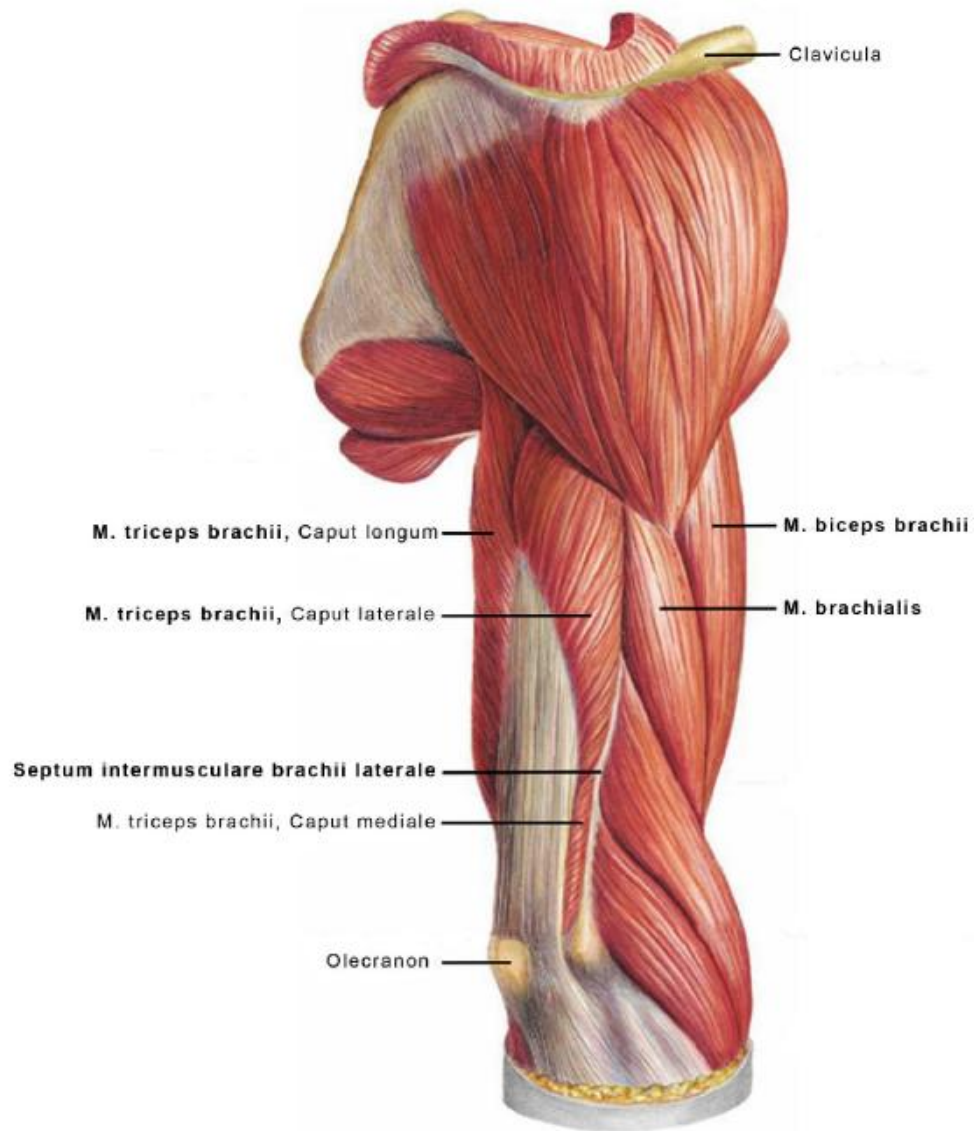


Ventrale (bauchseits) Muskeln des Oberarms, rechts; Ansicht von ventral.

Der M. (Musculus) coracobrachialis liegt medial (auf die Mitte zu) des M. biceps brachii. Der M. biceps brachii entspringt mit seinem Caput breve am Proc. coracoideus und mit dem Caput longum am Tuberculum supraglenoidale. Neben seinem

Hauptansatz an der Tuberositas radii zieht der M. biceps brachii mit seiner Aponeurosis musculi bicipitis brachii auch zur Unterarmfaszie (Fascia antebrachii). Unter dem M. biceps brachii liegt der M. brachialis, von dem man daher hier nur einen Teil seines Muskelbauchs beidseits der Ansatzsehne des M. biceps brachii erkennen kann.

Oberarmmuskeln



Dorsale (rückenseits) Muskeln von Schulter und Oberarm sowie ventrale (bauchseits) Muskeln des Oberarms, rechts; Ansicht von lateral dorsal (seitlich, rückenseits).

Der M. triceps brachii bedeckt die Rückseite des Oberarms nahezu vollständig. Hier sind nur das Caput

longum und das Caput laterale sichtbar, die das Caput mediale bedecken. Alle drei Bäuche setzen gemeinsam am Olecranon an. Getrennt durch das Septum intermusculare laterale schließen sich die Beugemuskeln (M. brachialis, M. biceps brachii) auf der Vorderseite an.

Oberarmmuskeln

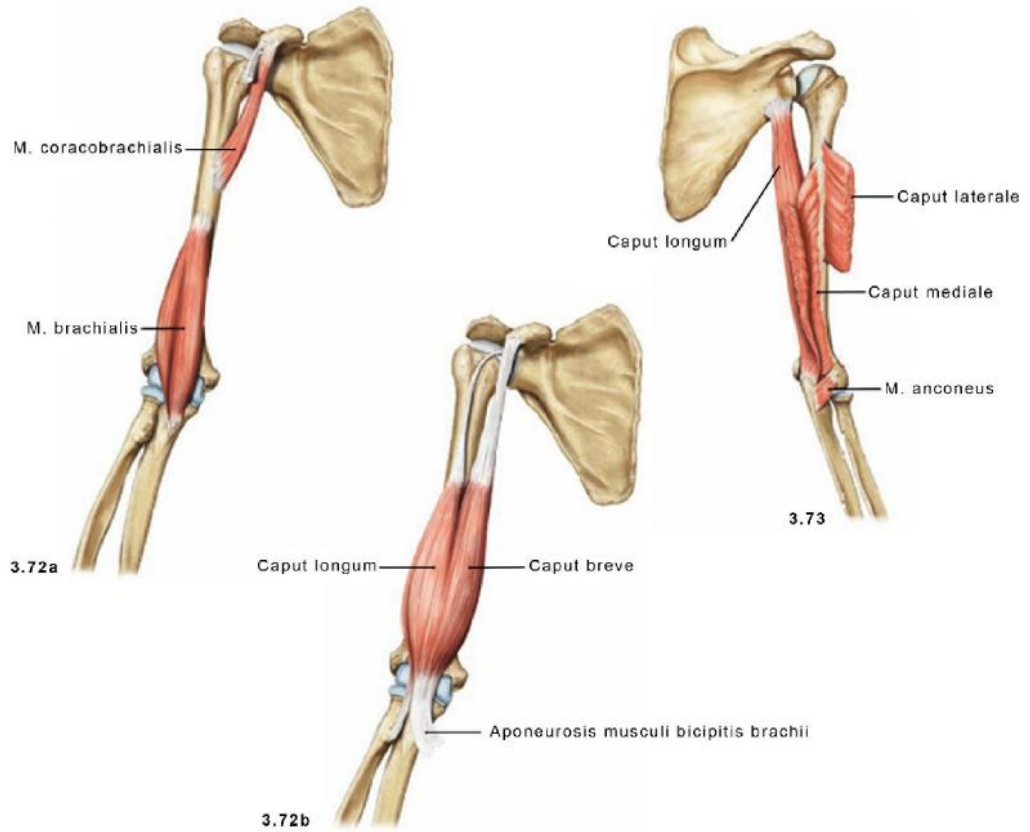


Abb. 3.72 a und b Ventrale (bauchseits) Muskeln des Oberarms, rechts; Ansicht von ventral.

a M. coracobrachialis und M. brachialis

b M. biceps brachii

Auf der Vorderseite des Oberarms liegt der M. coracobrachialis, der vom Proc. coracoideus entspringt und medial (auf die Mitte zu) am Humerus ansetzt. Der M. brachialis entspringt an der distalen (zum Ende der Gliedmaßen hin) Vorderfläche des Humerus und zieht zur Gelenkkapsel und zur Tuberositas ulnae. Er wirkt als starker Beuger („Brachialgewalt“) nur auf das Ellenbogengelenk.

Im Unterschied zu M. coracobrachialis und M. brachialis sind der M. biceps brachii und der M. triceps brachii (Abb 3.73), der den wichtigsten Muskel auf der Rückseite darstellt, **zweigelenkige Muskeln**, die Bewegungen in der Schulter und im Ellenbogengelenk vermitteln können. Der M. biceps brachii entspringt mit seinem Caput breve am Proc. coracoideus und hat daher die gleichen Funktionen wie der M. coracobrachialis. Das Caput longum entspringt am Tuberculum supraglenoidale der Scapula und hat

abduzierende Funktion. Entscheidend ist jedoch die Wirkung auf das Ellenbogengelenk. Durch seinen Ansatz an der Tuberositas radii ist der M. biceps brachii der **wichtigste Beuger im Ellenbogengelenk** und insbesondere in gebeugtem Zustand der **stärkste Supinator des Unterarms**.

Abb. 3.73 Dorsale (rückenseits) Muskeln des Oberarms, M. triceps brachii und M. anconeus, rechts; Ansicht von dorsal.

Auf der Rückseite des Oberarms liegt der M. triceps brachii, der mit seinem Caput longum vom Tuberculum infraglenoidale entspringt, während Caput laterale und mediale breitflächig von der Rückseite des Humerus ihren Ursprung nehmen. Neben seiner gering ausgeprägten Beteiligung an Adduktion und Retroversion im Schultergelenk ist er aufgrund seines Verlaufs bis zum Ansatz am Olecranon und seiner großen Masse der **wichtigste Strecker des Ellenbogengelenks**. Diese Funktion wird durch den M. anconeus geringfügig unterstützt, der vom Epicondylus lateralis des Humerus zum Olecranon und zur Rückseite der Ulna zieht.

Unterarmmuskeln

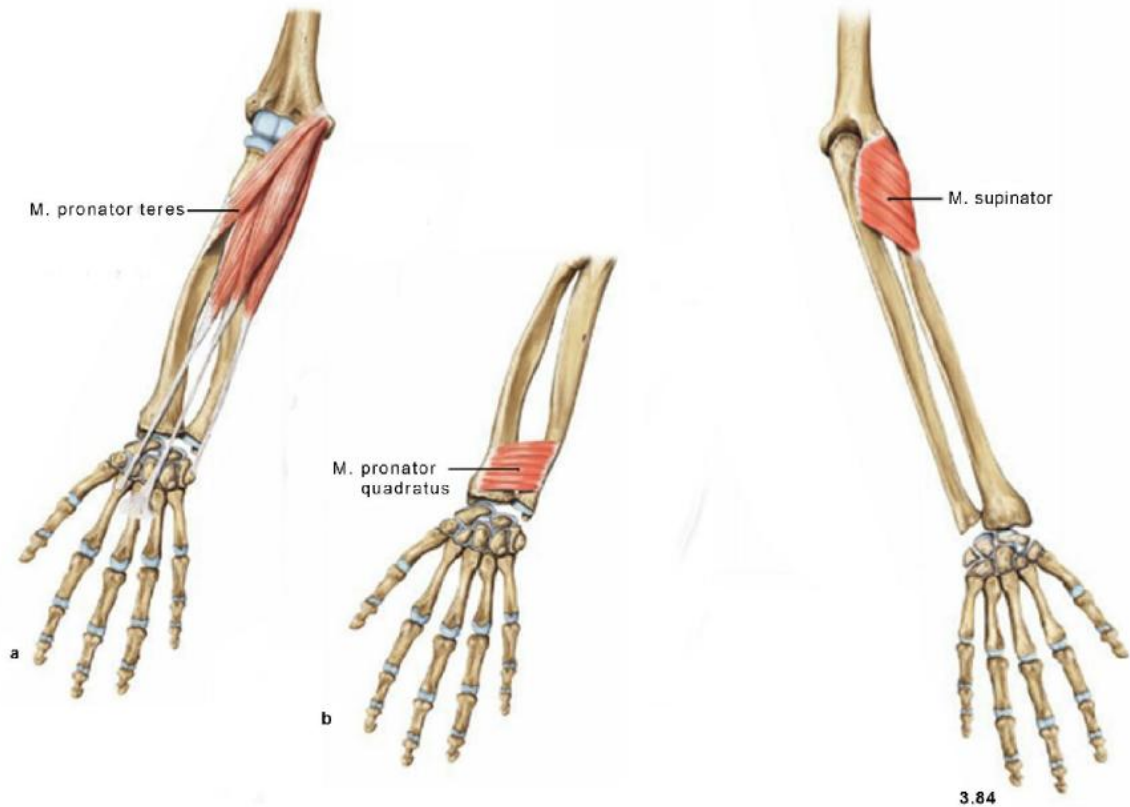


Abb. a Oberflächliche Schicht

Der M. pronator teres überquert die Diagonalachse des Unterarms und ist daher zusammen mit dem M. pronator quadratus, der in der tiefsten Schicht liegt, der wichtigste Pronator.

Abb. b Tiefste Schicht

Unter den Sehnen der langen Beugemuskeln verbindet der M. pronator quadratus die Vorderseiten von Ulna und Radius

Abb. 3.84 Dorsale Muskeln des Unterarms, rechts; Ansicht von dorsal (rückenseits).

Die tiefe Schicht der Strecker im Handgelenk besteht proximal (zum Körperzentrum hin) aus dem M. supinator der sich um den Radius windet. Er ist der stärkste Supinator bei gestrecktem Ellenbogengelenk.

ANHANG

Quellenangabe

[1] aus: Benninghoff-Drenckhahn: Anatomie, Band 1, (Drenckhahn, D., Hrsg.), 17. Aufl., Urban & Fischer, München 2004

8.4 FRAGEBOGEN DER EXPERIMENTELLEN STUDIE

Fragebogen



**Ein Dissertationsprojekt der Chirurgischen Klinik Innenstadt der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

**von
Ina Seelbach**

Bewertung

Wenn Sie an die von Ihnen soeben absolvierte Lerneinheit denken, wie hat Ihnen diese gefallen?

Bitte bewerten Sie folgende Aussagen durch das Ankreuzen der für Sie zutreffenden Meinung!

Motivation				
Der Anatomie Atlas / Der Magic Mirror...	Trifft <u>nicht</u> zu	Trifft <u>eher nicht</u> zu	Trifft <u>eher</u> zu	Trifft <u>voll</u> zu
... steigert meine Motivation, Anatomie zu lernen				
... bereitet mir Spaß beim Lernen				

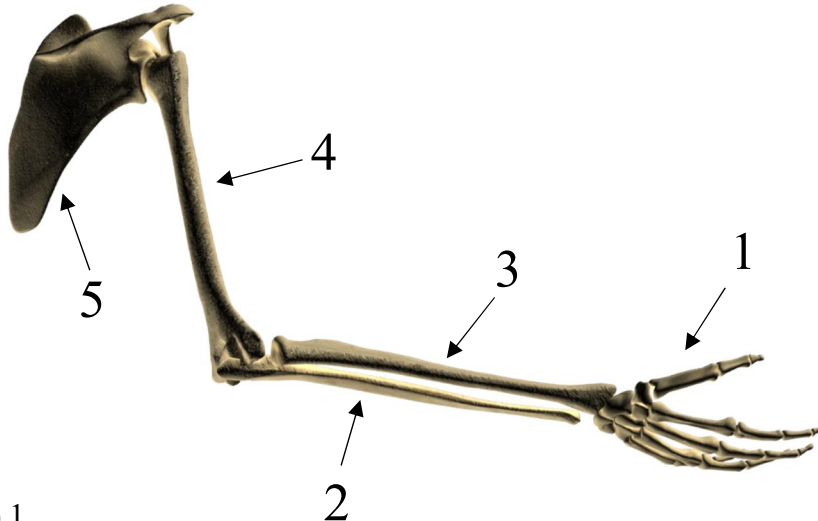
Qualität des Lernens				
Der Anatomie Atlas / Der Magic Mirror...	Trifft <u>nicht</u> zu	Trifft <u>eher nicht</u> zu	Trifft <u>eher</u> zu	Trifft <u>voll</u> zu
... fördert meine Aufmerksamkeit beim Lernen				
... liefert zu viele Informationen auf einmal				
... fördert aktives Lernen				
... hilft mir eigenständig zu lernen				
... liefert mir wichtiges Wissen				
... stellt die Anatomie übersichtlich dar				
... hilft mir das Wissen im Gedächtnis zu speichern				

Dimensionales Verständnis				
Der Anatomie Atlas / Der Magic Mirror...	Trifft <u>nicht</u> zu	Trifft <u>eher nicht</u> zu	Trifft <u>eher</u> zu	Trifft <u>voll</u> zu
... hilft mir dabei die Anatomie des Armes zu erlernen				
... fördert mein Verständnis für die unterschiedlichen Bewegungen des Armes				
... hilft mir die Funktion der einzelnen Muskeln zu erlernen				
... visualisiert die Funktion der einzelnen Muskeln				

Quiz

Bitte beantworten Sie folgende 10 Multiple-Choice Fragen. Bitte kreuzen Sie bei jeder Aufgabe eine, die Ihrer Meinung nach richtige, Antwortoption an!

1. Welche der folgenden Ziffern markiert den Knochen „Humerus“?



- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

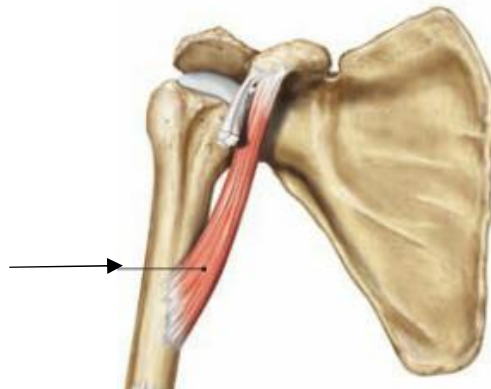
2. Welcher der folgenden Muskeln ist ein Strecker (Extensor) des Ellbogengelenks?

- (A) M. pronator teres
- (B) M. pronator quadratus
- (C) M. anconeus
- (D) M. supinator
- (E) M. biceps brachii

3. Das in Wirthäusern weit verbreitete „Armdrücken“ wird mit gebeugtem Ellbogengelenk durchgeführt. Welcher Muskel entfaltet in der Beugstellung die größte Kraft, um den gegnerischen Arm in der Startposition zu fixieren?

- (A) M. anconeus
- (B) M. coracobrachialis
- (C) M. biceps brachii
- (D) M. triceps brachii
- (E) M. pronator teres

4. Welcher Muskel ist in der Abbildung* mit einem Pfeil gekennzeichnet?



*Quelle: Aus: Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Ausgabe 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München

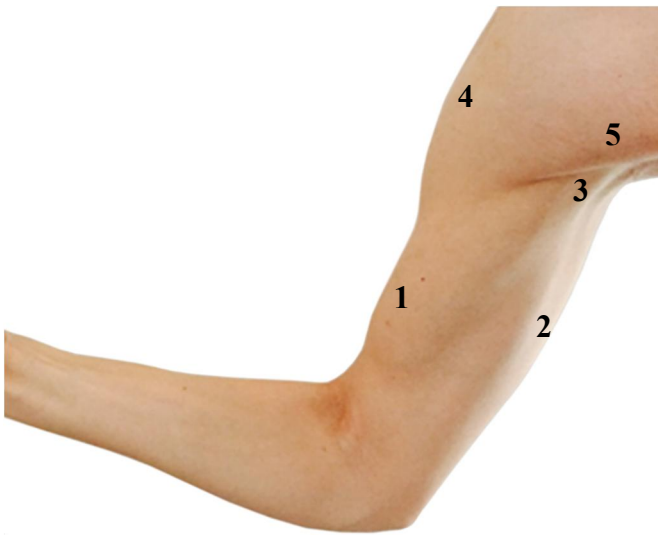
- (A) M. biceps brachii, Caput breve
- (B) M. biceps brachii, Caput longum

(C) M. brachialis

(D) M. coracobrachialis

(E) M. triceps brachii, Caput mediale

5. Der wichtigste Muskel für die Streckung (Extension) des Ellbogengelenks wird durch welche Zahl markiert?



(A) 1

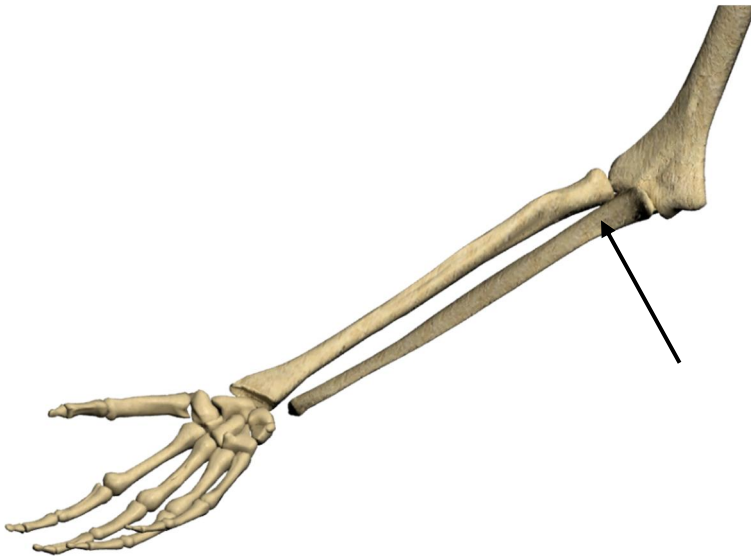
(B) 2

(C) 3

(D) 4

(E) 5

6. An die mit einem Pfeil markierte Struktur setzt folgender Muskel an?



- (A) M. brachialis
- (B) M. biceps brachii
- (C) M. coracobrachialis
- (D) M. pronator teres
- (E) M. triceps brachii

7. Das Ellbogengelenk führt welche der genannten Bewegungskombinationen aus?

- (A) Extension, Flexion, Radialabduktion, Ulnarabduktion
- (B) Anteversion, Retroversion
- (C) Extension, Flexion, Anteversion, Retroversion
- (D) Radialabduktion, Ulnarabduktion
- (E) Extension, Flexion, Pronation, Supination

8. Der M. pronator quadratus verbindet welche Knochen miteinander?

- (A) Humerus und Scapula
- (B) Humerus und Radius

- (C) Humerus und Ulna
- (D) Radius und Ulna
- (E) Humerus, Radius und Ulna

9. Der M. pronator teres verbindet welche Knochen miteinander?

- (A) Humerus und Scapula
- (B) Humerus und Radius
- (C) Humerus und Ulna
- (D) Radius und Ulna
- (E) Humerus, Radius und Ulna

10. Der M. supinator ist für welche der dargestellten Bewegung zuständig?

(A)



(B)



(C)



(D)



(A)

(B)

(C)

(D)

Demographische Daten

Zum Schluss bitten wir Sie weitere Fragen zu Ihrer Person zu beantworten:

Ihr Alter:

Ihr Geschlecht: Männlich Weiblich

Welche Lernmedien haben Sie in der Vergangenheit hauptsächlich benutzt (Mehrfachantworten sind möglich)?

- Bücher
- Internet
- Interaktive Lernprogramme

Was ist Ihre höchste Qualifikationsstufe?

- Schulische Ausbildung (Abitur, Fachabitur...)
- Ausbildung
- Hochschulstudium

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!!!

Bei Fragen zu diesem Dissertationsprojekt schreiben Sie an ina.seelbach@gmx.de

8.5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Erklärung
3D	Dreidimensional
%	Prozent
AA	Anatomicatlas
AR	Augmented Reality
BARETA	Bangor Augmented Reality Education Tool for Anatomy
Beob.	Beobachtete(r)
Bzw.	Beziehungsweise
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
CT	Computer Tomograph
Ggf.	Gegebenenfalls
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HMD	Head-Mounted Display
IBM	International Business Machines Corporation
IMPP	Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
M	Mittelwert
M.	Musculus
Menschl.	Menschlicher / menschliche / menschliches
MM	Magic Mirror
MRT	Magnet Resonanz Tomograph
MTA	Medizinisch-Technischer Assistent
MTRA	Medizinisch-Technisch-Radiologischer Assistent
N	Gesamtstichprobe
n	Teilstichprobe
NARVIS	Navigation and Augmented Reality Visualization System
PC	Personal Computer
<i>R</i>	Mittlerer Rang
R_{AA}	Mittlerer Rang der Experimentgruppe Anatomieatlas
R_{MM}	Mittlerer Rang der Experimentgruppe Magic Mirror
<i>r</i>	Pearson Chi-Quadrat

ANHANG

ρ (Rho)	Spearman's Rangkorrelationskoeffizient
s.	Siehe
SD	Standard Deviation
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TU	Technische Universität
TV	Television
u.a.	Unter anderen
USB	Universal Serial Bus
VR	Virtual Reality
\bar{x}	Mittelwert
\bar{x}_{AA}	Mittelwert der Experimentgruppe Anatomieatlas
\bar{x}_{MM}	Mittelwert der Experimentgruppe Magic Mirror
$\tilde{x}_{0,25}$	25% - Quantile
$\tilde{x}_{0,25 AA}$	25% - Quantile der Experimentgruppe Anatomieatlas
$\tilde{x}_{0,25 MM}$	25% - Quantile der Experimentgruppe Magic Mirror
$\tilde{x}_{0,75}$	75% - Quantile
$\tilde{x}_{0,75 AA}$	75% - Quantile der Experimentgruppe Anatomieatlas
$\tilde{x}_{0,75 MM}$	75% - Quantile der Experimentgruppe Magic Mirror
\tilde{x}	Median
\tilde{x}_{AA}	Median der Experimentgruppe Anatomieatlas
\tilde{x}_{MM}	Median der Experimentgruppe Magic Mirror
x_{\min}	Kleinste beobachtete Bewertung
$x_{\min AA}$	Kleinste beobachtete Bewertung der Experimentgruppe Anatomieatlas
$x_{\min MM}$	Kleinste beobachtete Bewertung der Experimentgruppe Magic Mirror
x_{\max}	Größte beobachtete Bewertung
$x_{\max AA}$	Größte beobachtete Bewertung der Experimentgruppe Anatomieatlas
$x_{\max MM}$	Größte beobachtete Bewertung der Experimentgruppe Magic Mirror
ZEUS	Zentrum für Unterricht und Studium

8.6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

8.6.1 ABBILDUNGEN

ABBILDUNG 1: DAS REALITY-VIRTUALITY-CONTINUUM VON P. MILGRAM UND F. KISHINO.	6
ABBILDUNG 2: DER MAGIC MIRROR PROTOTYP.	12
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER HARDWARE UND DES VERSUCHSAUFBAUS.	14
ABBILDUNG 4: USER INTERFACE DES PERSONALISIERTEN MAGIC MIRRORS.	15
ABBILDUNG 5: „ZOOM-IN“-FUNKTION DES PERSONALISIERTEN MAGIC MIRRORS.	17
ABBILDUNG 6: AUSZUG AUS DER LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPEN – TRANSVERSALE ANSICHT DES THORAX.	22
ABBILDUNG 7: AUSZUG AUS DER LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPEN – FRONTALE ANSICHT DES THORAX UND DES ABDOMENS.	22
ABBILDUNG 8: AUSZUG AUS DER LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPEN – SAGITTALE ANSICHT DES THORAX UND DES ABDOMENS.	23
ABBILDUNG 9: AUSZUG AUS DER LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPEN – ORGANAUSWAHL.	24
ABBILDUNG 10: AUSZUG AUS DER LERNEINHEIT DES MAGIC MIRROR PROTOTYPEN – „ORGAN-EXPLOSIONS-EFFEKT“.	24
ABBILDUNG 11: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: KNOCHEN.	30
ABBILDUNG 12: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: ÜBERBLICK ÜBER DIE MUSKULATUR DES OBERARMS.	31
ABBILDUNG 13: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. CORACOBRACHIALIS.	32
ABBILDUNG 14: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. BRACHIALIS.	32
ABBILDUNG 15: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. BICEPS BRACHII.	33
ABBILDUNG 16: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: FLEXOREN DES ELLBOGENGELENKS UND M. CORACOBRACHIALIS.	33
ABBILDUNG 17: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. TRICEPS BRACHII.	34
ABBILDUNG 18: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. ANCONEUS.	34
ABBILDUNG 19: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: EXTENSOREN DES ELLBOGENGELENKS.	35
ABBILDUNG 20: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: ÜBERSICHT MUSKELN DER PRONATION UND SUPINATION.	35
ABBILDUNG 21: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: ÜBERSICHT ÜBER DIE MUSKELN DER PRONATION UND SUPINATION.	36
ABBILDUNG 22: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. PRONATOR TERES.	36
ABBILDUNG 23: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. PRONATOR QUADRATUS.	37
ABBILDUNG 24: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: ÜBERSICHT ÜBER DIE MUSKELN DER PRONATION.	37
ABBILDUNG 25: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: M. SUPINATOR.	38
ABBILDUNG 26: LERNEINHEIT MAGIC MIRROR: ÜBERSICHT ÜBER DIE MUSKELN DER PRONATION UND SUPINATION.	38
ABBILDUNG 27: HISTOGRAMM DER ALTERSVERTEILUNG DER TEILNEHMENDEN PROBANDEN DES PROSPEKTIVEN RANDOMISIERTEN EXPERIMENTS.	45
ABBILDUNG 28: BOX-PLOTS DER EXPERIMENTGRUPPEN MM UND AA: BESSERE BEWERTUNG DES MM IN DER KATEGORIE <i>MOTIVATION</i> .	47
ABBILDUNG 29: BOX-PLOTS DER EXPERIMENTGRUPPEN MM UND AA: BESSERE BEWERTUNG DES MM IN DER KATEGORIE <i>QUALITÄT DES LERNENS</i> .	49
ABBILDUNG 30: BOX-PLOTS DER EXPERIMENTGRUPPEN MM UND AA: BESSERE BEWERTUNG DES MM IN DER KATEGORIE <i>DIMENSIONALES VERSTÄNDNIS</i> .	50

ANHANG

ABBILDUNG 31: BOX-PLOTS DER BEWERTUNG DES ITEMS „DER MAGIC MIRROR / DER ANATOMIEATLAS BEREITET MIR SPAß BEIM LERNEN“: BESSERE BEWERTUNG DES MAGIC MIRRORS.	55
ABBILDUNG 32: BOX-PLOTS DER BEWERTUNG DES ITEMS „DER MAGIC MIRROR / DER ANATOMIEATLAS FÖRDERT AKTIVES LERNEN“: BESSERE BEWERTUNG DES MAGIC MIRRORS.	58
ABBILDUNG 33: BOX-PLOTS DER BEWERTUNG DES ITEMS „DER MAGIC MIRROR / DER ANATOMIEATLAS VISUALISIERT DIE FUNKTION DER EINZELNEN MUSKELN“: BESSERE BEWERTUNG DES MAGIC MIRRORS.	60
ABBILDUNG 34: HISTOGRAMME DER GESAMTPERFORMANZ „QUIZ“ JE EXPERIMENTGRUPPE: ABSOLUTE HÄUFIGKEITEN DER ERZIELTEN RICHTIGEN ANTWORTEN.	61
ABBILDUNG 35: DER MICROSOFT KINECT.	106
ABBILDUNG 36: DER MICROSOFT KINECT V2.	106

8.6.2 TABELLEN

TABELLE 1: ERGEBNISSE FRAGEN 1-4 DER PILOTSTUDIE: POSITIVE RESONANZ DER PROBANDEN GEGENÜBER DES MAGIC MIRROR PROTOTYPEN.	26
TABELLE 2: ERGEBNISSE FRAGE 5 DER PILOTSTUDIE: VORSCHLÄGE DER PROBANDEN FÜR WEITERE DARSTELLUNGEN MITTELS DES MAGIC MIRRORS.	27
TABELLE 3: AUSGEWÄHLTE BEWEGUNGEN UND MUSKELN DES ARMES.	29
TABELLE 4: QUALIFIKATIONSTUFEN DER PROBANDEN.	45
TABELLE 5: HÄUFIG VERWENDETE LERNMITTEL VON PROBANDEN DER EXPERIMENTELLEN STUDIE.	46
TABELLE 6: MANN-WHITNEY-TEST DER KATEGORIE <i>MOTIVATION</i> : SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED IN DEN ERZIELTEN MITTLEREN RÄNGEN DER EXPERIMENTGRUPPEN MM UND AA.	48
TABELLE 7: MANN-WHITNEY-TEST DER KATEGORIE <i>QUALITÄT DES LERNENS</i> : SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED IN DEN ERZIELTEN MITTLEREN RÄNGEN DER EXPERIMENTGRUPPEN MM UND AA.	49
TABELLE 8: MANN-WHITNEY-TEST DER KATEGORIE <i>DIMENSIONALES VERSTÄNDNIS</i> : SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED IN DEN ERZIELTEN MITTLEREN RÄNGEN DER EXPERIMENTGRUPPEN MM UND AA.	51
TABELLE 9: PROZENTUALE HÄUFIGKEITEN JE ITEM DER KATEGORIE <i>MOTIVATION</i> .	52
TABELLE 10: PROZENTUALE HÄUFIGKEITEN JE ITEM DER KATEGORIE <i>QUALITÄT DES LERNENS</i> .	53
TABELLE 11: PROZENTUALE HÄUFIGKEITEN JE ITEM DER KATEGORIE <i>DIMENSIONALES VERSTÄNDNIS</i> .	53
TABELLE 12: MITTELWERTE JE ITEM DER KATEGORIE <i>MOTIVATION</i> .	54
TABELLE 13: MITTELWERTE JE ITEM DER KATEGORIE <i>QUALITÄT DES LERNENS</i> .	56
TABELLE 14: MITTELWERTE JE ITEM DER KATEGORIE <i>DIMENSIONALES VERSTÄNDNIS</i> .	59
TABELLE 15: MANN-WHITNEY-TEST DER GESAMTPERFORMANZ „QUIZ“: SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED IN DEN HÄUFIGKEITEN RICHTIGER MC-ANTWORTEN JE EXPERIMENTGRUPPE.	62
TABELLE 16: RELATIVE HÄUFIGKEITEN RICHTIG UND FALSCHER ANTWORTEN JE MC-FRAGE.	63
TABELLE 17: RANGKORRELATIONSKOEFFIZIENTEN VON ITEMS DER KATEGORIE <i>MOTIVATION</i> .	65

ANHANG

TABELLE 18: RANGKORRELATIONSKOEFFIZIENTEN VON ITEMS DER KATEGORIE <i>QUALITÄT DES LERNENS</i> .	65
TABELLE 19: RANGKORRELATIONSKOEFFIZIENTEN VON ITEMS DER KATEGORIE <i>DIMENSIONALES VERSTÄNDNIS</i> .	67
TABELLE 20: TECHNISCHE DATEN DES MICROSOFT KINECT UND MICROSOFT KINECT V2.	106

8.7 BISHER VERÖFFENTLICHTE TEILASPEKTE DIESER ARBEIT

Ma, M. / Jutzi, P. / Bork, F. / Seelbach, I. / Von der Heide, A. M. / Navab, N. / Fallavollita, P. (2016): Interactive mixed reality for muscle structure and function learning, in: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9805, S. 117-128.

Ma, M. / Fallavollita, P. / Seelbach, I. / Von der Heide, A. M. / Euler, E. / Waschke, J. / Navab, N. (2015): Personalized Augmented Reality for Anatomy Education, in: Clinical Anatomy, Vol. 29, No. 4, S. 446-453.

9. DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker für die Möglichkeit, die vorliegende Arbeit an der Klinik für Allgemeine-, Unfall-, Hand- und Plastische Chirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München durchzuführen.

Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. med. Ekkehard Euler für die Überlassung des Themas, die engagierte Betreuung und seine ständige Diskussions- und Hilfsbereitschaft bei allen Fragen in sämtlichen Phasen der Arbeit.

Ebenfalls möchte ich mich besonders bei Dr. med. Anna Maria von der Heide für ihre engagierte Betreuung, die stetige Hilfsbereitschaft sowie für die Unterstützung während der Durchführung der Pilot- und der experimentellen Studie bedanken.

Ein großer Dank geht an Philipp Jutzi für die technische Umsetzung des Projekts Magic Mirror und die Unterstützung während der Durchführung der experimentellen Studie. Auch bei den weiteren Mitarbeitern des NARVIS Labors möchte ich mich hiermit bedanken.

Ein weiterer Dank geht an Herrn Oliver Büttner vom Medical Rescue College sowie an Frau Dr. med. Gudrun Endres-Sowa und Herrn Jürgen Bachmeier der Walner Schulen für die Möglichkeit, einen Teil der experimentellen Studie an den jeweiligen Schulen durchzuführen.

Weiterhin möchte ich dem Elsevier Verlag für die Möglichkeit der Nutzung des Sobotta Anatomieatlas für die Durchführung der experimentellen Studie danken.

Ebenfalls möchte ich Herrn Sebastian Fischl für die graphischen Anregungen danken.

Meiner Familie und Florian danke ich für die uneingeschränkte Unterstützung während des gesamten Projekts.