



Fakultät VI für Medizin und Gesundheitswissenschaften der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin vorgelegte („Dr. med.“)

genehmigte Dissertation

Anwendung von Augmented-Reality-Devices in der anatomischen Lehre in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen in der medizinischen Lehre zur Leber (AR-rVo).

Vorgelegt von:

Christopher Josef Antonius Michael Strotmann

Geboren am 29.09.1991 in Osnabrück

Erster Betreuer: Prof. Dr. med. Dirk Weyhe

Zweite Betreuerin: Dr. rer. nat. Verena Nicole Uslar

Erster Gutachtender: Prof. Dr. Dr. Martin Maurer (Universität Oldenburg)

Zweiter Gutachtender: Prof. Dr. Gabriel Zachmann (Universität Bremen)

Tag der Disputation: 23.10.2025

Institution/Klinik:

Universitätsklinik für Viszeralchirurgie, Pius Hospital Oldenburg

Georgstraße 12

26129 Oldenburg

Inhaltsverzeichnis

I.	Danksagung	4
II.	Abkürzungsverzeichnis	5
III.	Abbildungsverzeichnis	6
IV.	Tabellenverzeichnis	7
IV.	Zusammenfassung/Abstract	8
V.	Summary/Abstract	10
1.	Einleitung und Wissenschaftlicher Hintergrund	12
2.	Forschungsfrage und Hypothese	18
3.	Projektziele	19
4.	Methodik und Durchführung	20
4.1.	Studiendesign	20
4.2.	Aufbau des Seminars	22
4.3.	Studienpopulation	24
4.4.	Beschreibung der Fragebögen	25
4.5.	Datenmanagement und Datenschutz	28
4.6.	Datenauswertung	29
5.	Ergebnisse	30
5.1.	Beschreibung der Populationscharakteristika	30
5.2.	Ergebnisse des Lernerfolgs in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen	33
5.3.	Ergebnisse des räumlichen Vorstellungsvermögens in Abhängigkeit von einer beruflichen Vorausbildung	36
5.4.	Ergebnisse des subjektiven Nutzens und zum Umgang mit der AR-Technik ..	37
6.	Diskussion	39

6.1.	Zusammenfassung	39
6.2.	Ergebnisdiskussion.....	40
6.3.	Methodendiskussion.....	44
7.	Schlussfolgerung	47
8.	Literatur	49
V.	Anhang	58
V.I.	Ethikvotum.....	58
V.II.	Eidesstattliche Erklärung	60
V.III.	Erklärung über Untersuchungen am Menschen.....	61
V.IV.	Erklärung zur Abgrenzung von anderen Prüfungsleistungen	62
V.V.	Erklärung, dass keine Vermittlungs- oder Beratungsdienste in Anspruch genommen wurden	63

I. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Doktorarbeit unterstützt haben.

Besonders danken möchte ich dabei Prof. Dr. med. Dirk Weyhe, Dr. rer. nat. Verena Nicole Uslar und PD. Dr. med. Veysel Ödemis für die hervorragende Betreuung der gesamten Arbeit. Sie standen mir bei der Finanzierung der Arbeit und auch während des Forschungs- und Schreibprozesses mit Rat und Tat zur Seite.

Mein weiterer Dank gilt den Mitarbeitenden der Forschungsgruppe der Universitätsklinik für Viszeralchirurgie am Pius Hospital Oldenburg. Hier vor allem Verena Weber und Sonja Janssen, die mich bei der technischen Durchführung der Studie unterstützt haben.

Außerdem möchte ich mich bei Dr. phil. Daniela Salzmann der Firma „apoQlar“ meinen Dank aussprechen, die mich im Rahmen meines Studiums bei meiner LFC-Arbeit unterstützt hat und damit die Grundlage für meine weitere Forschungstätigkeit gelegt hat.

Weiter danke ich meinen Schulfreund*innen und meinen Kommiliton*innen aus Oldenburg, die mir auch in schwierigen Zeiten immer wieder Mut zusprechen konnten und mich durch kreative Gespräche immer wieder auf neue Ideen brachten.

Meinen Eltern, Schwiegereltern, Geschwistern, Schwägerinnen, Schwägern, Nichten und Neffen möchte ich für ihre ganze Unterstützung auf meinem Lebensweg danken. Sie haben mich mit zu demjenigen gemacht, der ich heute bin und der es mir ermöglicht hat diese Arbeit überhaupt zu verfassen.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Frau Katharina Wagener bedanken. Sie ist mit mir durch alle Höhen und Tiefen des Studiums und meiner Forschungsarbeiten gegangen. Dabei hatte sie immer ein offenes Ohr für meine Probleme, hat unzählige Skripte Korrektur gelesen und mir dabei den Rücken freigehalten.

II. Abkürzungsverzeichnis

- 3D-Modelle = Drei-Dimensionale-Modelle
- AR = Augmented Reality
- AR-Brille = Augmented-Reality-Brille (in dieser Studie HoloLens 2 der Firma Microsoft)
- AR-Device = Augmented-Reality Gerät (z.B. eine AR-Brille)
- CT = Computertomographie
- GVVT = Guay's visualization of viewpoints-Test
- HMD = Head-Mount-Display (z. B. HoloLens 2 der Firma Microsoft)
- IQR = Interquartilrange
- M = Mittelwert/Mean
- MC-Fragen = Multiple-Choice-Fragen (mehrere Antwortmöglichkeiten mit einer richtigen Antwort, falls nicht anders angegeben mit 5 Antwortmöglichkeiten)
- Mixed-Reality = Mischung zwischen Augmented- und Virtual-Reality
- MRT = Magnetresonanztomographie
- SD = standard deviation = Standardabweichung
- VR = Virtual Reality

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (adaptiert von Milgram <i>et al.</i>) (18)	14
Abbildung 2: AR-Brille "HoloLens 2" der Firma Microsoft, Copyright ApoQlar	14
Abbildung 3: Hologramm eines segmentierten Lebermodells durch HoloLens 2	15
Abbildung 4: Studierende im Studienseminar mit AR-Brillen	22
Abbildung 5: Flussdiagramm des Studienaufbaus	24
Abbildung 6: Beispielabbildung des GVVT (46, 47)	27
Abbildung 7: Streudiagramm von der Differenz der richtig beantworteten MC-Fragen im Prä- und Posttest in Abhängigkeit vom GVVT-Score	34
Abbildung 8: Boxplot der Anzahl richtig beantworteter MC-Fragen im Prä- und Posttest mit gutem und schwachem räumlichem Vorstellungsvermögen anhand des GVVT-Scores	35
Abbildung 9: Boxplot vom GVVT-Score bezogen auf eine berufliche Vorausbildung....	36

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Baseline-Tabelle	31
Tabelle 2: Verwendung von Sehhilfen und Farbfehlensichtigkeit.....	33
Tabelle 3:Repeated Measure ANOVA der Anzahl richtig beantworteter MC-Fragen im Prä- und Post-Test in Abhängigkeit der kategorialen Einteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens anhand des GVVT-Scores.....	36
Tabelle 4: Mann-Whitney-U-Test: Räumliches Vorstellungsvermögen und Vorausbildung	37
Tabelle 5: Subjektiver Nutzen und Umgang mit der AR-Brille	38

IV. Zusammenfassung/Abstract

Hintergrund: Die Vermittlung der Anatomie des menschlichen Körpers steht im Mittelpunkt der medizinischen Ausbildung. Dabei sind effiziente und individuelle Lernmethoden notwendig. Eine mögliche Verbesserung der Lerneffizienz kann durch das Lernen mit Augmented-Reality (AR) Brillen, wobei Lernende sich aktiv mithilfe von Hologrammen mit dem Lernstoff auseinandersetzen, erzielt werden.

Ziele: Es wird untersucht, ob das räumliche Vorstellungsvermögen bei Medizinstudierenden einen Einfluss auf den Lernerfolg in der Leberanatomie bei der Verwendung von AR-Brillen hat. Weiter wurde untersucht, ob eine absolvierte Vorausbildung einen Einfluss auf das räumliche Vorstellungsvermögen der Medizinstudierenden hat.

Methode: In dieser prospektiven Kohortenstudie mit einem Test-Retest-Design absolvierten 39 Studierende der Humanmedizin in Oldenburg einen Prätest mit Wissensfragen zur Leberanatomie (MC-Fragen). Danach erfolgte ein AR-Seminar zur Leberanatomie und abschließend ein erneuter Test mit MC-Fragen, ein Test des räumlichen Vorstellungsvermögens (GVVT), des stereoskopischen Sehens (Titmus-Test), einer subjektiven Einschätzung des Nutzens von AR und demographischer Daten. Die Auswertung der Daten erfolgte mittels uni- bi- und multivariater Analysen ($\alpha=0,05$, α -Korrektur nach Benjamini-Hochberg).

Ergebnisse: Die Studierenden hatten signifikant mehr richtig beantwortete MC-Fragen im Post- als im Prä-Test ($p<0,001$). Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Testphasen und den Gruppen mit gutem und schwachem räumlichem Vorstellungsvermögen anhand des GVVT. Es gab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Differenz der richtig beantworteten MC-Fragen der Testphasen und dem GVVT. Das räumliche Vorstellungsvermögen war nicht abhängig von einer beruflichen Vorausbildung. Alle Teilnehmenden gaben an, dass ihnen das Lernen mit AR Spaß machte. Laut eigenen Angaben verbesserte sich ihr räumliches Verständnis für Anatomie (94,8%, n=37), Stimulation des aktiven Lernens (97,8%, n=38) und Steigerung der Motivation Anatomie zu lernen (89,7%, n=35).

Schlussfolgerung: Der Lerneffekt beim Lernen der Leberanatomie mit einer AR-Brille hing nicht vom räumlichen Vorstellungsvermögen ab und das räumliche Vorstellungsvermögen war nicht abhängig von einer beruflichen Vorausbildung. Subjektiv steigerte AR die Freude beim Lernen, verbesserte das räumliche Verständnis für Anatomie, stimmulierte das aktive Lernen und verbesserte die Motivation Anatomie zu lernen. Zu den Einschränkungen der Studie gehörte der zeitliche Ablauf des Prä- und Posttests zu den regulären Anatomieveranstaltungen, technische Schwierigkeiten, Symptome der Simulatorkrankheit und eine zu kurze Interventionsdauer mit AR.

V. Summary/Abstract

Background: Teaching the anatomy of the human body is at the centre of medical training. This requires efficient and individualised learning methods. A possible improvement in learning efficiency can be achieved through learning with augmented reality (AR) glasses, whereby learners actively engage with the learning material with the help of holo-grams.

Objectives: It is investigated whether the spatial imagination of medical students has an influence on the learning success in liver anatomy when using AR glasses. It was also investigated whether prior training has an influence on the spatial visualisation skills of medical students.

Methods: In this prospective cohort study with a test-retest design, 39 students of human medicine in Oldenburg completed a pre-test with knowledge questions on liver anatomy (MC questions). This was followed by an AR seminar on liver anatomy and finally another test with MC questions, a test of spatial visualisation (GVVT), stereoscopic vision (Titmus test), a subjective assessment of the benefits of AR and demographic data. The data was evaluated using univariate and multivariate analyses ($\alpha=0.05$, α -correction according to Ben-Jamini-Hochberg).

Results: The students had significantly more correctly answered MC questions in the post-test than in the pre-test ($p<0.001$). There was no statistically significant difference between the test phases and the groups with good and poor spatial reasoning ability using the GVVT. There was no statistically significant correlation between the difference in correctly answered MC questions in the test phases and the GVVT. Spatial imagination was not dependent on prior vocational training. All participants stated that they enjoyed learning with AR. According to their own statements, their spatial understanding of anatomy (94.8%, n=37), stimulation of active learning (97.8%, n=38) and increased motivation to learn anatomy (89.7%, n=35) improved.

Conclusion: The learning effect of learning liver anatomy with AR glasses did not depend on spatial imagination and spatial imagination was not dependent on prior professional training. Subjectively, AR increased the enjoyment of learning, improved the spatial understanding of anatomy, stimulated active learning and improved the motivation to learn anatomy. Limitations of the study included the timing of the pre- and post-test to the regular anatomy sessions, technical difficulties, symptoms of simulator sickness and too short an intervention period with AR.

1. Einleitung und wissenschaftlicher Hintergrund

Im Rahmen eines Humanmedizinstudiums wird mittels vorklinischer Fächer eine wichtige Grundlage für das spätere medizinische Verständnis gelegt. Gerade zu Beginn des Studiums ist die Arbeitsbelastung eines Humanmedizinstudierenden jedoch oft hoch, und vielen Studierenden fällt es schwer, das dabei erlangte eher theoretische, vorklinische Wissen im späteren Studienverlauf auf klinische Patientenfälle zu übertragen (1, 2). Eines dieser vorklinischen Fächer ist die Lehre der Anatomie.

In der medizinischen Ausbildung kommt dem Studium der Anatomie, d.h. die Lehre und die Wissenschaft der Zusammensetzung und Struktur des menschlichen Körpers, eine wichtige Rolle zu. Die Studierenden setzen sich mit der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie des Körpers auseinander und versuchen die Topographie von Strukturen zu verstehen. Letzteres ist für viele Medizinstudierende eine Herausforderung, da ein Teil des Lernens anhand von zweidimensionalen Abbildungen in Büchern und Manuskripten erfolgt. Um die topographischen Beziehungen der Organe und Gewebe besser zu verstehen, wird eine anatomische Dissektion an Körperspendern durchgeführt. Die Zeit sowie die Anzahl der Kurse im Präparationssaal sind jedoch oft begrenzt, und die Vorbereitung von Körperspendern ist sehr zeitintensiv. Des Weiteren kann ein solcher Kurs in der Regel nur einmal von den Medizinstudierenden belegt werden (3, 4).

Im Sinne eines nachhaltigen Lernens anatomischer Fakten gilt es demnach, die Lerneffizienz zu steigern. Zu diesem Zweck wurden in den letzten Jahren viele verschiedene Methoden untersucht (1). Dabei findet sich immer wieder der Begriff des aktiven Lernens, der mit verbessertem Lernen und Gedächtnis in Verbindung gebracht wird (5). Markant *et al.* charakterisierte das aktive Lernen wie folgt: „Some combination of increased physical activity or interaction, deeper processing, elaboration or explanation of material, planning of learning activities, question asking, metacognitive monitoring, and social collaboration“ (5; Markant D.B. *et al.*, 2016, S.142). Diese Beschreibung der Lerntheorie des konstruktivistischen Lernens geht davon aus, dass Lernen ein aktiver Prozess ist, bei dem der Lernende aktiv nach Informationen sucht. In einer komplexen Interaktion mit dem

Lernstoff schaffen diese Informationen folglich Wissen und ein tieferes Verständnis (6–8). In den letzten Jahren wurde der Einsatz von Virtual Reality (VR)- und Augmented Reality (AR)-Geräten zunehmend als ein Konzept des aktiven Lernens in der anatomischen und klinischen Lehre eingesetzt. Sie gilt als wichtige Ergänzung zum traditionellen Unterricht (9–15) und kann den Lernprozess unterstützen und verbessern. So hat beispielsweise eine Metaanalyse von Bogomolova *et al.* gezeigt, dass Lernende, die in der Lage dazu waren, dreidimensionale Modelle aktiv zu manipulieren, die größte Verbesserung des anatomischen Wissens gezeigt haben (15). Eine weitere Meta-Analyse aus dem Jahr 2024 von García-Robles *et al.* inkludierte 15 Studien in denen AR angewendet wurde. Forrestblots zeigten hier einen anatomischen Lernzuwachs bei den Studienteilnehmenden und wurde als nützliches Hilfsmittel beim Lernen angesehen (16).

Virtual Reality bringt den Anwendenden in eine virtuell erstellte Umgebung, mit der er interagieren kann. Der Anwendende taucht in eine virtuelle Welt ein, die mit einer VR-Brille erzeugt wird. Die Manipulation des virtuellen Raums erfordert üblicherweise Sensoren in der Hand des Benutzers (17).

Augmented Reality erweitert die Realität für die Benutzenden und projiziert virtuelle Objekte in eine reale Umgebung. Azuma *et al.* definiert AR-Systeme über drei Aspekte: (1) Eine Kombination von realen und virtuellen Objekten, (2) Interaktiv und in Echtzeit und (3) Registrierung in 3D (dreidimensional) (18). Laut Milgram *et al.* gehört AR zu einem Kontinuum von realen zu virtuellen Umgebungen (siehe Abbildung 1) (19). Bei den AR-Systemen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Mit einer so genannten AR-Brille können beispielsweise anatomische Modelle für den Anwendenden im realen Raum erstellt werden. Die AR-Brille gilt dabei als Head-Mounted-Display (HMD) und die Modelle können mit den Händen des Anwendenden ohne Sensoren manipuliert werden. Typischerweise zeichnen AR-Brillen die Bewegungen mit einer integrierten Kamera auf (20). Ein Beispiel für eine AR-Brille ist die HoloLens 2 der Firma Microsoft (siehe Abbildung 2).

Eine andere Möglichkeit zur Erweiterung der Realität sind Handheld-AR-Technologien. Dabei sieht der Anwendende die reale Umgebung durch die Kamera eines mobilen Endgerätes (z.B. eines Mobiltelefons oder eines Tablets), bei dem auf dem Display virtuelle

Objekte in die Umgebung projiziert werden. Die Interaktion mit den Objekten läuft dabei über das Touchdisplay des mobilen Endgerätes (21).

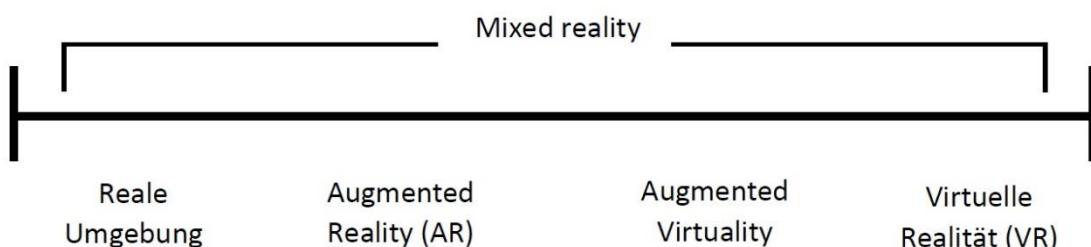


Abbildung 1: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (adaptiert von Milgram *et al.*) (19)



Abbildung 2: AR-Brille "HoloLens 2" der Firma Microsoft, Copyright ApoQlar

In der medizinischen Lehre werden segmentierte 3D-Modelle benutzt, die häufig aus radiologischen Schnittbildern (vor allem mittels Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT)) erstellt werden. Bei der digitalen Segmentierung dieser Bilder werden Bildteile einem Objekt zugeordnet und damit klare Grenzen der einzelnen Bildbestandteile sichtbar. Mit 3D-Modellen der Leber lassen sich dadurch

beispielsweise Parenchym, Arterien, Venen, Gallengänge und Tumore der Organe von einander unterscheiden (siehe Abbildung 3) (22).

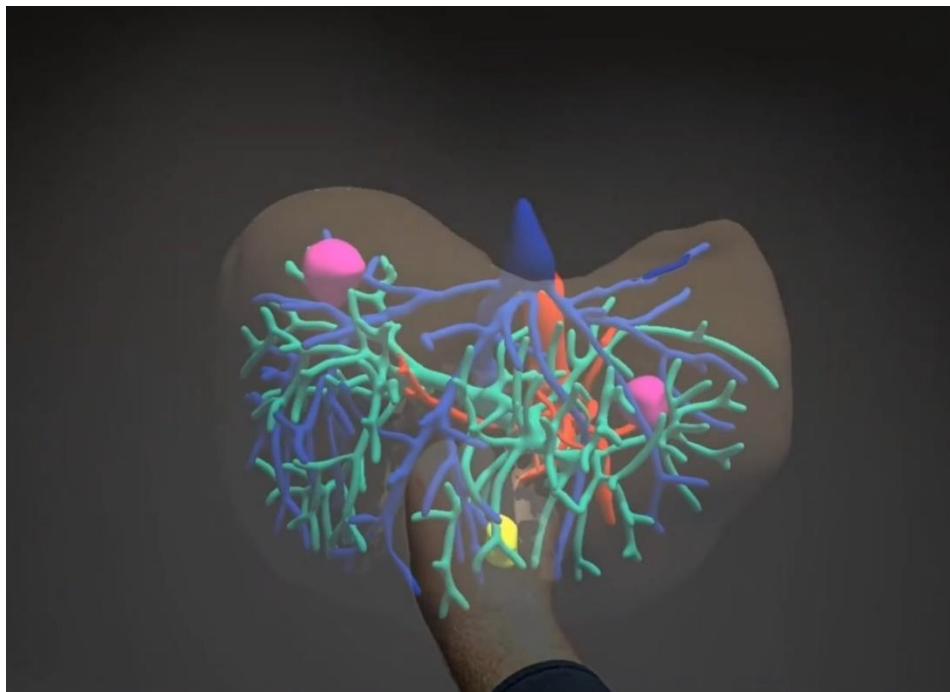


Abbildung 3: Hologramm eines segmentierten Lebermodells durch HoloLens 2

Der Mehrwert der VR- und AR-Technologie ist Gegenstand vieler laufender Forschungsprojekte. Der größere Anteil beschäftigt sich mit dem Einsatz von VR-Geräten in präklinischer und klinischer Lehre. In der Arbeit von Uruthiralingam *et al.* gab es insgesamt 56 Studien, die sich mit dem Einsatz von VR-Technologie in anatomischen Lehrveranstaltungen beschäftigten. Demgegenüber gab es nur 31 Studien zum Einsatz der AR-Technologie (23).

Eine Studie von Müller-Stich *et al.* zeigte beispielsweise bezüglich der Leberanatomie eine Steigerung des Wissens und eine schnellere Beantwortung von Fragen mittels dreidimensionaler Bilder im Vergleich zu den konventionellen Lehrmethoden (24). Andere Studien haben sich mit AR-Lernmethoden für die Anatomie des Bewegungsapparates befasst. Unter anderem verglichen Ferrer-Torregrosa *et al.* den Effekt eines AR-Tools im Vergleich zum Ansehen eines Lehrvideos oder der alleinigen Verwendung von

Lehrskripten bei Studierenden, die die Muskulatur des Fußes erlernen sollten. Dabei konnte die AR-Gruppe im Wissenstest besser abschneiden (11).

In der Literatur gibt es demnach einige Hinweise auf einen signifikant verbesserten Lernprozess und ein verbessertes Abrufen von anatomischem Wissen durch die Verwendung der AR-Technologie (23, 25). Weitere positive Lernaspekte sind eine Verbesserung der Visualisierung, körperliche Interaktion mit den Lerninhalten, Fokussierung der Aufmerksamkeit, mobiles Lernen, die Verwendung von sich selbst als Lernobjekt und eine Verbesserung der intrinsischen Motivation (23, 25).

Im Zusammenhang mit der Verwendung von AR und VR kann die sogenannte Simulatorkrankheit oder auch „Cybersickness“ auftreten (26). Die Symptome ähneln dabei der Reisekrankheit und können Schwindel, Müdigkeit, Schläfrigkeit, Übelkeit, Kopfschmerzen und allgemeines Unwohlsein sein (27). Eine mögliche Erklärung dafür liefert die sensorische Konflikttheorie. Es tritt dabei, ähnlich der Reisekrankheit, ein Ungleichgewicht zwischen sensorischen Reizen des Simulators und den Sinneseindrücken der realen Welt auf (28, 29). Bei der Simulatorkrankheit stehen aber vor allem durch die visuellen Reize hervorgerufene Symptome im Vordergrund, wie Übelkeit, (Dreh-)Schwindel, Verwirrung und Schläfrigkeit (27, 30, 31). Vovk *et al.* zeigte, dass die Beschwerden durch die Simulatorkrankheit bei VR mehr im Vordergrund stehen, jedoch auch in schwächerer Form bei der Verwendung von AR-Brillen auftreten können (26).

Die neuropsychologische Arbeit von Verhoef *et al.* zeigte, dass beim Sehen von stereoskopischen, dreidimensionalen Modellen andere Neurone aktiviert werden als bei zweidimensionalen Bildern (32). Das stereoskopische Sehen, oder auch das räumliche Sehen, spielt bei vielen kognitiven Prozessen eine Rolle, unter anderem bei der sensomotorischen Transformation (beim Greifen und Erfassen von Gegenständen), sowie bei der Segmentierung der Umwelt und der Objekterkennung (33). Dabei werden vor allem zwei neuronale Wege beschrieben. Zum einen der dorsale visuelle Pfad, von dem angenommen wird, dass er vor allem für visuell geführte Aktionen verantwortliche ist, wie z.B. das Greifen nach einem Gegenstand (34). Zum anderen gibt es den ventralen visuellen Pfad, welcher eine wichtige Rolle bei der Identifikation und Kategorisierung von

Objekten spielt. Dieser projiziert in den primären visuellen Cortex sowie in weitere visuelle Assoziationszentren des Okzipitallappens und in den anterior inferioren temporalen Cortex (34–36).

Die Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen ist allerdings nicht bei allen Menschen gleichermaßen ausgeprägt. Abhängig von der herangezogenen Literatur weisen 5-30% der Bevölkerung nur eine moderate bis schwache Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen auf. Der Grund dafür ist bis heute noch nicht ganz geklärt (37).

In den naturwissenschaftlichen Fächern wird das räumlichen Vorstellungsvermögen als einen Prädiktor für bessere Leistungen angesehen (38, 39). Das räumliche Vorstellungsvermögen wird dabei als eine Fähigkeit, Gegenstände und Strukturen mental im dreidimensionalen Raum zu manipulieren, definiert (40). In der anatomischen Lehre ist diese Fähigkeit besonders wichtig, vor allen Dingen, um komplexe Strukturen und topografische Gegebenheiten zu begreifen (41). Mit diesem Hintergrund kann der Einsatz von AR insbesondere für Menschen mit schlechteren Fähigkeiten zum räumlichen Sehen hilfreich sein. Huk *et al.* und Garg *et al.* beispielsweise zeigten, dass Schüler und Studierende mit schwächerem räumlichem Vorstellungsvermögen von zweidimensionalen Bildern kognitiv überwältigt werden können, wenn sie mental zu dreidimensionalen Bildern verschmolzen werden müssen. (42, 43). Jedoch können die Studierenden durch die Verwendung von stereoskopischen dreidimensionalen Modellen ein ähnliches Lernniveau erreichen, wie Studierende mit einem besserem räumlichen Vorstellungsvermögen (44, 45).

In meiner großen Forschungsarbeit im Forschungscurriculum des Studiengangs Humanmedizin der Carl-von-Ossietzky-Universität ergab sich ebenfalls dieser Sachverhalt. In einer randomisierten, kontrollierten Studie zeigten Studierende, die vor dem Studium eine berufliche Vorausbildung besaßen, sowohl in der AR-Gruppe (Interventionsgruppe) als auch in der Nicht-AR-Gruppe (Kontrollgruppe) bessere Ergebnisse in einem Wissens- test mit Multiple-Choice-Fragen zum Thema Pankreas im Vergleich zu Studierenden ohne eine solche Vorbildung. In der Interventionsgruppe zeigten Studierenden ohne

vorherige berufliche Ausbildung jedoch ein ähnliches Leistungs niveau wie diejenigen, die über eine solche Ausbildung verfügten (46).

Utta *et al.* zeigten in ihrer Meta-Analyse, dass sich das räumliche Vorstellungsvermögen trainieren und verbessern lässt und damit auch den Lernerfolg von Studierenden entscheidend beeinflussen kann (39). Studierende mit einer beruflichen Vorausbildung könnten dadurch ihr räumliches Vorstellungsvermögen bereits trainiert und verbessert haben (46).

In der Literatur gibt es bisher keine aussagekräftigen Forschungsergebnisse dazu, ob die Nutzung von AR-Devices in der klinisch-anatomischen Lehre der Leber Studierende mit geringer räumlicher Vorstellungskraft auf ein ähnliches Leistungs niveau heben kann, wie Studierende mit einem guten räumlichen Vorstellungsvermögen.

In dieser Arbeit wird analysiert, ob sich der Lernerfolg stärker erhöht bei der Verwendung von AR in der Lehre der Leberanatomie bei Medizinstudierenden mit schwächerem räumlichem Vorstellungsvermögen als bei Studierenden mit stärkerem räumlichem Vorstellungsvermögen. Weiter wird die Frage behandelt, ob es einen quantitativen Unterschied im räumlichen Vorstellungsvermögen gibt bei Medizinstudierenden mit und ohne eine berufliche Vorausbildung.

2. Forschungsfrage und Hypothese

Folgende Forschungsfragen sowie Hypothesen werden im Rahmen dieser Studie untersucht:

Fragestellung: Erhöht sich der Lernerfolg bei Verwendung von AR in der Lehre der Leberanatomie stärker bei Medizinstudierenden mit schwächerem räumlichem Vorstellungsvermögen als bei Studierenden mit stärkerem räumlichem Vorstellungsvermögen?

- H0-Hypothese: Die Verwendung von AR in der Lehre der Leberanatomie erhöht den Lernerfolg gemessen an der Rate korrekter Antworten bei

Medizinstudierenden mit schwächerem räumlichem Vorstellungsvermögen nicht stärker als bei Studierenden mit stärkerem räumlichem Vorstellungsvermögen.

- H1-Hypothese: Die Verwendung von AR in der Lehre der Leberanatomie erhöht den Lernerfolg gemessen an der Rate korrekter Antworten bei Medizinstudierenden mit schwächerem räumlichem Vorstellungsvermögen stärker als bei Studierenden mit stärkerem räumlichem Vorstellungsvermögen.

Sekundäre Fragestellung: Haben Medizinstudierende aufgrund ihrer beruflichen Vorausbildung ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen als Studierende ohne eine solche?

- H0-Hypothese: Medizinstudierende mit einer beruflichen Vorausbildung haben kein besseres räumliches Vorstellungsvermögen als Studierende ohne eine solche.
- H1-Hypothese: Medizinstudierende mit einer beruflichen Vorausbildung haben ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen als Studierende ohne eine solche.

3. Projektziele

Als Primärziel soll der Einfluss der Verwendung von AR-Brillen auf den Lernerfolg der Studierenden in einer anatomischen Lerneinheit zur Leber erfasst werden. Diese Ergebnisse werden dabei in Relation zur räumlichen Vorstellungskraft der Studierenden gesetzt. Der Lernerfolg soll dabei durch die Anzahl korrekter Antworten bei Wissensfragen im Multiple-Choice Format zur Leberanatomie erhoben werden und das räumliche Vorstellungsvermögen mit dem Guay's visualization of viewpoints-Test (GVVT) getestet werden(47–49). Die Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen wird bei allen Studierenden mit dem Titmus-Test untersucht (50, 51).

Als Sekundärziel soll der Einfluss einer beruflichen Vorausbildung vor dem Medizinstudium auf das räumliche Vorstellungsvermögen erhoben werden.

4. Methodik und Durchführung

Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen am Menschen wurden auf Grundlage der revidierten Deklaration von Helsinki des Weltärztekongresses (2013) und den entsprechenden gesetzlichen Grundlagen durchgeführt (52). Das Forschungsvorhaben wurde von der medizinischen Ethikkommission der Carl von Ossietzky Universität mit dem Aktenzeichen „2022-105“ am 21.09.2022 befürwortet.

4.1. Studiendesign

Es wurde eine Kohortenstudie mit einem Test-Retest-Design bei Medizinstudierenden im zweiten Studienjahr der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg durchgeführt. Die Durchführung der Studie erfolgte im Rahmen einer Anatomievorlesung zur Leber im Modul 2.2 „Stoffwechselsysteme“ und einem späteren, dazu stattfindenden Studienseminar. Die Studie erfolgte monozentrisch an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg im Rahmen der anatomisch-klinischen Lehre des Moduls 2.2 „Stoffwechselsysteme“ im Wintersemester 2022/2023 von Januar bis Februar 2023.

Potenziell umfasste der Studierendenjahrgang in dem Modul zum Zeitpunkt der Studiendurchführung ca. 80 Studierende. Die Kalkulation der Studienpower hat gezeigt, dass eine Anzahl von eingeschlossenen 39 Studierenden ausreichend. Die Studierenden haben zu diesem Zeitpunkt im Studium bereits ein grundlegendes anatomisches und radiologisches Wissen erworben.

Nach der regulären anatomischen Vorlesung zur Leberanatomie im Modul 2.2 erfolgte ein Prätest zum klinisch-anatomischen Wissen zur Leber mit 20 MC-Fragen durch einen elektronischen Fragebogen mit dem Umfrageprogramm „LimeSurvey“ am 06.02.2023. Die Fragen dienten ebenfalls der Lernzielkontrolle der Studierenden durch die

Vorlesung. Die Studierenden konnten sich nach der Befragung für einen späteren Termin im Februar für das Studienseminar in Kleingruppen anmelden.

Im Studienseminar erfolgte nach einer kurzen Einweisung in die AR-Brille „HoloLens 2“ der Firma Microsoft mit der Software VSI-Holomedizin der Firma „apoQlar“ eine freie Lerneinheit zur Leber. Die Studierenden erhielten einen Leitfaden zu den anatomischen Strukturen der Leber als Orientierung. Damit hatten die Studierenden die Möglichkeit, sich die topografische Lage der Leber und anderer angrenzender abdomineller Strukturen zu vergegenwärtigen. Sie erhielten einen klinischen Bezug mithilfe eines 3D-Hologramms basierend auf CT- und MRT-Bildern und segmentierten 3D-Modellen. Mit diesen virtuellen Modellen konnten sie aktiv interagieren und z.B. den Ansichtswinkel oder die Größe einzelner Strukturen verändern. Diese freie Lerneinheit dauerte insgesamt 45 Minuten (siehe Abbildung 4). Abschließend erhielten die Studierenden erneut einen elektronischen Fragebogen mit insgesamt 20 MC-Fragen, um den aktuellen Wissensstand zu erheben (Posttest). Die hier verwendeten MC-Fragen waren dieselben, wie in dem Prätest, welcher den Studierenden nach der regulären Anatomievorlesung zur Anatomie der Leber gestellt wurde. Diese Fragebögen wurden ebenfalls in elektronischer Form gestellt.

Weiter erfolgte eine Testung der Fähigkeit des stereoskopischen Sehens mit einem Titmus-Test (50, 51) und eine Erfassung der räumlichen Vorstellungskraft mit dem GVVT (47–49). Zudem wurden die Studierenden mit einem adaptierten Fragebogenteil von Kugelmann *et al.* zum Umgang und dem Nutzen der AR-Technik (12) befragt. Abschließend wurden in einem letzten Teil soziodemographische Daten erhoben (Alter, Geschlecht, berufliche Vorausbildung, Nutzen von Sehhilfen, Farbfehlsichtigkeit).

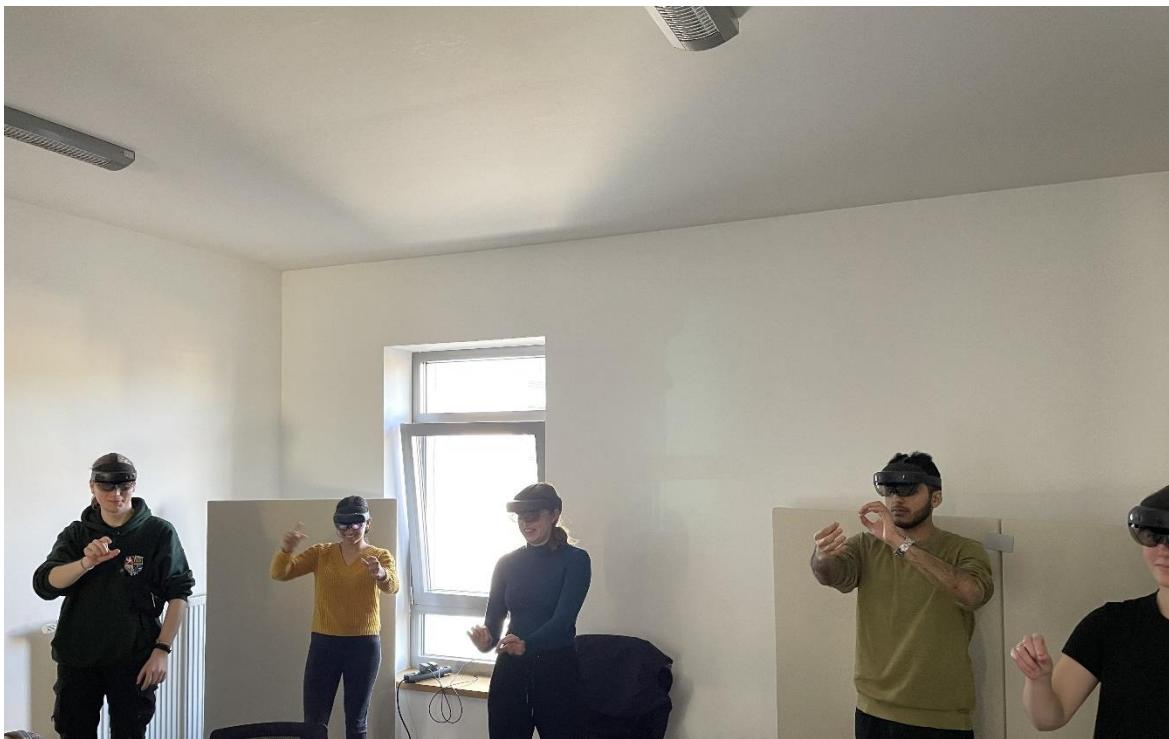


Abbildung 4: Studierende im Studienseminar mit AR-Brillen

4.2. Aufbau des Seminars

Die Studierenden des Moduls 2.2 „Stoffwechselsysteme“ des Wintersemesters 2022/2023 hatten die Möglichkeit, im Anschluss an die reguläre, curriculare Lehre der Anatomie der Leber, am Prätest am 06.02.2023 teilzunehmen (siehe Abbildung 5). Hierbei wurden ihnen insgesamt 20 MC-Fragen zur Leberanatomie mit radiologischen Schnittbildern gestellt. Die Schnittbilder lagen als kurze Videosequenzen vor, so dass die Teilnehmenden selbst durch die Schnittbilder „scrollen“ konnten, um mehrere Schnittebenen sehen zu können. Diese Daten dienten als „Baseline“ für das eigentliche Studienseminar und waren Voraussetzung für eine weitere Teilnahme an der Untersuchung. Das Studienseminar mit der AR-Brille fand in Kleingruppen von 5-6 Studierenden zwei bis drei Wochen nach dem Prätest statt (siehe Abbildung 5).

In dem Studienseminar erhielten die Studierenden eine kurze Einführung in die AR-Brille von ca. 15 Minuten, um den Umgang mit der AR-Brille und Software zu erlernen. Im Anschluss absolvierten sie eine Lernsession von 45 Minuten mit der AR-Brille und erhielten dafür als Orientierung ein Skript mit den anatomischen Strukturen der Leber. Anschließend beantworteten die Studierenden dieselben 20 MC-Fragen aus dem Prätest zur Überprüfung des Lernerfolges. Weiter erfolgte eine Testung der Fähigkeit des stereoskopischen Sehens mit einem Titmus-Test (50, 51) und eine Erfassung des räumlichen Vorstellungsvermögens mit dem GVV (47, 48). Zudem wurden die Studierenden mit einem adaptierten Fragebogenteil von Kugelmann *et al.* zum Umgang und dem Nutzen der AR-Technik (12) befragt. Abschließend wurden in einem letzten Teil soziodemografische Daten erhoben (Alter, Geschlecht, berufliche Vorausbildung, Nutzen von Sehhilfen, Farbfehlsichtigkeit).

Die Studierenden erhielten nach Abschluss des Studienseminars eine Aufwandsentschädigung von 30 €.

Nach Erreichen der benötigten Fallzahl hatten interessierte Studierende trotzdem noch die Möglichkeit das Studienseminar zu absolvieren.

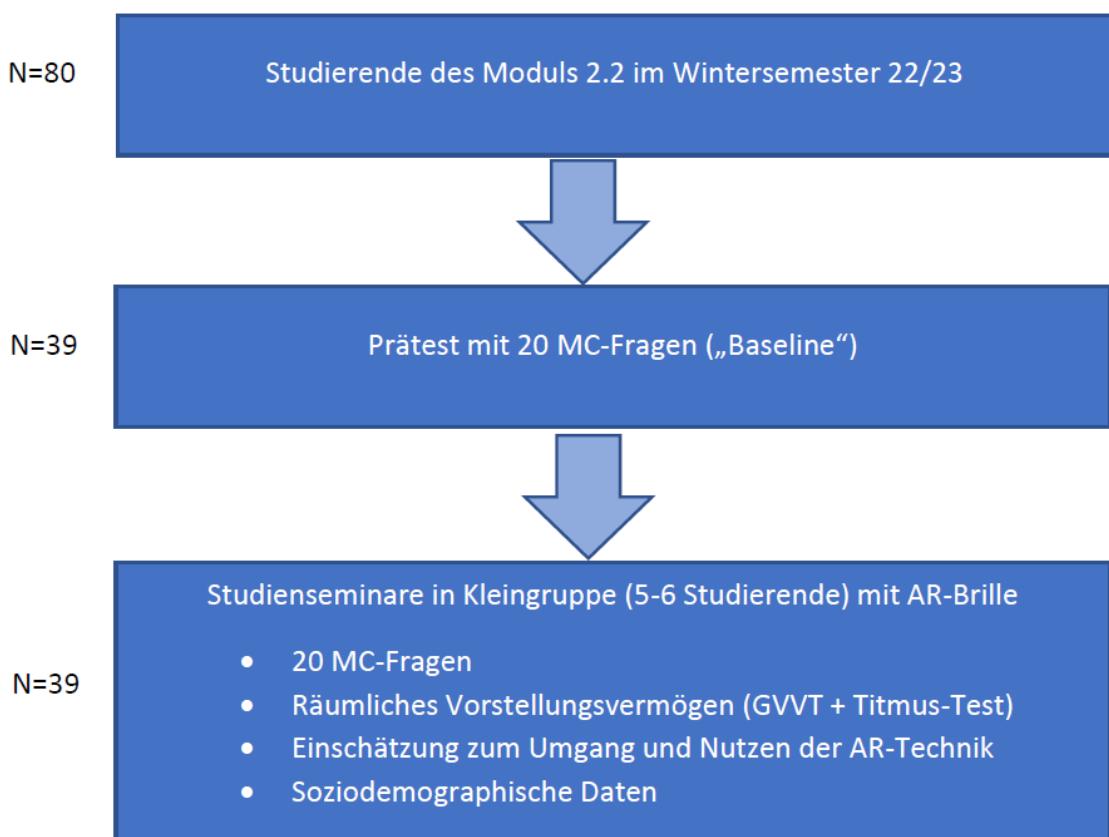


Abbildung 5: Flussdiagramm des Studienaufbaus

4.3. Studienpopulation

Die Studienpopulation setzte sich aus den Studierenden der Humanmedizin der Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg im Modul 2.2 „Stoffwechselsysteme“ im Wintersemester 2022/2023 zusammen. In dem Jahrgang waren 88 Studierende in der Veranstaltung eingeschrieben.

Um an der Studie teilnehmen zu können, mussten die Probanden an der Anatomievorlesung zur Leber im Modul 2.2 „Stoffwechselsysteme“ teilgenommen haben, den Prätest absolviert haben und ihre Einwilligung zur Studienteilnahme schriftlich abgegeben haben.

Ausgeschlossen von der Auswertung wurden Studierende, die die Fragebögen nicht vollständig ausgefüllt oder der Studienteilnahme nicht schriftlich zugestimmt hatten. Weiter wurden Proband*innen mit fehlender oder sehr schwach ausgeprägter Fähigkeit

zum stereoskopischen Sehen im Titmus-Test (50, 51) von der Auswertung ausgeschlossen.

Die Aufklärung über die Studie erfolgte vor dem Prätest in einer Informationsveranstaltung in einer vorherigen Anatomievorlesung am 23.12.2022. Die Einwilligung wurde zu Beginn des Fragebogens von den Studierenden elektronisch eingeholt.

Die Studierenden hatten im Rahmen der Studie die Möglichkeit, ihr klinisch-anatomisches Wissen durch die Lerneinheit mittels AR zu verbessern. Es sollte zu einem besseren Verständnis der topographischen Lage der Leber und damit verbundener Erkrankungen führen. Eine Belastung der Studienteilnehmer konnte durch eine mögliche „Cybersickness“ bei längerer Verwendung der AR-Brille auftreten (53). Risiken bestanden dabei für die Probanden keine.

4.4. Beschreibung der Fragebögen

Prätest

Die Studierenden erhielten nach der regulären, curricularen Anatomielehre zur Leber in einer Veranstaltung einen elektronischen Fragebogen, welcher ca. 20-30 Minuten zum Beantworten in Anspruch nahm. Dieser Fragebogen wurde mit der Fragebogensoftware „LimeSurvey“ erstellt und lief über die Server der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.

Die Studierenden sollten insgesamt 20 MC-Fragen zur Anatomie und Topografie der Leber beantworten. Hierbei wurde allgemeines, anatomisches Wissen zur Leber abgefragt, aber auch topographisches Wissen anhand von radiologischen Schnittbildern von Patientenfällen. Diese Schnittbilder lagen als kurze Videosequenzen in einer Körperebene vor. Die Proband*innen konnten die Videos pausieren und über den Zeitenregler des Videos durch die Schnittbilder von kaudal nach kranial, von ventral nach dorsal oder von lateral nach medial gehen. Der finale Wert der Wissensfragen wurde als „Baseline“ für das eigentliche Studienseminar genommen. Die Wissensfragen waren angelehnt an die vorklinischen Wissensfragen des Leberkapitels der Internetseite „Amboss“ und einer

bisher unveröffentlichten Promotionsarbeit von Uslar *et al.* aus dem Jahr 2022 (54, 55). Die Fragen wurden dabei von erfahrenen Anatomiedozenten der Abteilung für Anatomie der Universität Oldenburg geprüft.

Posttest

Der Posttest fand einige Tage nach dem Prätest im Rahmen des Studienseminars in Kleingruppen nach einer Lernsession von einer Stunde mit der AR-Brille statt. Die Studierenden erhielten im Anschluss an das Seminar einen elektronischen Fragebogen von ca. 45 Minuten, welcher fünf Teile enthielt und ebenfalls mit der Fragebogensoftware „LimeSurvey“ erstellt wurde und über die Server der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg lief.

Im ersten Teil beantworteten die Teilnehmenden dieselben 20 Multiple-Choice-Fragen (MC-Fragen) zur Anatomie und Topografie der Leber, wie schon im Prätest. Im zweiten Teil erhielten die Studierenden Fragen des GVT (47–49) zur Quantifizierung des räumlichen Vorstellungsvermögens. Der zweite Teil bestand aus insgesamt 24 Fragen, die innerhalb von acht Minuten beantwortet werden mussten. In jeder Frage gab es zwei Illustrationen einer geometrischen Figur. Das erste Bild zeigte die Figur aus einem bestimmten Blickwinkel. Das zweite Bild zeigte dieselbe Figur in einem Würfel aus einem anderen Blickwinkel. Die Proband*innen sollten nun angeben, welche Ecke des Würfels dem Blickwinkel auf die geometrische Figur aus dem ersten Bild entsprach (siehe Abbildung 6).

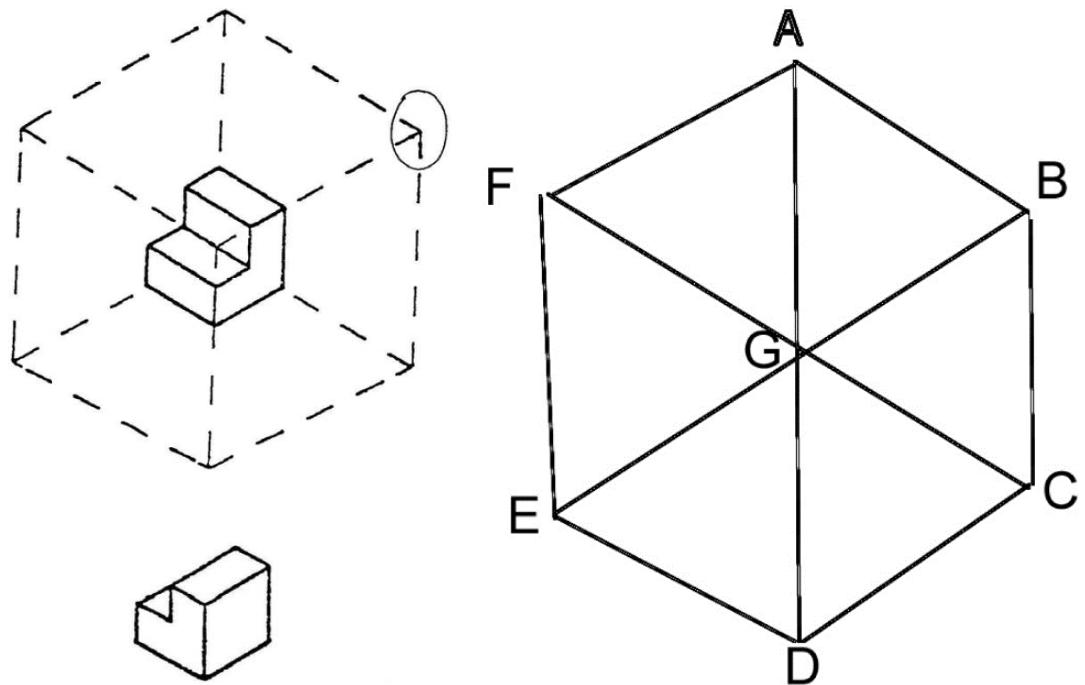


Abbildung 6: Beispielabbildung des GVVT (47, 48)

Der GVVT ist ein etabliertes Messinstrument zur Testung des räumlichen Vorstellungsvermögens und wurde bereits in unterschiedlichsten Settings genutzt z.B. bei Zahmedizinstudierenden, Assistenzärzt*innen der Chirurgie und Astronauten (47, 56, 57). Trotz der häufigen Nutzung gab es keine Werte zur Reliabilität, Validität und Präzision, auf die im Rahmen dieser Studie zurückgegriffen werden konnte. Um die Ergebnisse des GVVT auszuwerten, wurde aus allen 24 Fragen ein Score berechnet. Dabei erhielten die Studierenden für jede richtig beantwortete Frage einen Punkt. Für jede falsch beantwortete Frage erhielten sie einen Minuspunkt, und die Summe aller Minuspunkte wurde zum Schluss durch sechs geteilt. In der Testzeit unbeantwortete Fragen wurden nicht mitgezählt. Die Höchstpunktzahl betrug 24 Punkte. Die Berechnung des Scores sah also wie folgt aus:

$$Score = \frac{\text{Anzahl richtig beantworteter Fragen} - \text{Anzahl falsch beantworteter Fragen}}{6}$$

Anhand des Medians der Score-Werte aller Studierende erfolgte final eine Aufteilung in die Kategorien „gutes räumliches Vorstellungsvermögen“ und „schwaches räumliches Vorstellungsvermögen“.

Im dritten Teil des Posttest erhielten die Proband*innen einen adaptierten Fragebogenanteil aus einer Publikation von Kugelmann *et al.* (12) zur subjektiven Einschätzung des Umgangs und des Nutzens der AR-Brille. Er bestand aus insgesamt sechs Fragen mit einer 5-Likert-Skala („stimmt gar nicht“, „stimmt eher nicht“, „weder/noch“, „stimmt eher“ und „stimmt genau“).

Im vierten Teil wurden soziodemographische Daten erhoben, wie das Geschlecht, das Alter, eine berufliche Vorausbildung vor dem Studium, Nutzen von Sehhilfen während des Seminars und ob eine Farbfehlsehigkeit vorliegt.

Im fünften und letzten Teil absolvierten die Studierenden einen Titmus-Test, welcher qualitativ die Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen testete. Hierfür erhielten die Teilnehmenden eine spezielle 3D-Brille und ein Testbild mit neun Figuren, die jeweils vier Kreise enthielten. Es konnte pro Figur jeweils ein Kreis dreidimensional gesehen werden. Die einzelnen Figuren bildeten dabei verschiedene Bogenmaße im Bereich von 400 bis zu 20 Bogensekunden in der Wahrnehmung des Auges ab (50, 51). Der Test wurde als positiv bewertet, wenn mindestens die ersten vier Figuren richtig gelöst werden konnten. Die Studierenden hatten damit die für diese Studie nötige Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen. Konnten Sie dies nicht, war der Test negativ und die Studierenden wurden von der Studie ausgeschlossen.

4.5. Datenmanagement und Datenschutz

Die Daten wurden bis zum Abschluss des Studienseminars und den damit verbundenen Fragebögen in pseudonymisierter Form erhoben. Die Pseudonymisierung erfolgte dabei nachfolgendem Schema:

Die erste Stelle des Pseudonymisierungscodes war der zweite Buchstabe des Vornamens. Die zweite Stelle war der dritte Buchstabe des Nachnamens. Die dritte Stelle war der erste Buchstabe des Vornamens der Mutter. Die vierte und fünfte Stelle war der numerische Monatstag des Geburtstages der/des Studierenden (Zahl von 01-31).

Nach dem Abschluss der Datenerhebung wurden diese anonymisiert. Die anonymisierten Studiendaten werden im Sinne der GCP 10 Jahre aufbewahrt.

Die Erfassung der Daten erfolgte mit Hilfe des Umfragenprogramms „LimeSurvey“ auf den Servern der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Die Daten werden für 10 Jahre archiviert. Diese verbleiben beim Studienverantwortlichen. Die Daten werden nicht an Dritte weitergegeben. Die erfassten Codes und Syntax des Statistikprogramms SPSS der Firma IBM (Version 27) werden ebenfalls für 10 Jahre archiviert.

4.6. Datenauswertung

Die erhobenen Daten wurden deskriptiv ausgewertet und, abhängig vom Skalenniveau, wurden entweder Mittelwerte und Standardabweichungen oder Mediane und Quartile berechnet. Kategoriale Variablen wurden als absolute und relative Häufigkeiten angegeben. Relative Häufigkeiten wurden mathematisch auf eine Nachkommastelle gerundet.

Es erfolgte eine Korrelation zwischen der Differenz der Prä- und Post-Wissenstest mittels MC-Fragen (metrisch) und den Scorewerten des GVVT (metrisch) (47–49). Es wurde ein Korrelationskoeffizient angegeben und die graphische Darstellung erfolgte mittels eines Streudiagramms.

Die korrekten Antworten der Wissenstests mittels MC-Fragen des Prä- und Posttests (metrisch) wurden ebenfalls mit den kategorischen Ergebnissen des GVVT (47–49) verglichen. Die Scorewerte des GVVT wurden dabei anhand des Medians in eine kategoriale Variable mit zwei Gruppen unterteilt („gutes räumliches Vorstellungsvermögen“ und „schwaches räumliches Vorstellungsvermögen“). Mit einer Repeated Measure ANOVA

wurden die Ergebnisse von Prä- und Post-Wissenstest der beiden GVVT-Gruppen verglichen. Die graphische Darstellung erfolgte mittels Boxplots.

Zum Vergleich der besseren räumlichen Vorstellungskraft mit den Scorewerten des GVVT (47–49) (metrisch) mit einer vorherigen beruflichen Vorausbildung (nominal) sollte ein t-Test für eine unabhängige Stichprobe durchgeführt werden. Es erfolgte ein optischer Test auf Normalverteilung mit einem Histogramm. Bei fehlender Normalverteilung wurde ein Mann-Whitney-U-Test für eine unabhängige Stichprobe durchgeführt. Die graphische Darstellung erfolgte ebenfalls mittels Boxplots.

Für alle statistischen Tests galt ein Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$. Da mehrere statistische Tests durchgeführt wurden erfolgte eine α -Korrektur nach Benjamini-Hochberg (58).

5. Ergebnisse

5.1. Beschreibung der Populationscharakteristika

An der durchgeführten Studie konnten sowohl im Prä- als auch im Posttest insgesamt $n=39$ Studierende der Humanmedizin des zweiten Studienjahres der Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg im Wintersemester 2022/2023 eingeschlossen werden. Die Fragebögen wurden dabei von allen Proband*innen vollständig ausgefüllt. Insgesamt waren zum Studienzeitpunkt 88 Studierende in das Modul 2.2 „Stoffwechselsysteme“ eingetragen. Dies entspricht einer Response von 44,32%.

Die Darstellung in der Baseline-Tabelle erfolgte aufgeteilt in die zwei Subgruppen des räumlichen Vorstellungsvermögens mit „Gutes räumliches Vorstellungsvermögen“ und „Schwaches räumliches Vorstellungsvermögen“ anhand des Medians des errechneten Scores des GVVT (47–49). Der Median des GVVT lag dabei bei 13,67.

Die Anzahl der männlichen Teilnehmenden lag bei $n=8$ (20,5%), die Anzahl der weiblichen Teilnehmenden bei $n=29$ (74,4%). Es haben $n=2$ (5,1%) ihre Geschlechtsidentität mit „divers“ angegeben. Es ist zu erkennen, dass der höhere relative Anteil an

männlichen Studierenden (n=6, 75%) in der Gruppe mit gutem räumlichem Vorstellungsvermögen ist, verglichen mit dem der weiblichen Studierenden ist (n=11, 37,93%) (siehe Tabelle 1).

In der untersuchten Population hat sich ein breites Spektrum an beruflichen Vorausbildungen gezeigt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Baseline-Tabelle

Kategorie	Gutes räumliche Vorstellungsvermögen (n=19; 49%)	Schwaches räumliches Vorstellungsvermögen (n=20; 51%)	Gesamt (n=39; 100%)	p-Wert
Alter, in Jahren (n=39)				0,686
Mean (SD)	21,79 (2,32)	22,35 (2,82)	22,08 (2,57)	
Median (IQR)	21 (20-23)	21,5 (20-25)	21 (20-24)	
Geschlecht (n=39)				0,207
männlich	6 (31,6%)	2 (10%)	8 (20,5%)	
weiblich	11 (57,9%)	18 (90%)	29 (74,4%)	
divers	2 (10,5%)	0 (0%)	2 (5,1%)	
Titmus-Test (n=39)				konstant
Positiv	19 (100%)	20 (100%)	39 (100%)	
Negativ	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Vorausbildung (n=39)				0,686
Ja	6 (31,6%)	9 (45%)	15 (38,5%)	
Nein	13 (68,4%)	11 (55%)	24 (61,5%)	
Welche Vorausbildung (n=15)				0,536

Gesundheits- und (Kinder-) Kranken- pfleger*in	0 (0%)	3 (33,3%)	3 (20%)	
Rettungsdienst (Notfallsanitä- ter*in, Rettungsas- sistent*in)	2 (33,3%)	1 (11,1%)	3 (20%)	
Physiotherapie	0 (0%)	1 (11,1%)	1 (6,7%)	
Operations-Techni- sche*r-Assis- tent*in	1 (16,7%)	0 (0%)	1 (6,7%)	
Biolabo- rant*in/Chemiла- borant*in	0 (0%)	1 (11,1%)	1 (6,7%)	
Med.-Technisch- Radiologische*r-As- sistent*in	1 (16,7%)	0 (0%)	1 (6,7%)	
Med.-Techni- sche*r-Labor-Assis- tent*in	0 (0%)	1 (11,1%)	1 (6,7%)	
Kindertagespfe- ler*in	1 (16,7%)	0 (0%)	1 (6,7%)	
Studium mit natur- wissenschaftlichem Schwerpunkt	1 (16,7%)	2 (22,2%)	3 (20%)	

In der Studienpopulation (n=39) hatte eine Person (2,6%) eine Farbfehlsichtigkeit. Die restlichen 38 Teilnehmenden (97,4%) konnten Farben regelrecht wahrnehmen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Verwendung von Sehhilfen und Farbfehlsichtigkeit

Kategorie	Gesamt (n=39)
Brille/Kontaktlinsen (n=39)	
Ja	15 (38,5%)
Nein	24 (61,5%)
Brille/Kontaktlinsen getragen (n=15)	
Ja	15 (100%)
Nein	0 (0%)
Farbfehlsichtigkeit (n=39)	
Ja	1 (2,6%)
Nein	38 (97,4%)

5.2. Ergebnisse des Lernerfolgs in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen

In Abbildung 7 sind die Differenzen der richtig beantworteten MC-Fragen vom Prä- und Posttest in Abhängigkeit vom GVVT-Score gezeigt. Zur Beantwortung der Frage nach einer Verbesserung des Lernerfolges in Abhängigkeit vom GVVT-Score wurde bei fehlender Normalverteilung eine Korrelation nach Kendall-Tau durchgeführt. Hier hat sich ein τ -Korrelationskoeffizient von $\tau=0,004$ mit einem $p=0,971$ als statistisch nicht signifikant gezeigt (siehe auf Korrelationsgrade in Abbildung 7).

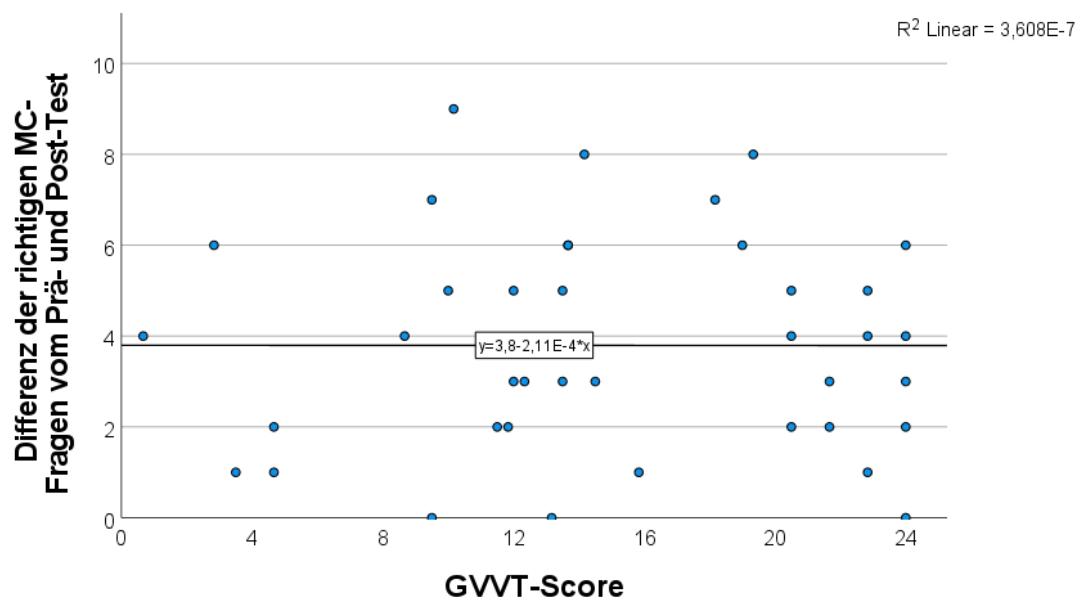


Abbildung 7: Streudiagramm von der Differenz der richtig beantworteten MC-Fragen im Prä- und Posttest in Abhängigkeit vom GVVT-Score.

Abbildung 8 zeigt ein gruppiertes Boxplot der Anzahl richtiger MC-Fragen im Prä- und Post-Test nach den Subgruppen des GVVT-Scores mit „schwachem räumlichen Vorstellungsvermögen“ (n=20) und „gutem räumlichen Vorstellungsvermögen“ (n=19). Beide Subgruppen des räumlichen Vorstellungsvermögens haben vom Prä- zum Post-Test eine Lernverbesserung gezeigt. Sie haben beide insgesamt im Median fünf MC-Fragen mehr richtig beantwortet. Bei den Studierenden mit gutem räumlichem Vorstellungsvermögen hat sich im Post-Test ein Deckeneffekt gezeigt. Ein*e Proband*in konnte dabei alle 20 MC-Fragen richtig beantworten (siehe Abbildung 8).

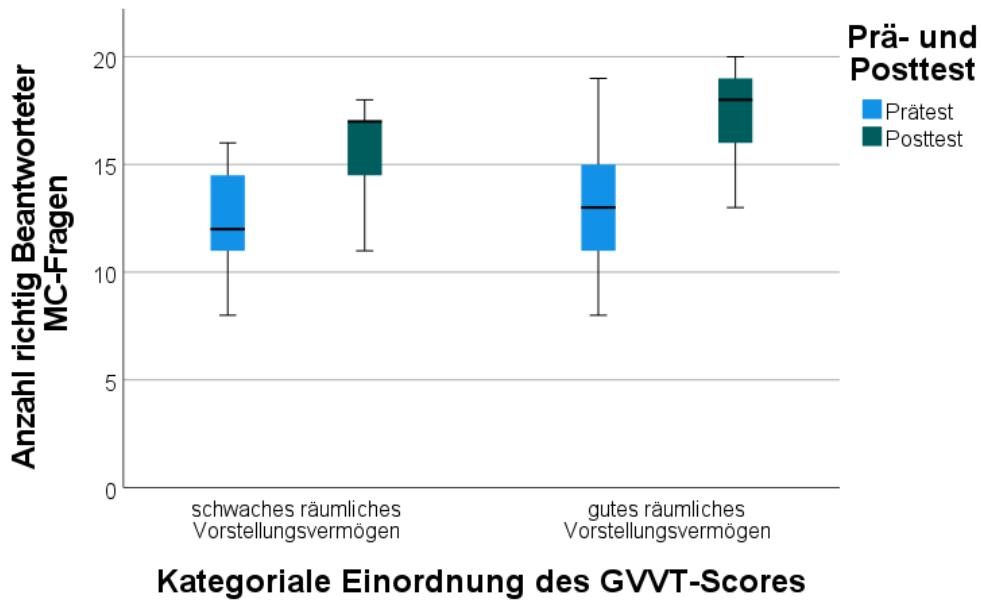


Abbildung 8: Boxplot der Anzahl richtig beantworteter MC-Fragen im Prä- und Posttest mit gutem und schwachem räumlichem Vorstellungsvermögen anhand des GVVT-Scores

Weiter ist zur Testung der Frage nach einer Verbesserung des Lernerfolgs in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen eine Repeated Measure ANOVA von der Anzahl richtig beantworteter MC-Fragen im Prä- und Post-Test in Abhängigkeit von der kategorialen Einteilung nach dem GVVT-Score durchgeführt worden. Die Ergebnisse des Effekts der Testphase auf die richtig beantworteten MC-Fragen vom Prä- zum Posttest zeigte sich statistisch signifikant mit $F(1, 37)=98,092$ mit einem $p<0,001$ und einem $\eta^2=0,726$ (siehe Tabelle 3). Es zeigte sich bei der Berechnung der Interaktion der Testphasen (Prä- und Post-Test) und den Kategorien nach dem GVVT-Score kein statistisch signifikantes Ergebnis mit $F(1, 37)=0,064$ mit einem $p=0,801$ und einem $\eta^2=0,002$ (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Repeated Measure ANOVA der Anzahl richtig beantworteter MC-Fragen im Prä- und Post-Test in Abhängigkeit der kategorialen Einteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens anhand des GVVT-Scores

Repeated Measure ANOVA der Anzahl richtig beantworteter MC-Fragen im Prä- und Post-Test in Abhängigkeit von der kategorialen Einteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens anhand des GVVT-Scores	df	F	p-Wert	η^2
Effekt Testphase	1; 37	98,092	< 0,001	0,726
Interaktion: Testphase vs GVVT-Kategorie	1; 37	0,064	0,801	0,002

5.3. Ergebnisse des räumlichen Vorstellungsvermögens in Abhängigkeit von einer beruflichen Vorausbildung

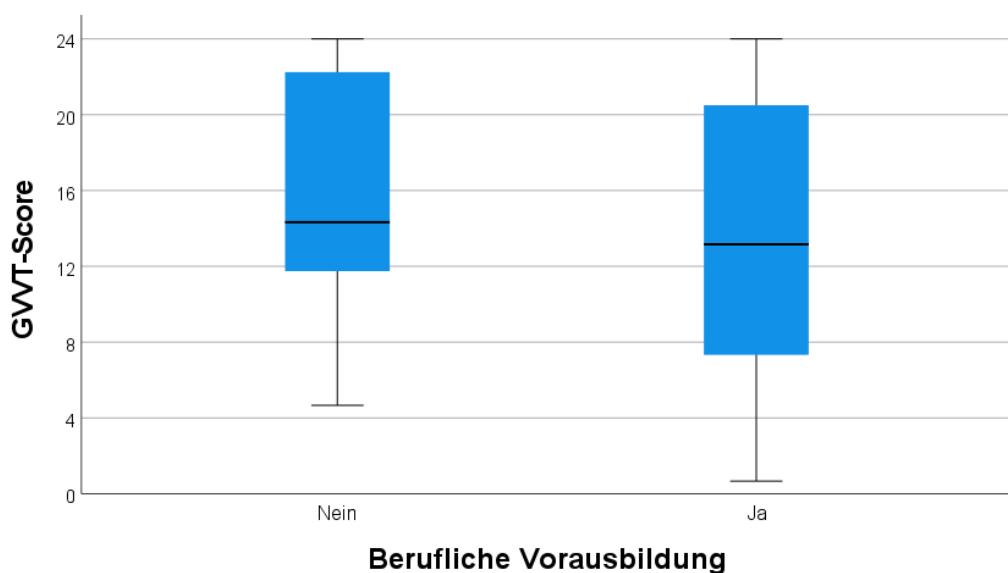


Abbildung 9: Boxplot vom GVVT-Score bezogen auf eine berufliche Vorausbildung

Abbildung 9 zeigt jeweils einen Boxplot vom GVVT-Score in den Untergruppen der Studierenden mit und ohne einer berufliche Vorausbildung vor dem Studium. Der maximal erreichbare Punktewert des GVVT beträgt 24 (47–49). Die Anzahl der Proband*innen ohne eine berufliche Vorausbildung lag bei n=24. Es zeigte sich, dass der Anteil der Studierenden mit höheren GVVT-Score-Werten in dieser Gruppe höher war. Die Anzahl der Teilnehmenden mit einer beruflichen Vorausbildung vor dem Studium lag bei n=15. Die Streuung der GVVT-Score-Werte zeigte sich in dieser Gruppe größer (siehe Abbildung 9).

Vor der Durchführung eines t-Tests wurde ein visueller Test auf Normalverteilung mit einem Histogramm durchgeführt. Aufgrund fehlender Normalverteilung wurde ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Es zeigte sich ein nicht statistisch signifikantes Ergebnis mit einem U=142,5 und einem korrigierten p=0,536 (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Mann-Whitney-U-Test: Räumliches Vorstellungsvermögen und Vorausbildung

Test-Score GVVT	Mit beruflicher Vorausbildung (n=15)	Ohne berufliche Vorausbildung (n=24)	U-Test	p-Wert
Mean (SD)	13,33 (7,85)	16,07 (5,86)	142,5	0,536

5.4. Ergebnisse des subjektiven Nutzens und zum Umgang mit der AR-Technik

Des Weiteren ist eine subjektive Einschätzung der Verwendung und des Nutzens der AR-Technik durch die Studierenden mit einer 5-Likert-Skala von „stimmt genau“ bis „stimmt gar nicht“ durchgeführt worden (siehe Tabelle 5). Alle 39 Teilnehmenden haben diesen Fragebogenteil beantwortet. Insgesamt bestätigte der größte Teil der Studierenden mit den Antwortmöglichkeiten „stimmt genau“ und „stimmt eher“ eine intuitive und einfache Bedienung der AR-Brille, Spaß beim Lernen, Verbesserung des räumlichen Verständnisses der Anatomie, Stimulation des aktiven Lernens und eine Verbesserung der

Motivation Anatomie zu lernen. Eine Anzahl von n=9 (23,07%) gab mit „weder/noch“ oder „stimmt eher nicht“ an, dass die AR-Brille keine technischen Probleme hatte (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Subjektiver Nutzen und Umgang mit der AR-Brille

Die Verwendung der AR-Brille... (n=39)	Stimmt ge- nau	Stimmt eher	We- der/noch	Stimmt eher nicht	Stimmt gar nicht
...war intuitiv und einfach.	12 (30,8%)	25 (64,1%)	2 (5,1%)	0	0
...hatte keine technischen Probleme.	11 (28,2%)	19 (48,7%)	2 (5,1%)	7 (17,9%)	0
...machte mir viel Spaß.	37 (94,9%)	2 (5,1%)	0	0	0
...verbessert mein räumliches Verständnis der Anatomie.	27 (69,2%)	10 (25,6%)	1 (2,6%)	1 (2,6%)	0
...stimuliert mein aktives Lernen.	27 (69,2%)	11 (28,2%)	0	1 (2,6%)	0
...verbessert meine Motiva- tion Anatomie zu lernen.	27 (69,2%)	8 (20,5%)	4 (10,3%)	0	0

6. Diskussion

6.1. Zusammenfassung

In dieser Forschungsarbeit zum Nutzen von AR in der universitären anatomisch-klinischen Lehre wurde erstmals in einer Kohortenstudie mit einem Test-Retest-Design der Schwerpunkt auf einen Unterschied im Lernerfolg zur Leberanatomie bei der Nutzung einer AR-Brille bei Medizinstudierenden mit unterschiedlichem räumlichem Vorstellungsvermögen gelegt. Insgesamt konnten im Prä- und Post-Test 39 Medizinstudierende aus dem zweiten Studienjahr der Carl-von Ossietzky Universität Oldenburg eingeschlossen werden. Von allen Studierenden wurde dabei sowohl der Fragebogen im Prä-, als auch im Post-Test vollständig ausgefüllt und das Studienseminar mit der AR-Brille erfolgreich absolviert.

Der Lernerfolg der Studierenden wurde anhand der Differenz der richtigen MC-Fragen vom Prä- und Post-Test definiert.

Eine Korrelation nach Kendall-Tau von dem Lernerfolg in Abhängigkeit vom GVVT-Score zeigte kein statistisch signifikantes Ergebnis. Im Streudiagramm verläuft die Korrelationsgrade nahezu parallel zur x-Achse (siehe Abbildung 7). Daraus lässt sich schließen, dass ein höherer GVVT-Score nicht zu einem höheren Lernerfolg führt.

Für die weiteren Analysen wurden die Studierenden anhand ihres erreichten GVVT-Scores in zwei Subgruppen, eine mit einem guten und eine mit schwachen räumlichen Vorstellungsvermögen, unterteilt.

Bei einer Interaktionsberechnung des Lernerfolgs und der jeweiligen Subgruppen konnte jedoch kein signifikanter Unterschied des Lernerfolgs gezeigt werden (siehe Tabelle 3).

Es zeigte sich allerdings eine statistisch signifikante Verbesserung des Lernerfolges anhand der MC-Fragen vom Prä- zum Post-Test, unabhängig von der jeweiligen Subgruppe (siehe Tabelle 3 + Abbildung 8). Somit kann die H₀-Hypothese der Frage nach einer

Verbesserung des Lernerfolges in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen nicht verworfen werden.

Es konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied des räumlichen Vorstellungsvermögens in Abhängigkeit von einer beruflichen Vorausbildung festgestellt werden (siehe Tabelle 4 + Abbildung 9). Somit kann die H0-Hypothese der Frage nach dem räumlichen Vorstellungsvermögen in Abhängigkeit von einer berufliche Vorausbildung nicht verworfen werden.

Die Teilnehmenden (n=39) haben mit den Antwortmöglichkeiten „stimmt genau“ und „stimmt eher“ angegeben, dass das Lernen mit der AR-Brille ihnen Spaß gemacht habe (n=39 (100%)), ihr räumliches Verständnis der Anatomie verbessert habe (n=37, (94,8%)), eine Stimulation des aktiven Lernens bewirkt habe (n=38 (97,8%)) und es ihre Motivation verbesserte Anatomie zu lernen (n=35 (89,7%)) (siehe Tabelle 5).

6.2. Ergebnisdiskussion

Um die Abhängigkeit des Lernerfolgs von dem räumlichen Vorstellungsvermögen zu analysieren, wurde die Differenz der richtigen MC-Fragen vom Prä- und Post-Test zu dem erreichten GVVT-Score der Studierenden in Beziehung gesetzt. Die Korrelationsgrade verlief nahezu parallel zur x-Achse (siehe Abbildung 8), und die Kendall-Tau-Korrelation der Differenz der richtigen MC-Fragen vom Prä- und Post-Test in Abhängigkeit vom GVVT-Score hat kein statistisch signifikantes Ergebnis gezeigt. Im Streudiagramm gruppieren sich dabei die Punktwolken hauptsächlich in zwei großen Gruppen, die im Bereich vom GVVT-Score 8-16 mit n=17 Teilnehmenden und im Bereich >16 mit n=16 Teilnehmenden liegen.

Es zeigte sich ein Deckeneffekt bei den Ergebnissen des GVVT-Scores. Insgesamt erreichten fünf Teilnehmende eine maximale Scorepunktzahl von 24.

Für die weitere Analyse wurden die Studierende anhand ihres erreichten GVVT-Scores in zwei Subgruppen aufgeteilt.

Beide Subgruppen des räumlichen Vorstellungsvermögens erreichten vom Prä- zum Post-Test eine statistisch signifikante Zunahme der richtig beantworteten MC-Fragen im Wissenstest (siehe Abbildung 8, Tabelle 3). In beiden Subgruppe zeigte sich eine Verbesserung der richtig beantworteten MC-Fragen vom Prä- zum Post-Test von insgesamt fünf MC-Fragen im Median. Dies zeigt, dass die Studierenden vom Prä- zum Post-Test einen deutlichen Wissenszuwachs erfahren haben, unabhängig von der Subgruppe, in die sie eingeteilt waren. Eine Interaktionstestung zwischen den Testphasen und den GVVT-Kategorien konnte ebenfalls keinen statistisch signifikanten Unterschied des Lernerfolgs zwischen den Studierenden mit gutem und schwachem räumlichem Vorstellungsvermögen zeigen (siehe Tabelle 3). Bemerkenswert ist dabei, dass die Studierenden aus der Gruppe mit gutem räumlichem Vorstellungsvermögen nicht ihre Kommiliton*innen mit schwächerem räumlichem Vorstellungsvermögen in ihrem Lernfortschritt abgehängt haben. Diese Ergebnisse schließen damit gut an die Erkenntnisse von Cui *et al.* und Roach *et al.* an, wonach Studierende beim Nutzen von AR mit schwächerem räumlichen Vorstellungsvermögen auf einem ähnlichen Leistungsniveau liegen wie Studierende mit einem stärkeren räumlichen Vorstellungsvermögen (44, 59). Ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen ist dabei assoziiert mit einem schnelleren Verständnis für die Topografie in der Anatomie (60–63). Diesen Effekt sieht man auch in der hier untersuchten Studienpopulation, bei der diese Studierenden im Prä- und Post-Test im Median eine richtige MC-Frage besser abgeschnitten haben als ihre Mitstudierenden. Um bei diesem Effekt eine statistische Signifikanz zu zeigen, müssten weitere Analysen mit größeren Studierendengruppen gemacht werden, um zu zeigen, ob der Effekt reproduzierbar ist.

Eine weitere mögliche Begründung für eine fehlende statistische Signifikanz zwischen den beiden Subgruppen des GVVT kann auch an einer klein ausfallenden Effektstärke oder einer zu geringen Anzahl an verwendeten Wissensfragen liegen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Arbeiten von Bork *et al.* und Ho *et al.*, bei denen sich ebenfalls eine Verbesserung des anatomischen Wissenszuwachses vom Prä- zum Posttest zeigten, es aber auch keinen statisch signifikanten Unterschied zwischen den Kontroll- und Interventionsgruppen gab (64, 65).

Es zeigte sich zudem ein genderspezifischer Unterschied bei den Werten des GVVT-Scores. Die Teilnehmenden mit der Geschlechtsangabe „männlich“ erreichten im Median einen Score von 21,08 (n=8). Die zahlenmäßig überrepräsentierten weiblichen Teilnehmenden einen Score im Median von 13,17 (n=29). Teilnehmende mit der Angabe „divers“ erreichten einen Score im Median von 21,67 (n=2). Solche Geschlechtsunterschiede in Tests des räumlichen Vorstellungsvermögen werden in der Literatur häufig beschrieben (66). Laut der Arbeit von Bartlett *et al.* konnte bis heute nicht eindeutig evident gezeigt werden, dass ein geschlechtsspezifisches, biologisches Merkmal dafür verantwortlich sei. Es komme dabei eher auf die Sozialisation der Individuen und deren Fähigkeiten an. Dabei entspräche das biologische Geschlecht („sex“) nicht unbedingt der Geschlechtsidentität („gender“) der einzelnen Individuen. Letzteres sei vielmehr das Produkt der individuellen Sozialisation und nehme damit auch Einfluss auf die Fähigkeiten des räumlichen Vorstellungsvermögens. Die Tests zum räumlichen Vorstellungsvermögen würden diesen Einfluss nicht hinreichend berücksichtigen (67). Fisher *et al.* zeigte in seiner Arbeit, dass der geschlechtsspezifische Unterschied geringer ausfalle, wenn die Testbilder der mental zu drehenden Objekte nicht als gezeichnete 2D-Bilder, sondern als 3D-Fotos gezeigt werden (68).

Weiter konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem räumlichen Vorstellungsvermögen anhand des GVVT-Scores und einer beruflichen Vorausbildung vor dem Studium gezeigt werden. Dabei hat sich in der Subgruppe mit und ohne berufliche Vorausbildung der Median des GVVT-Scores um ungefähr einen Punkt unterschieden. Studierende mit einer beruflichen Vorausbildung vor dem Studium haben diese zum Teil absolviert, um ihre Durchschnittsnote in der Hochschulzugangsberechtigung (Abitur) zu verbessern, um einen Studienplatz zu erhalten.

Für die Zulassung im Wintersemester 2022/2023 lag dieser an der Universität Oldenburg in der Abiturbestenquote bei einer Durchschnittsnote zwischen 1,0 – 1,1 (69). Die Population, aus der diese Proband*innen rekrutiert wurden, weißt somit sehr gute schulische Leistungen auf. Ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen ist dabei ebenfalls assoziiert mit besseren Leistungen in Schulfächern wie Biologie, Chemie, Physik und Mathematik und führt zu besseren Schulnoten (38, 39). Dadurch scheint es plausibel, dass in dieser

Studienpopulation allgemein ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen vorliegt als in der Normalbevölkerung. Vajsbaher *et al.* verwendete in ihrer Studie ebenfalls den GVVT zum Messen des räumlichen Vorstellungsvermögens. Die Kontrollgruppe zeigte hier im Median einen GVVT-Score von 11,73 und liegt damit unter dem der Medizinstudierenden in dieser Studie (57). Eine statistisch sichtbare Effektstärke könnte in solch einer Population nur schwer dargestellt werden.

Zudem hat sich ein breites Spektrum an beruflichen Vorausbildungen bei den Teilnehmenden gezeigt. Der Kontakt mit topographischen, anatomischen Bildern, sowie zu Schnittbildern variiert in den angegebenen Ausbildungen teilweise sehr. Da das räumliche Vorstellungsvermögen trainiert werden kann, kann dieser Effekt zwischen den unterschiedlichen Ausbildungen variieren (39). Einen Einfluss von spezifischen Berufen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe auf das räumliche Vorstellungsvermögen konnte Vajsbaher *et al.* bei Chirurgen zeigen. Diese erreichten einen GVVT-Score-Median von 18,17. Der GVVT-Score-Median der Kontrollgruppe lag bei 11,73 (57). In einer weiteren Studie von Wang *et al.* zeigten Probanden des Chinesischen Forschungs- und Trainingszentrums für Astronauten einen GVVT-Score-Mittelwert von 15,98 (56).

In dem Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Studierenden zum Umgang und Nutzen der AR-Technik, adaptiert von Kugelmann *et al.* (12), haben fast alle Studierenden der AR-Brille einen Nutzen in der Verbesserung des räumlichen Verständnisses der Anatomie eingeräumt. Insgesamt haben alle Teilnehmenden geantwortet, dass das Lernen mit der AR-Brille ihnen Spaß gemacht habe. Der Einsatz der AR-Brille hat ebenfalls zu einer subjektiven Steigerung der Motivation zum Anatomielernen bei einem großen Anteil der Studierenden geführt. Auch bei fehlendem statistisch signifikantem Effekt für eine Verbesserung des Lernerfolges sind dies wichtige Aspekte für ein andauerndes und effektives Lernen (70, 71). Nahezu alle Teilnehmenden haben angegeben, dass die Verwendung der AR-Technik ihr aktives Lernen stimuliert. Der Ansatz des aktiven Lernens gilt dabei als ein effektives und nachhaltiges Lernkonzept (5, 6, 8). Diese Ergebnisse zum Spaß beim Lernen mit der AR-Brille, der Motivationssteigerung, der Förderung des aktiven Lernens und einer Verbesserung des räumlichen Verständnisses der Anatomie

decken sich mit den Daten von Strotmann *et al.*, Kugelmann *et al.* und den Ergebnissen der Meta-Analyse von García-Robles *et al.* (12, 16, 72).

Barteit *et al.* gibt an, dass es zwischen den individuell Lernenden durchaus Unterschiede in der Lernzeit gibt, bis sie im Umgang mit der AR-Brille erfahren genug sind, um einen Lernvorteil durch diese neue Technik zu bekommen (70). Dieser Effekt könnte auch in dieser Studie zum Tragen gekommen sein, da die meisten Studierenden wenig Vorerfahrungen mit immersiver Technik gemacht haben. Insgesamt haben die meisten Studierenden angegeben, dass die Bedienung der Brille intuitiv war, jedoch hat ungefähr ein Viertel von technischen Problemen während des Studienseminars berichtet (siehe Tabelle 5). Diese Probleme könnten den Lernerfolg geschrägt haben. Es scheint dennoch eine Verbesserung in der Bedienung und der technischen Stabilität der AR-Brille gegeben zu haben, da Studierende in der Studie von Strotmann *et al.*, in der dasselbe AR-Brillen-Modell benutzt wurde, noch von einer weniger intuitiven Bedienung und mehr technischen Problemen berichtet haben (72).

Hieran anknüpfend stellt sich die Frage, ab wann es sinnvoll ist, AR-Technik in der medizinischen Lehre zu implementieren. Ein früherer Einsatz, bereits in den vorklinischen Jahren der Ausbildung, erscheint hier sinnvoll. Die Studierenden könnten Erfahrungen mit der AR-Brille sammeln und somit perspektivisch die Lerneffektivität steigern (70). Weiter könnten sie effektiv vorklinische Inhalte aus der Anatomie mit klinischen Inhalten aus radiologischen Schnittbildern verknüpfen (1, 2). Ein Ansatz für eine mögliche weitere Forschung könnte dabei ein früher und länger andauernder Einsatz der AR-Technik im Studium sein, was dabei zu einem kontinuierlichen Lernen über einen längeren Zeitraum führen könnte. Bei ansteigender Erfahrung im Umgang mit der Technik könnte dadurch der Lerneffekt gesteigert werden (70).

6.3. Methodendiskussion

In der durchgeführten Studie haben sich verschiedene methodische Limitationen gezeigt. Diese haben sich in der Reliabilität des GVVT, dem zeitlichen Ablauf des Prä- und

Post-Tests, den regulären, curricularen Lehrveranstaltung, der Proband*innen Akquise, der technischen Schwierigkeiten und in den Symptomen der Simulatorkrankheit gezeigt. Diese werden im Folgenden näher diskutiert.

Der GVVT ist ein häufig eingesetztes und etabliertes Messinstrument für die Quantifizierung des räumlichen Vorstellungsvermögens (47–49) und wurde bereits in verschiedenen Settings angewendet. Trotzdem konnte auf keine Werte zur Reliabilität, Validität und Präzision aus der Literatur zurückgegriffen werden. Eine Einordnung der in dieser Studie erzielten GVVT-Werten erfolgte somit durch Abgleich mit anderen Studien. In der Arbeit von Vajsbaher *et al.* erreichten Chirurgen einen GVVT-Score-Median von 18,17. Der GVVT-Score-Median einer Kontrollgruppe lag in dieser Studie bei 11,73 (57). In der Arbeit von Hegarty *et al.* erreichten Zahnmedizinstudierende im zweiten Studienjahr einen GVVT-Score-Mittelwert von 15,4 (SD=6,3) und im vierten Studienjahr einen GVVT-Score-Mittelwert von 14,3 (SD=5,9) (47). In einer weiteren Studie von Wang *et al.* zeigten Probanden des Chinesischen Forschungs- und Trainingszentrums für Astronauten einen GVVT-Score-Mittelwert von 15,98 (56). Die Medizinstudierenden im zweiten Studienjahr aus dieser Studie erreichten im Median einen GVVT-Score-Median von 13,67. Damit reihen sich die GVVT-Score-Werte in einen etwas niedrigeren, aber ähnlichen Bereich ein, wie er in den anderen Arbeiten beschrieben wurde.

Für die Durchführung der Studie hat es nur einen engen Zeitraum für eine mögliche Rekrutierung von Studierenden gegeben. Die Teilnehmenden sollten bereits die curricularen, anatomischen Vorlesungen und Seminare zur Leber absolviert haben, um ein gewisses Grundverständnis zur Leberanatomie erworben zu haben. Zwischen dem Prä- und Post-Test lag dabei zeitlich bei allen Teilnehmenden ein anatomisch-radiologisches Seminar. Die Studierenden konnten in diesem Seminar auf der Plattform „easyRadiology“ CT-Sequenzen vom Abdomen in horizontaler, frontaler und sagittaler Ebene betrachten (73). Ein Bias durch einen Lerneffekt durch dieses radiologisch-anatomische Seminar ist demnach nicht gänzlich auszuschließen. Ähnliches gilt für die generelle Vorbereitung der Studierenden auf ihre Modulabschlussprüfung. Diese hat, je nach Studientermin für das AR-Seminar, ein bis zwei Wochen vor dieser Abschlussprüfung gelegen.

Es ist nicht auszuschließen, dass Studierenden in dieser Zeit bereits Inhalte zur Vorbereitung wiederholt haben.

Am angesetzten Termin für den Prätest konnten nur insgesamt 34 Proband*innen in die Studie eingeschlossen werden, obwohl die benötigte Anzahl an Teilnehmenden nach Fallzahlplanung bei 36 gelegen hat. Durch eine weitere, forcierte Akquise unter den Studierenden konnte die Fallzahl innerhalb der folgenden drei Tage auf insgesamt 39 erhöht werden. Die letzten fünf Proband*innen führten den Prätest einzeln in einer Onlinekonferenz durch. Um zu verhindern, dass Hilfsmittel genutzt wurden, haben die Teilnehmenden beim Ausfüllen des Onlinefragebogens ihre Webcam eingeschaltet und ihren Bildschirm gespiegelt.

Weiter war für die meisten Studierenden das Studienseminar ihr erster Kontakt mit einer AR-Brille. Eine so innovative Technik sorgte zu Beginn häufig für große Begeisterung und Staunen bei den Anwendenden. Sie probierten viele Dinge aus und arbeiteten am Anfang nicht so fokussiert und effizient. Aus diesem Grunde wurde die zunächst frei geplante Lernsession durch den Studienleiter moderiert und die Studierenden durch die Lerninhalte geführt. Ein Einfluss der Lehrart des Dozierenden auf die Ergebnisse ist dadurch möglich.

Die Studierenden haben zu Beginn des Studiensemars eine technische Einführung in die AR-Brille und die Software VSI-Holomedizin der Firma „apoQlar“ erhalten. Es wurden dabei grundlegende Dinge, wie z.B. die Interaktion mit den Hologrammen und das Öffnen neuer Patientenfälle erklärt. Trotzdem war der Umgang mit der AR-Technik dabei nicht für alle Studierende im gleichen Maße sofort intuitiv und sie benötigten unterschiedlich lang, bis sie sich in der Handhabung mit den virtuellen Modellen sicher fühlten. Möglicherweise hätten die Teilnehmenden einen größeren Lernfortschritt gehabt, wenn sie bereits erfahrener im Umgang mit den AR-Hologrammen gewesen wären (70). Ein möglicher Ansatz für weitere Forschungsarbeiten könnte dabei ein längerfristiger und früherer Einsatz der AR-Brillen in der anatomischen Lehre sein. Die Studierenden würden durch die häufigere Interaktion mit den Hologrammen sicherer in der Handhabung der Technik. Sie könnten sich mehr auf die zu lernenden Details konzentrieren und

ihren Lernprozess dadurch effektiver gestalten (70, 74). Weiter sollte in weiteren Studien die Vorerfahrung mit immersiven Techniken der Studienteilnehmenden systematisch erhoben werden.

Im Verlauf der Studienseminare mit der AR-Brille klagten manche Studierende über leichte Symptome der Simulatorkrankheit, wie Schwindel, Kopfschmerzen, brennende Augen und allgemeines Unwohlsein. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Vovk et al., wonach ebenfalls leichte Symptome der Simulatorkrankheit bei der Verwendung von AR-Brillen auftreten können (26). Eine Besserung trat dabei nach einer kurzen Pause von der AR-Brille ein, die den einzelnen Studierenden dabei jedoch Übungszeit mit der Brille kosteten. In dieser Arbeit wurden diese Symptome nicht systematisch erhoben, sondern nur als direktes Feedback an den Studienleiter gegeben. In weiterführenden Arbeiten sollte ein Screening auf mögliche Symptome der Simulatorkrankheit erfolgen.

Ein weiterer möglicher Einsatzbereich der AR-Technik in der anatomischen Lehre könnte in der Darstellung pädiatrischer Organe und deren topographischer Beziehungen zueinander liegen. In anatomischen Sektionen werden nur erwachsene Körperspender seziiert, da Kinder keine aktive, informierte Zustimmung für eine Körperspende geben können (52, 75). Modelle von Kindern sind dabei eher die Ausnahme. Segmentierte Modelle könnten dabei z.B. aus Schnittbildern von pädiatrischen Patienten erstellt und in der Lehre eingesetzt werden. Weiter könnte ebenfalls eine AR-Darstellung von Embryonalen Strukturen erfolgen und in der Lehre verwendet werden.

7. Schlussfolgerung

Abschließend lässt sich sagen, dass in dieser Studie Studierende mit einem schwächeren räumlichen Vorstellungsvermögen objektiv keinen größeren Lernfortschritt beim Nutzen von AR-Technik in der anatomischen Lehre zur Leber haben als Studierende mit einem stärkeren räumlichen Vorstellungsvermögen. Es hat sich in beiden Subgruppen des räumlichen Vorstellungsvermögens ein statistisch signifikanter Unterschied im Lernfortschritt vom Prä- zum Post-Test gezeigt.

Weiter zeigten Medizinstudierende mit einer vorherigen beruflichen Ausbildung in dieser Studie keine besseren Testwerte zum räumlichen Vorstellungsvermögen im GVVT als Studierende ohne eine berufliche Vorausbildung.

Die Teilnehmenden sprachen der AR-Brille Spaß beim Lernen, eine subjektive Verbesserung des räumlichen Verständnisses der Anatomie, eine Stimulation des aktiven Lernens und einer subjektiven Verbesserung der Motivation Anatomie zu lernen zu.

Eine ungewohnte Bedienung der AR-Hologramme und eine anfängliche technische Überforderung mancher Studierender konnte bei nur kurzen Lerninterventionen mit der AR-Technik für ineffizientes Lernen zu Beginn führen (70). Weitere Forschungsarbeiten sollten sich mit früheren, längerfristigen und sich wiederholenden AR-Lernsitzungen, bezogen auf den Lernerfolg, beschäftigen.

8. Literatur

1. Yeh D. D., Park Y. S. Improving Learning Efficiency of Factual Knowledge in Medical Education. *J Surg Educ* 2015; 72(5):882–9. doi: 10.1016/j.jsurg.2015.03.012.
2. Grosser, J., Bientzle, M., Shiozawa, T. et al. Acquiring Clinical Knowledge from an Online Video Platform: A Randomized Controlled Experiment on the Relevance of Integrating Anatomical Information and Clinical Practice. *Anatomical sciences education* 2019; 12(5):478–84. doi: 10.1002/ase.1841.
3. McMenamin P. G., McLachlan J., Wilson A. et al. Do we really need cadavers anymore to learn anatomy in undergraduate medicine? *Medical Teacher* 2018; 40(10):1020–9. doi: 10.1080/0142159X.2018.1485884.
4. Dua A., Coppola K. M., Mulheron G. W. et al. Development of a Novel Peer-sharing Application to Supplement Learning from Cadaveric Dissection. *Anatomical sciences education* 2020. doi: 10.1002/ase.2032.
5. Markant D. B., Ruggeri A., Gureckis T. M. et al. Enhanced Memory as a Common Effect of Active Learning. *Mind, Brain, and Education* 2016; 10(3):142–52. Verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/mbe.12117>.
6. Siemens G. Connectivism: A learning theory for the digital age 2005 [Stand: 11.02.2021]. Verfügbar unter: https://jotamac.typepad.com/jotamacs_weblog/files/Connectivism.pdf.
7. Fosnot C.T., Perry R. S. Constructivism: A psychological theory of learning. *Eurographics* 2017.
8. Clark A. An embodied cognitive science? *Trends Cogn Sci* 1999; 3(9):345–51. doi: 10.1016/s1364-6613(99)01361-3.
9. Zinchenko Y. P., Khoroshikh P. P., Sergievich A. A. et al. Virtual reality is more efficient in learning human heart anatomy especially for subjects with low baseline

knowledge. *New Ideas in Psychology* 2020; 59:100786. doi: 10.1016/j.newideapsych.2020.100786.

10. Ferrer-Torregrosa J., Torralba J., Jimenez M. A. et al. ARBOOK: Development and Assessment of a Tool Based on Augmented Reality for Anatomy. *J Sci Educ Technol* 2015; 24(1):119–24. doi: 10.1007/s10956-014-9526-4.
11. Ferrer-Torregrosa J., Jiménez-Rodríguez M. Á., Torralba-Estelles J. et al. Distance learning ects and flipped classroom in the anatomy learning: comparative study of the use of augmented reality, video and notes. *BMC medical education* 2016; 16(1):230. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27581521/>.
12. Kugelmann D., Stratmann L., Nühlen N. et al. An Augmented Reality magic mirror as additive teaching device for gross anatomy. *Ann Anat* 2017; 215:71–7. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29017852/>.
13. Ma M., Fallavollita P., Seelbach I. et al. Personalized augmented reality for anatomy education. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 2016; 29(4):446–53. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26646315/>.
14. Gloy K, Weyhe, P., Uslar, V., Weyhe, D. et al. Immersive Anatomy Atlas: Learning Factual Medical Knowledge in a Virtual Reality Environment. *Anatomical sciences education* 2021. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33896115/>.
15. Bogomolova K, Hierck BP, Looijen, A. E. M et al. Stereoscopic three-dimensional visualisation technology in anatomy learning: A meta-analysis. *Medical Education* 2021; 55(3):317–27. doi: 10.1111/medu.14352.
16. García-Robles P, Cortés-Pérez I, Nieto-Escámez, F. A. et al. Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical sciences education* 2024; 17(3):514–28. doi: 10.1002/ase.2397.
17. Steuer S. Defining Virtual Reality: Demensions Determining Telepresence. *Journal of Communication* 1992:72–93.
18. Azuma R. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1997; 6(4):355–85. doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355.

19. Milgram P, Kishino F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems* 1994; vol. E77-D, no. 12:1321–9.
20. Azuma R., Baillot Y., Behringer R. et al. Recent advances in augmented reality - Computer Graphics and Applications. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001; (21):34–47. doi: 10.1109/38.963459.
21. Wang M, Callaghan V, Bernhardt J, White K, Peña-Rios A. Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies. *J Ambient Intell Human Comput* 2018; 9(5):1391–402. doi: 10.1007/s12652-017-0547-8.
22. Jähne B. *Digitale Bildverarbeitung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012.
23. Uruthiralingam U., Rea P. M. Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education - A Systematic Review. *Advances in experimental medicine and biology* 2020; 1235:89–101. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32488637/>.
24. Müller-Stich B.P., Löb N., Wald D. et al. Regular three-dimensional presentations improve in the identification of surgical liver anatomy - a randomized study. *BMC medical education* 2013; 13:131. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24066729/>.
25. Gerup J., Soerensen C. B., Dieckmann P. Augmented reality and mixed reality for healthcare education beyond surgery: an integrative review. *International journal of medical education* 2020; 11:1–18. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31955150/>.
26. Vovk A, Wild F, Guest W, Kuula T. Simulator Sickness in Augmented Reality Training Using the Microsoft HoloLens. In: *Engage with CHI: CHI 2018 : proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems : April 21 -26, 2018, Montréal, QC, Canada*. New York, New York: The Association for Computing Machinery; 2018. S. 1–9.

27. Kennedy R, Lane N, Berbaum K, Lilienthal M. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology* 1993; 3(3):203–20. doi: 10.1207/s15327108ijap0303_3.
28. Oman C. Sensory Conflict in Motion Sickness: An Observer Theory Approach in Pictorial Communication in Virtual and Real Environments. In: *Pictorial Communication In Real And Virtual Environments*. 0th ed.: CRC Press; 1991. S. 384–98.
29. LaViola J. A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bull*. 2000; 32(1):47–56. doi: 10.1145/333329.333344.
30. Johnson D. Introduction to and review of simulator sickness research: American Psychological Association (APA); 2005.
31. Kennedy R, Lane N, Lilienthal M, Berbaum K, Hettinger L. Profile Analysis of Simulator Sickness Symptoms: Application to Virtual Environment Systems. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1992; 1(3):295–301. doi: 10.1162/pres.1992.1.3.295.
32. Verhoef BE, Vogels R, Janssen P. Binocular depth processing in the ventral visual pathway. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2016; 371(1697). Verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-97368-0.pdf>.
33. Orban G, Janssen P, Vogels R. Extracting 3D structure from disparity. *Trends in Neurosciences* 2006; 29(8):466–73. Verfügbar unter: [https://www.cell.com/trends/neurosciences/comments/S0166-2236\(06\)00141-X](https://www.cell.com/trends/neurosciences/comments/S0166-2236(06)00141-X).
34. Goodale M, Milner AD. Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences* 1992; 15(1):20–5. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166223692903448>.
35. Felleman D, van Essen D. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)* 1991; 1(1):1–47. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1822724/>.

36. Kravitz D, Saleem K, Baker Cea. The ventral visual pathway: an expanded neural framework for the processing of object quality. *Trends Cogn Sci* 2013; 17(1):26–49. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23265839/>.
37. Hess R, To L, Zhou Jea. Stereo Vision: The Haves and Have-Nots. *J perception* 2015; 6(3):2041669515593028. doi: 10.1177/2041669515593028.
38. Liu S, Wei W, Chen Yea. Visual-Spatial Ability Predicts Academic Achievement Through Arithmetic and Reading Abilities. *Front Psychol* 2020; 11:591308. doi: 10.3389/fpsyg.2020.591308.
39. Uttal D, Meadow N, Tipton Eea. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychol Bull* 2013; 139(2):352–402. doi: 10.1037/a0028446.
40. Thurstone LL. Some Primary Abilities in Visual Thinking. *Proceedings of the American Philosophical Society* 1950; 94(6):517–21. Verfügbar unter: <http://www.jstor.org/stable/3143593>.
41. McGee MG. Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychol Bull* 1979; 86(5):889–918.
42. Garg A, Norman G, Sperotable L. How medical students learn spatial anatomy. *Lancet (London, England)* 2001; 357(9253):363–4. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11211004/>.
43. Huk T. Who benefits from learning with 3D models? the case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning* 2006; 22(6):392–404 [Stand: 05.01.2022]. Verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x?download=true>.
44. Cui D, Wilson T, Rockhold Rea. Evaluation of the effectiveness of 3D vascular stereoscopic models in anatomy instruction for first year medical students. *Anatomical sciences education* 2017; 10(1):34–45. doi: 10.1002/ase.1626.
45. Bork F, Stratmann L, Enssle Sea. The Benefits of an Augmented Reality Magic Mirror System for Integrated Radiology Teaching in Gross Anatomy. *Anatomical*

- sciences education 2019; 12(6):585–98. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30697948/>.
46. D Weyhe, C Strotmann, MA Bisotti, S Pelzl, V Ödemis, D Salzmann. Einsatz von Augmented-Reality in der universitären klinisch-anatomischen Lehre zu der Pankreas. Zeitschrift für Gastroenterologie 2022; (8):KA479. Verfügbar unter: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0042-1755040>.
 47. Hegarty M, Keehner M, Khooshabeh Pea. How spatial abilities enhance, and are enhanced by, dental education. Learning and Individual Differences 2009; 19(1):61–70. doi: 10.1016/j.lindif.2008.04.006.
 48. Keehner M, Hegarty M, Cohen Cea. Spatial reasoning with external visualizations: what matters is what you see, not whether you interact. Cognitive Science 2008; 32(7):1099–132. doi: 10.1080/03640210801898177.
 49. Eliot J, Macfarlane Sea. An international directory of spatial tests. Windsor, Berks.: NFER-Nelson; 1983.
 50. Cooper J, Warshowsky J. Lateral displacement as a response cue in the Titmus Stereo test. Am J Optom Physiol Opt 1977; 54(8):537–41. doi: 10.1097/00006324-197708000-00009.
 51. Hall C. THE RELATIONSHIP BETWEEN CLINICAL STEREOTESTS. Ophthalmic and Physiological Optics 1982; 2(2):135–43. doi: 10.1111/j.1475-1313.1982.tb00168.x.
 52. WMA - Ethische Deklaration von Helsinki - Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen; 2013. (Bd. 2013) [Stand: 11.03.2023]. Verfügbar unter: https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/_old-files/downloads/pdf-Ordner/International/Deklaration_von_Helsinki_2013_20190905.pdf.
 53. Yildirim C. Cybersickness during VR gaming undermines game enjoyment: A mediation model. Displays 2019; 59:35–43. doi: 10.1016/j.displa.2019.07.002.
 54. Uslar V, Preibisch J, Weyhe Dea. Nutzen der VR-Technik in der klinischen Lehre und der bildgebenden Diagnostik. In: Zeitschrift für Gastroenterologie : Z

Gastroenterol: Georg Thieme Verlag; 2022. KA481 (vol. 60) [Stand: 19.08.2022].

Verfügbar unter: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0042-1755042>.

55. AMBOSS GmbH. Kapitel: Leber: Vorklinische Kreuzfragen zur Leber; 2022 [Stand: 09.12.2022]. Verfügbar unter: <https://next.amboss.com/de/article/F60g5S?q=leber#Zd2e720665a4464aa1e9b8bf5aa0c8ecd>.
56. Wang C, Tian Y, Chen S., Zhiqiang T, Jiang T., Du F. Predicting performance in manually controlled rendezvous and docking through spatial abilities. *Advances in Space Research* 2014; 53(2):362–9. doi: 10.1016/j.asr.2013.10.031.
57. Vajsbaher T, Schultheis H, Janssen S, Weyhe D, Bektas H, Uslar V et al. The development of visuospatial abilities and their impact on laparoscopic skill acquisition: a clinical longitudinal study. *Surg Endosc* 2022; 36(12):8908–17. doi: 10.1007/s00464-022-09328-1.
58. Hemmerich WA. Rechner zur Adjustierung des α -Niveaus | StatistikGuru.de; 2022 [Stand: 25.02.2022]. Verfügbar unter: <https://statistikguru.de/rechner/adjustierung-des-alphaniveaus.html>.
59. Roach, VA., Mistry, MR., Wilson, TD. Spatial visualization ability and laparoscopic skills in novice learners: evaluating stereoscopic versus monoscopic visualizations. *Anatomical sciences education* 2014; 7(4):295–301. doi: 10.1002/ase.1412.
60. Hoyek N, Collet C, Rastello Oea. Enhancement of mental rotation abilities and its effect on anatomy learning. *Teaching and learning in medicine* 2009; 21(3):201–6. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20183339/>.
61. Lufler R, Zumwalt A, Romney Cea. Effect of visual-spatial ability on medical students' performance in a gross anatomy course. *Anatomical sciences education* 2012; 5(1):3–9. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22127919/>.
62. Bogomolova K, van der Ham IJ, Dankbaar, M. E.W. et al. The Effect of Stereoscopic Augmented Reality Visualization on Learning Anatomy and the Modifying Effect of Visual-Spatial Abilities: A Double-Center Randomized Controlled Trial. *Anatomical*

- sciences education 2020; 13(5):558–67. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31887792/>.
63. Vorstenbosch M, Klaassen TPFM, Donders ARTR, Kooloos JGM, Bolhuis SM, Laan RFJM. Learning anatomy enhances spatial ability. Anatomical sciences education 2013; 6(4):257–62. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23349122/>.
 64. Ho S, Liu P, Palombo Dea. The role of spatial ability in mixed reality learning with the HoloLens. Anatomical sciences education 2021. doi: 10.1002/ase.2146.
 65. Bork, F., Lehner, A., Kugelmann D. et al. The Effectiveness of Collaborative Augmented Reality in Gross Anatomy Teaching: A Quantitative and Qualitative Pilot Study. Anatomical sciences education 2020. Verfügbar unter: <https://anatomy-pubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ase.2016>.
 66. Voyer D, Voyer S, Bryden MP. Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. Psychol Bull 1995; 117(2):250–70. doi: 10.1037/0033-2909.117.2.250.
 67. Bartlett K, Camba J. Gender Differences in Spatial Ability: a Critical Review. Educ Psychol Rev 2023; 35(1):1–29. Verfügbar unter: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-023-09728-2&casa_token=kw8xhl7xuo8aaaaa:fgefafylm2myvgbcp0kj8k8czxz5a8zyp-zew7l3ihws99vdpcqrx2lt5tf3oivyyystfq4kggn2snwvx2q.
 68. Fisher M, Meredith T, Gray M. Sex Differences in Mental Rotation Ability Are a Consequence of Procedure and Artificiality of Stimuli. Evolutionary Psychological Science 2018; 4(2):124–33. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40806-017-0120-x>.
 69. hochschulstart.de. Detailergebnisse des Zentralen Verfahrens (ZV) zum Wintersemester 2022/2023 [Stand: 08.03.2023]. Verfügbar unter: https://hochschulstart.de/fileadmin/media/dosv/nc/ws22-23/nc_humanmedizin_ws22_23.pdf.

70. Bartelt S, Lanfermann L, Bärnighausen Tea. Augmented, Mixed, and Virtual Reality-Based Head-Mounted Devices for Medical Education: Systematic Review. *JMIR Serious Games* 2021; 9(3):e29080. doi: 10.2196/29080.
71. Stepan K, Zeiger J, Hanchuk S, Del Signore A, Shrivastava R, Govindaraj S et al. Immersive virtual reality as a teaching tool for neuroanatomy. *Int Forum Allergy Rhinol* 2017; 7(10):1006–13. doi: 10.1002/alr.21986.
72. Strotmann C, Tabriz N, Weye, D. et al. Augmented Reality (AR) in anatomical teaching of the pancreas – Randomized-controlled study [unveröffentlichtes Manuskript]. Oldenburg; 2022.
73. easyRadiology. easyRadiology - send radiology images: easyRadiology AG; 2019 [Stand: 03.10.2023]. Verfügbar unter: <https://www.easyradiology.net/>.
74. Azer S, Azer S. 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. *Health Professions Education* 2016; 2(2):80–98. doi: 10.1016/j.hpe.2016.05.002.
75. Winkelmann A. Consent and consensus-ethical perspectives on obtaining bodies for anatomical dissection. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 2016; 29(1):70–7. doi: 10.1002/ca.22651.

V. Anhang

V.I. Ethikvotum

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg / 26111 Oldenburg

Pius-Hospital Oldenburg
Universitätsklinik für Viszeralchirurgie
Frau Dr. Verena Nicole Uslar
Georgstraße 12
26121 Oldenburg

per E-Mail:

- verena.uslar@uni-oldenburg.de

Titel: Anwendung von Augmented-Reality-Devices in der anatomischen Lehre in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen in der medizinischen Lehre zur Leber (AR-rVo)

Antragstellerin: Dr. Verena Uslar

Unser Aktenzeichen: 2022-105 (bitte stets angeben)

Carl von Ossietzky
Universität
Oldenburg

Fakultät VI - Medizin
und Gesundheits-
wissenschaften

Medizinische Ethikkommission
- Geschäftsstelle -

TELEFONDURCHWAHL
+49 (0)441 798 3109

FAX
+49 (0)441 798 4745

E-MAIL
med.ethikkommission@uni-oldenburg.de

VORSITZENDER
Prof. Dr. med. Frank Griesinger

JURISTIN
Ass. jur. Carola Alvarez Castillo

OLDENBURG, 21.09.2022

Beratung gem. §15 BO ÄKN

Sehr geehrte Frau Dr. Uslar,

Ihr Antrag vom 01.08.2022, eingegangen am 01.08.2022, hat der medizinischen Ethikkommission im Umlaufverfahren zur Beratung gem. §15 BO ÄKN vorgelegen.

Die medizinische Ethikkommission hat keine Bedenken gegen die Durchführung der o. g. Studie.

Bitte beachten Sie folgende Hinweise aus der Biometrie:

- in der Hauptfragestellung sind die Hypothesen H₀ und H₁ vertauscht
- die Zielgröße soll binär verwendet werden, jedoch sind die gewählten Methoden für metrische Variablen ausgelegt
- die abstrakte Effektgröße ist ebenfalls für eine metrische Variable angegeben, zudem wird aus der Fallzahlplanung nicht klar, wie deren Wert berechnet wurde
- eine Begründung für den erwarteten Dropout von 25% wird nicht gegeben
- die Fallzahlplanung wurde nicht für das multiple Testen korrigiert
- die Analyse zur Beantwortung der Hauptfragestellung Wird ein t-Test sein, die Planungen wurden jedoch für eine ANOVA durchgeführt.

POSTANSCHRIFT
D-26111 Oldenburg

PAKETANSCHRIFT
Ammerländer Heerstraße 114-118
D-26129 Oldenburg

STANDORT
Campus Haarentor
Gebäude V03, 3. OG, Flügel B
Raum B309 / B310
Ammerländer Heerstraße 138
26129 Oldenburg

BANKVERBINDUNG
Landessparkasse zu Oldenburg
IBAN DE46 2805 0100 0001 9881 12
BIC SLZODE22

STEUERNUMMER
6422008701
www.uol.de

Bitte beachten Sie noch folgende Punkte:

- Die Ethikkommission erwartet, dass ihr ohne Aufforderung ein Abschlussbericht mit dem beigelegten **Formular B** übermittelt wird.
- Unabhängig davon ist die Ethikkommission unaufgefordert und zeitnah über alle Änderungen am Prüfplan, sowie den in diesem Antrag vorgelegten Dokumenten unaufgefordert und unverzüglich zu unterrichten. Ihr sind unaufgefordert alle schweren unerwünschten Ereignisse mitzuteilen, soweit sie im Zuständigkeitsbereich der Ethikkommission aufgetreten sind.
- Die ethische medizinische und juristische Verantwortung des Studienleiters und des an der Studie beteiligten medizinischen und wissenschaftlichen Personal bleibt entsprechend der Beratungsfunktion der medizinischen Ethikkommission durch diese Stellungnahme unberührt.
- Die Ethikkommission kann dieses Votum jederzeit zurückziehen oder ändern. Dies wird dem Antragsteller mitgeteilt.
- Bitte machen Sie dieses Votum und die der Begutachtung zugrundeliegenden Dokumente allen beteiligten Ärztinnen und Ärzten und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zugänglich.

An der Beratung und Beschlussfassung haben keine Kommissionsmitglieder teilgenommen, die selbst an dem Forschungsvorhaben mitwirken oder deren Interessen davon berührt werden.

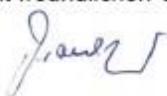
Wir bitten um Mitteilung der teilnehmenden Ärztinnen und Ärzte im Zuständigkeitsbereich der Universität Oldenburg, sobald diese bekannt sind bzw. sofern im Verlauf weitere Ärztinnen und Ärzte hinzukommen.

Wir möchten darauf hinweisen, dass die Stellungnahme der medizinischen Ethikkommission und die studienrelevante Korrespondenz an alle teilnehmenden Ärztinnen und Ärzte weiterzuleiten ist.

Bitte informieren Sie die Ethikkommission unter Nutzung des beigefügten Formulars A über den Beginn der Rekrutierung an Ihrem Studienzentrum.

Wir wünschen Ihnen bei der Durchführung Ihrer Studie viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Frank Griesinger
Vorsitzender der medizinischen Ethikkommission

V.II. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichungen, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Oldenburg, 04.12.2024

Ort, Datum

Unterschrift des Promovierenden

V.III. Erklärung über Untersuchungen am Menschen

Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen am Menschen wurden auf Grundlage der revidierten Deklaration von Helsinki des Weltärztekongresses (2013) und den entsprechenden gesetzlichen Grundlagen durchgeführt. Dieses Vorhaben wurde von der medizinischen Ethikkommission der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg mit dem Aktenzeichen „2022-105“ befürwortet. Antragstellerin war Dr. Verena Uslar.

Oldenburg, 04.12.2024

Ort, Datum

Unterschrift des Promovierenden

V.IV. Erklärung zur Abgrenzung von anderen Prüfungsleistungen

Ich versichere, dass ich die vorliegende Dissertation nicht schon überwiegend für eine Bachelor-, Master-, Diplom- oder ähnlichen Prüfungsleistungen verwendet habe.

Oldenburg, 04.12.2024

Ort, Datum

Unterschrift des Promovierenden

V.V. Erklärung, dass keine Vermittlungs- oder Beratungsdienste in Anspruch genommen wurden

Ich versichere, dass ich zum Erstellen der vorliegenden Dissertation keine Vermittlungs- oder Beratungsdienste (Promotionsberatung) in Anspruch genommen habe.

Oldenburg, 04.12.2024

Ort, Datum

Unterschrift des Promovierenden