
Themenheft Nr. 51:

Immersives Lehren und Lernen mit Augmented und Virtual Reality – Teil 2.

Herausgegeben von Miriam Mulders, Josef Buchner, Andreas Dengel und Raphael Zender

Lernen mit Augmented Reality Technologie in der Hochschullehre

Erkenntnisse einer Videostudie mit angehenden Sekundarlehrpersonen

Florian Furrer¹ , Wolfgang Bühler¹ , Corinne Wyss² , Adrian Degonda¹  und Jan A. Hiss³ 

¹ Pädagogische Hochschule Zürich

² Pädagogische Hochschule der Fachhochschule Nordwestschweiz (PH FHNW)

³ ETH Zürich

Zusammenfassung

Augmented Reality (AR) ist eine Technologie zur Anreicherung der Wahrnehmung der realen Umwelt mit virtuellen Elementen durch Geräte wie Smartphones, Tablets oder spezielle AR-Headsets wie die HoloLens. AR wird ein grosses Potenzial für den Einsatz in der Bildung zugesprochen. Die Erforschung ihres Einsatzes in der Bildung, insbesondere in Bezug auf die Lehrpersonenbildung, ist jedoch noch lückenhaft. Die Praktikabilität für den Einsatz von AR, der Einfluss auf die Lernprozesse und mögliche Herausforderungen, wie Usability oder Ablenkung, müssen vertieft untersucht werden. Da Lehrpersonen eine zentrale Rolle im Bildungsprozess einnehmen und deren Einstellungen für den Technologieinsatz entscheidend sind, wurde mit 18 angehenden Sekundarlehrpersonen an der Pädagogischen Hochschule Zürich eine Videostudie durchgeführt. Dazu wurde der Einsatz der Molekülbrowser-Software Molegram-Scientist auf dem AR-Headset HoloLens im Rahmen einer kollaborativen Lerneinheit explorativ erforscht. Die Auswertungen zeigen, dass trotz der Neuartigkeit der AR-Headsets und der daraus resultierenden potenziellen Herausforderungen die Lernaufgaben konzentriert gelöst wurden. Die Bedienbarkeit erwies sich als zufriedenstellend und der Umgang mit intuitiven Interaktionsmöglichkeiten, wie der Bewegung im Raum oder die Möglichkeiten zur Kollaboration, wurden intensiv genutzt. Übergreifend kann damit festgehalten werden, dass die AR-Technologie für ein kollaboratives Unterrichtssetting geeignet erscheint und weiter untersucht werden sollte.

Learning with Augmented Reality Technology in Higher Education. Results of a Video Study with Secondary-Level Pre-service Teachers

Abstract

Augmented Reality (AR) is a technology used to enrich the real world with virtual elements by using computer systems like smartphones, tablets, or specialized AR-headsets like HoloLens. Large potential is attributed to the deployment of AR in education. However, research about AR in education is incomplete, especially regarding teacher education. The practicability of AR-deployment, its impact on learning processes and the potential challenges need further attention. Teachers have a central role in educational processes and their attitude towards using technology in the classroom is crucial for its implementation. Therefore, a video study with 18 secondary-level pre-service teachers from the Zurich University of Teacher Education has been realized. In this exploratory study, the molecular browser application Molegram-Scientist was implemented in a collaborative learning unit using the AR-headset HoloLens. The analysis shows that the learning tasks were accomplished in a focused manner, despite AR-headsets being a novelty and therefore potentially distractive. The usability has shown to be satisfactory. Intuitive possibilities to interact, like dislocating in the classroom or to collaborate with other users, were used intensively. In general, the results indicate that AR-technology seems to be suitable for collaborative learning units and should be investigated further.

1. Augmented Reality und deren Einsatz in der Bildung

Bei Augmented Reality (AR) handelt es sich im Gegensatz zu Virtual Reality (VR) um eine Technologie, welche die reale Umgebung direkt oder indirekt in Echtzeit mit computergenerierten Inhalten anreichert, anstatt sie komplett zu ersetzen (Geroimenko 2020; Kaufmann 2003; Kesim und Ozarlan 2012; Carmigniani und Furht 2011). Daraus resultiert eine hybride Welt als Benutzeransicht, welche eine Kombination der Sicht auf die reale Umwelt mit digitalen Informationen und Objekten darstellt (Kaufmann 2003; Nincarean et al. 2013; Schranz 2014). Grundsätzlich sind vielfältige Arten der Augmentation wie beispielsweise Text, Audio, Bilder, Video oder 3D-Objekte möglich (Tzima, Styliaras, und Bassounas 2019; Bower et al. 2014; Kesim und Ozarlan 2012). Augmented Reality ist eine Technologie, welche bereits seit längerem existiert und sich in aktiver Entwicklung befindet. Mit dem technischen Fortschritt findet die Technologie zunehmend auch im Bildungsumfeld breitere Verwendung (Sánchez Luquerna und Diaz 2022).

1.1 Unterschiedliche Gerätelösungen

Augmented Reality kann auf verschiedenen Geräten umgesetzt werden. So gibt es beispielsweise Anwendungen für Smartphones und Tablets, welche durch die integrierte Kamera eine indirekte Sicht auf die Umwelt ermöglichen und diese mit Informationen anreichern. Dedizierte Geräte wie beispielsweise das Microsoft HoloLens-Headset ermöglichen hingegen durch die integrierte Brille mit zwei transparenten Displaybereichen eine direkte Sicht auf die Umwelt. Jede dieser Lösungen bietet für sich Vor- und Nachteile. Aufgrund des singulären Displaybereichs bei Smartphones und Tablets ist die abgebildete hybride Welt beispielsweise nicht wirklich als dreidimensional wahrnehmbar, bei der Headset-Lösung wird hingegen aufgrund der Stereoskopie durch zwei separate Displaybereiche tatsächlich der Eindruck dreidimensionaler Objekte erzeugt. Ein weiterer Vorteil der Headsets liegt darin, dass eine einfache intuitive Interaktion mit der Umgebung möglich ist, ohne dass zusätzliche Geräte bedient werden müssen (Kazanidis, Pellas, und Christopoulos 2021; Garzón 2021). Dies geschieht im Fall der HoloLens mittels Handgesten oder der Bewegung des Kopfs. Nachteile sind, dass das bei AR üblicherweise noch kleine Sichtfeld den Realismus der 3D-Projektion einschränkt (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019) und die Kosten für eine Anschaffung der Geräte aktuell hoch sind (Geroimenko 2020). Smartphones und Tablets ermöglichen im Gegenzug eine AR-Lösung mit Geräten, welche entweder bereits vorhanden sind oder kostengünstig angeschafft werden können. Diese Geräte sind zudem im Einsatz erprobt und bieten nebst AR weitere Anwendungsmöglichkeiten (Garzón 2021).

1.2 Lernprozesse unterstützen mit Augmented Reality

Im Bildungsbereich wird AR mit der Erwartung eingesetzt, Lernprozesse zu unterstützen, zu optimieren und zu vereinfachen. Diesbezüglich wird AR eine Vielzahl von Vorteilen und grosses Potenzial zugeschrieben (López-Belmonte et al. 2020; Geroimenko 2020; Sánchez Luquerna und Diaz 2022). Breiter Konsens besteht darin, dass die Lernenden durch AR erhöhte Motivation aufweisen und sich dadurch stärker in den Lernprozess einbringen (Kempke und Zeidler 2022; Mohamad Nizar et al. 2022; López-Belmonte et al. 2020; Kaufmann 2003; Peterson et al. 2020; Sánchez Luquerna und Diaz 2022). Da es sich bei AR um eine Technologie handelt, die in der Bildung noch wenig verbreitet ist, kann AR aufgrund der Neuartigkeit, insbesondere mit Geräten wie den AR-Headsets, ein Lernantrieb sein, was sich positiv auf das Lernen auswirken kann (Peterson et al. 2020; Li und L. Liu 2022; Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019). Es ist allerdings möglich, dass dieser Effekt bei vermehrter Nutzung der Technologie abnehmen wird (İbili et al. 2020).

AR bietet die Möglichkeit, handlungsorientierte Lernformen, beispielsweise praktische Laborarbeiten im Naturwissenschaftsunterricht, einfacher umzusetzen und die Sicherheit stets zu gewährleisten. Die Lehrperson wird dadurch entlastet und hat mehr freie Ressourcen zur Unterstützung der Lernenden (Sánchez Luquerna und Diaz 2022; Kazanidis, Pellas, und Christopoulos 2021; Lee 2012). Zudem müssen weder spezialisiertes Laborequipment noch aufwendig ausgestattete Räumlichkeiten zur Verfügung stehen. Der (Vorbereitungs-)Aufwand für die Experimente, sowohl seitens der Lehrperson als auch der Lernenden, wird reduziert, wodurch die aktive Lernzeit gesteigert werden kann (İbili et al. 2020). Des Weiteren bietet AR die Möglichkeit, mit Objekten und abstrakten Konzepten in Kontakt zu kommen, welche in der realen Welt nicht einfach zugänglich sind (Mohamad Nizar et al. 2022; İbili et al. 2020; Chen et al. 2017). Dazu gehört beispielsweise die submikroskopische Ebene der Atome. AR ermöglicht, diese sonst kognitiv schwer erfassbare Ebene erfahrbar zu machen, sodass das Verständnis der Lernenden und somit der Lernprozess unterstützt wird (Kempke und Zeidler 2022).

Nebst der Eröffnung neuer Darstellungsmöglichkeiten unterstützt AR eine Flexibilisierung des Lernprozesses. Das hierdurch erweiterte Unterrichtsmaterial erlaubt eine verstärkte Schülerorientierung mit flexiblem Lerntempo und stärker individualisierten Lernaufgaben (Kempke und Zeidler 2022; İbili et al. 2020). Die Lernenden werden so zu aktiven Mitgestaltern im eigenen Lernprozess (Kellems, Cacciatore, und Osborne 2019). Ausserdem bietet AR (beispielsweise im Gegensatz zu VR) gute Möglichkeiten, Aufträge kollaborativ zu bearbeiten (Kesim und Ozarlan 2012; Muhammad Nur Affendy und Ajune Wanis 2019). In Bezug auf den Lernzuwachs konnten bereits diverse Studien positive Befunde berichten (İbili et al. 2020; Chen et al. 2017; Geroimenko 2020), allerdings gibt es auch negative Berichte (Peterson et al. 2020) oder Befunde mittelmässiger Effektstärken (Garzón 2021). Langzeitstudien zu dieser Thematik sind noch ausstehend und stellen ein wichtiges Desiderat dar (Geroimenko 2020). In einzelnen Studien werden weitere Vorteile von AR festgestellt, beispielsweise die Reduktion der kognitiven Belastung (Mohamad Nizar et al. 2022) oder eine Erhöhung der Kreativität (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019; İbili et al. 2020).

Der Einsatz von neuartigen AR-Lösungen bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Dazu gehören die Erschwerung der Umsetzung in der Klasse aufgrund technischer Probleme (Sánchez Luquerna und Diaz 2022), die limitierten zusätzlichen Verwendungsmöglichkeiten durch die starke Spezialisierung der Geräte auf AR (Kazanidis, Pellas, und Christopoulos 2021) oder hohe Wartungskosten bei dedizierten Geräten, sowie Vorbehalte gegenüber der neuartigen Technik unter den Lehrenden oder Lernenden (Lee 2012). Die Benutzerfreundlichkeit der AR-Lösungen wurde in Studien unterschiedlich bewertet, von einem intuitiven und einfachen Umgang (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019; İbili et al. 2020) bis hin zu Problemen aufgrund

der kognitiven Komplexität der AR-Lösungen (Garzón 2021), was bei Lernenden zu Ablenkungen von der eigentlichen Lernaufgabe führen kann (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019). Zudem bildet das noch beschränkte Angebot an AR-Anwendungen, die für Lehr-Lern-Prozesse nutzbar sind, eine zusätzliche Barriere. Im letzten Jahrzehnt wurden zwar vermehrt AR-Anwendungen für diverse Bildungsstufen und Lerninhalte entwickelt (Garzón 2021; Sánchez Luquerna und Diaz 2022), diese Anwendungen sind jedoch mehrheitlich für Smartphones konzipiert (Kempke und Zeidler 2022; Lee 2012; Geroimenko 2020). Ausserdem sind die technischen Hürden im Zusammenhang mit der Nutzung und Erstellung eigener Anwendungen hoch (Geroimenko 2020; Garzón 2021). Obwohl AR-Anwendungen für diverse Schulfächer vorhanden sind (Geroimenko 2020; İbili et al. 2020; Y. Liu, Sathishkumar, und Manickam 2022), bilden die Naturwissenschaften gefolgt von der Mathematik bislang die häufigsten Einsatzgebiete (Garzón 2021; Geroimenko 2020).

1.3 AR im Naturwissenschaftsunterricht

Im Rahmen der diesem Beitrag zugrunde liegenden Studie wurde eine bestehende AR-Anwendung in Form eines Molekülbrowsers (*Molegram-Scientist*) für das naturwissenschaftliche Lernen im Lehramtsstudium verwendet. Die Anwendung wird später ausführlicher beschrieben. Grundsätzlich hat die Vermittlung der Strukturen von Molekülen das Ziel, den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion besser zu verstehen (Safadel und White 2019) und ist Teil der fachwissenschaftlichen Ausbildung zur Lehrperson auf der Sekundarstufe I. Da dieser Lerninhalt die submikroskopische Ebene betrifft und nicht ohne Hilfsmittel erfahrbar ist, wird er üblicherweise mittels 2D Repräsentationen vermittelt. Dies erschwert eine gedankliche Übersetzung in eine 3D Struktur und birgt Potenzial für Fehlvorstellungen (Peterson et al. 2020). Die Verwendung dreidimensionaler Modelle bietet sich daher an und es gibt hierfür physische Steckbausätze. Damit ist es jedoch schwierig, verschiedene Modelle für mehrere Studierende zur Verfügung zu stellen oder dynamische Prozesse darzustellen (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019). Da AR diese Problematiken aufzufangen vermag, bietet sich diese Technologie als Ergänzung für das Lernen von Molekülstrukturen an (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019; Peterson et al. 2020), auch wenn es teilweise noch starke Limitationen bezüglich der darstellbaren Komplexität gibt (Peterson et al. 2020).

1.4 Erforschung von AR in der Lehrpersonenbildung

Die Erforschung von AR für die Bildung wird seit der Jahrtausendwende intensiviert (López-Belmonte et al. 2020; Garzón 2021; Chen et al. 2017). Dennoch bleibt deren Potenzial bislang noch grösstenteils unerforscht und die Resultatelage zu

Lehren und Lernen mit AR ist noch wenig umfangreich (Mohamad Nizar et al. 2022; Geroimenko 2020). Interessanterweise wurden Lehramtsstudierende bislang kaum untersucht (M. Akçayır und G. Akçayır 2017; Garzón, Pavón, und Baldiris 2019). Dass dieser Untersuchungsfokus lohnend ist, ergibt sich aus der speziellen Funktion der Lehrpersonen im Bildungssystem. Sie besetzen eine Multiplikatorenrolle und sind für den nachhaltigen Einsatz von Medien, wozu auch die AR-Technologie gehört, im Schulfeld verantwortlich (Tzima, Styliaras, und Bassounas 2019). Durch Studien bereits untersucht und belegt ist die Relevanz der Motivation, der Einstellung, des Wissens und der Fähigkeiten der Lehrperson gegenüber dem didaktisch wertvollen Einsatz digitaler Werkzeuge im Allgemeinen (Petko und Döbeli Honegger 2011; Lachner, Scheiter, und Stürmer 2020). Die Sicht von Lehrpersonen, insbesondere deren Affinität, Abneigung, Erfahrungen und Wissen über die AR-Technologie als Instrument im Bildungskontext im Speziellen, ist deshalb ein interessantes Forschungsfeld, zu welchem bislang erst wenige Erkenntnisse vorhanden sind. Daneben stellt die Beforschung von AR-Lerninhalten aus didaktischer und pädagogischer Sicht ein weiteres, dringliches Desideratum dar.

Aufgrund der beschriebenen Befundlage wurde an der Pädagogischen Hochschule Zürich das Projekt «ALex – Augmented Reality in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Eine explorative Studie mit HoloLens im Fachbereich Naturwissenschaft und Technik» lanciert.¹ Das Ziel der Studie lag darin, Chancen und Herausforderungen des Einsatzes von Augmented Reality in der Ausbildung von Lehrpersonen zu ergründen und damit einen Beitrag zum bestehenden Forschungsdefizit zu leisten.

2. Forschungsprojekt ALex – eine explorative Studie mit angehenden Lehrpersonen

2.1 Fragestellung

Die explorative Studie ALex widmet sich der Erforschung des Einsatzes von Augmented Reality, hier am Beispiel der HoloLens, in der Ausbildung angehender Lehrpersonen. Für diesen Beitrag stehen die folgenden Forschungsfragen im Fokus:

- | | |
|--------------------|---|
| Forschungsfrage 1: | Inwiefern wird der Lernprozess durch den Einsatz der HoloLens beeinträchtigt? |
| Forschungsfrage 2: | Wie manifestiert sich der Einsatz der HoloLens in der AR-basierten Arbeitsphase? |
| Forschungsfrage 3: | Inwiefern kann der Einsatz von HoloLens das fachwissenschaftliche Lernverständnis unterstützen? |

¹ Das Projekt wurde durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) unterstützt. SNF Projektnummer: 10DL19183135.

Um diesen Fragen nachzugehen, wurde eine AR gestützte Lerneinheit entwickelt und mit angehenden Lehrpersonen umgesetzt. Die Studie soll Aufschluss darüber geben, was bei der Entwicklung und dem Einsatz von Augmented Reality im Bildungsumfeld und im Spezifischen in der Lehrpersonenbildung beachtet werden sollte und wo die tatsächlichen Vorzüge zu verorten sind.

2.2 Stichprobe

Die Studie wurde mit 18 angehenden Lehrpersonen der Sekundarstufe I an der Pädagogischen Hochschule Zürich durchgeführt. Das Projekt wurde in verschiedenen fachdidaktischen Modulen im Fach Naturwissenschaft und Technik (NT) des Studiengangs durch den Dozierenden vorgestellt und die Studierenden zur Teilnahme angeregt. Die Studierenden konnten sich anschliessend freiwillig für eine Teilnahme melden. Die Datenerhebungen fanden ausserhalb der regulären Modulzeiten und ohne zusätzliche Anreize zur Teilnahme statt. Die Stichprobe verteilte sich auf 8 weibliche und 10 männliche Proband:innen. Die Studienteilnehmenden waren alle in der Fachausbildung zu Naturwissenschaft und Technik, wobei der Studienstand heterogen war (2 Studierende im 2. Semester, 11 Studierende im 4. Semester, 5 Studierende im 8. Semester). Für die Datenerhebungen wurden die Studienteilnehmenden aufgrund des Lehr-/Lernsettings in vier Gruppen zu je 4 bis 5 Personen aufgeteilt. Für die kollaborative Arbeitsphase wurde jede Gruppe noch einmal in zwei Halbgruppen unterteilt. Die Erhebungen fanden alle im Mai 2019 statt.

2.3 Design

Mit allen vier Gruppen wurde der gleiche, in Abbildung 1 schematisch dargestellte Studienablauf durchgeführt. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Schritte genauer erläutert.



Abb. 1: Studiendesign im Projekt ALEX (eigene Abbildung).

2.3.1 Themenspezifische Einführung

Alle Studierenden haben sich bereits im Rahmen ihrer curricularen Ausbildung mit der Thematik der Proteinstrukturen befasst. Um sinnvoll am praktischen Auftrag arbeiten zu können und da sich die Studierenden in unterschiedlichen Semestern befanden, wurde eine gemeinsame themenspezifische Einführung zu den

fachwissenschaftlichen Grundlagen in Form einer Repetition durchgeführt. Diese fand in einem Setting mit konventioneller Frontallehre statt und war technologieagnostisch. Das Ende der Einführung bildete die Erklärung der Aufgabenstellung und eine Überleitung zum praktischen Arbeiten mit HoloLens.

2.3.2 Papierbasierter Fragebogen

Im zweiten Schritt wurde eine papierbasierte Fragebogenerhebung durchgeführt, welche Fragen zu Motivation, Technikbereitschaft, Erfahrungen mit AR und Weiterem enthielt. Da die damit verbundenen Fragestellungen und Resultate nicht unmittelbar mit den Videodaten zusammenhängen, wurde deren Auswertung separat veröffentlicht. Eine detaillierte Beschreibung und die Auswertung der verwendeten Skalen findet sich bei Wyss et al. (2022).

2.3.3 Einführung in die Bedienung der HoloLens

In dieser Phase konnten die Teilnehmenden erste Eindrücke mit der AR-Technologie sammeln. Da der Umgang mit HoloLens für die Studierenden eine neue Erfahrung darstellte, musste das Gerät und insbesondere dessen Bedienung zuerst eingeführt werden. Allen Studienteilnehmenden wurde eine HoloLens ausgehändigt und auf den Kopfumfang angepasst. Zusätzlich wurde erklärt, wie die vorinstallierte Benutzereinführung gestartet werden kann, woraufhin die Studierenden selbstständig die Einführung absolvierten. Diese erklärte einerseits die mit der Hand auszuführenden Kontrollgesten als auch die Menüführung. Nach dem Einführungsprogramm wurde die Anwendung *Molegram-Scientist* gestartet und mittels einer kurzen Demonstration durch den Dozierenden eingeführt.

2.3.4 Inhaltliche und didaktische Überlegungen zur kollaborativen Gruppenarbeitsphase mit HoloLens

Für die Arbeitsphase wurden die anwesenden Studierenden jeweils in zwei Halbgruppen à 2-3 Personen aufgeteilt, welche in Kollaboration einen Arbeitsauftrag anhand der Applikation *Molegram-Scientist* ausführen mussten. Diese Applikation ist ein Molekülbrowser, welcher speziell für die Verwendung mit der HoloLens-AR-Technologie entwickelt wurde. Die Entwicklung wurde von Jan A. Hiss vom Computer-Assisted Drug Design im Departement für Chemie und Angewandte Biowissenschaften an der ETH Zürich initiiert und geleitet und durch die Firma afca technisch realisiert. Die Anwendung ist nicht frei erhältlich und wurde für diese Studie von der ETH Zürich zur Verfügung gestellt. Abbildung 2 zeigt die Anwendung während der Benutzung.

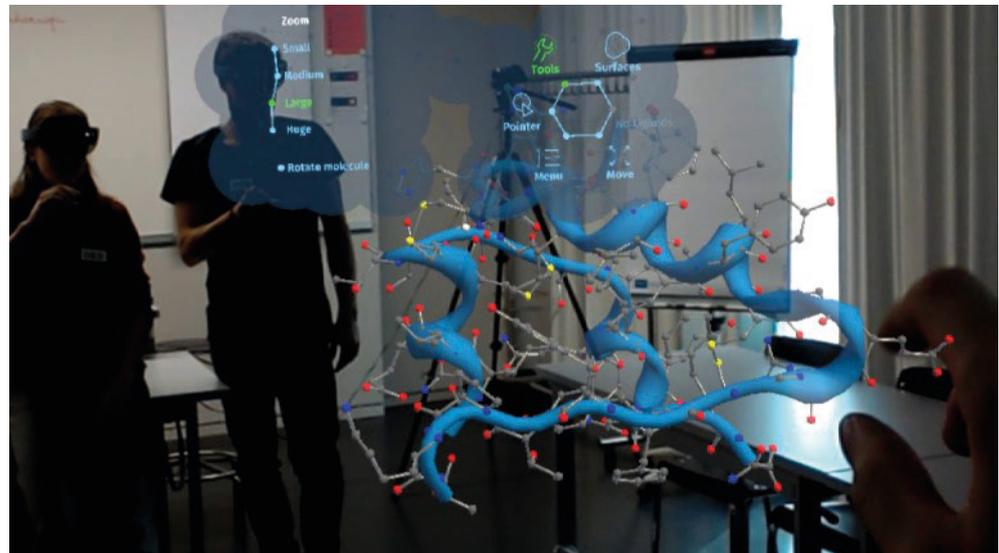


Abb. 2: AR-Molekülbrowser aus Sicht der Nutzenden (eigene Abbildung).

Die Applikation stellt zwei interaktive Möglichkeiten zur Navigation der dreidimensionalen Welt bereit. Zum einen ist es den Benutzenden möglich, das angezeigte Objekt über aufrufbare Menüoptionen zu rotieren, zu skalieren und zu verschieben (virtuelle Nutzung der Interaktivität), was Einfluss auf die Darstellung bei allen Gruppenteilnehmenden hat. Zum anderen können die Teilnehmenden sich aktiv physisch durch den Raum bewegen, was keine Auswirkung auf die Darstellung für andere Teilnehmende hat. Molegram-Scientist bietet zudem verschiedene wissenschaftliche Darstellungsweisen der Proteinstruktur und -eigenschaften an, welche von MOE berechnet werden (Chemical Computing Group ULC 2017). Die Nutzenden können diese nach Belieben aktivieren und deaktivieren.

Die Studienteilnehmenden erhielten den folgenden Auftrag:

Sie werden in der Einheit mithilfe der HoloLens ein Protein in 3D-Konformation sehen können. Im ersten Teil werden Sie mit dem Dozenten zusammen ein Molekül anschauen, danach werden Sie in Gruppen von 2-3 Studierenden Ihr eigenes Molekül manipulieren können.

Ihre Aufgabe:

1. Identifizieren Sie in der Sekundärstruktur (Cartoon) eine Alpha-Helix-Struktur sowie eine Beta-Faltblatt-Struktur.
2. Identifizieren Sie in der Primärstruktur (Sticks and Balls) mindestens zwei Aminosäuren.

3. Lassen Sie sich den Liganden anzeigen und identifizieren Sie dessen Binde-tasche, in der er liegt. Was könnte der Grund dafür sein, dass er als Medika-ment sehr wirksam ist?

Da die Lernenden die in Auftrag 2 geforderten Strukturen der Aminosäuren als Bausteine der Proteine nicht auswendig kannten, wurde ihnen ein ausgedrucktes Arbeitsblatt zur Verfügung gestellt, auf welchem die Strukturen abgebildet sind. Damit wurde eine crossmediale Vorgehensweise angewendet.

Wie bisherige Studien zeigen, ermöglicht AR die aktive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand und bietet mit geeigneten Anwendungen Unterstützung im Bereich des kollaborativen und multimedialen Lernens (Garzón et al. 2020). Bei der Auswahl der Aufgabenstellung wurde nebst der Verfügbarkeit einer entsprechenden AR-Anwendung deshalb darauf geachtet, dass sie eine kollaborative Aufgabenbearbeitung ermöglicht und dass es sich nicht um eine reine Demonstrationsanwendung handelt. Die eingesetzte Anwendung Molegram-Scientist bietet die Möglichkeit, die Darstellung des Moleküls über mehrere Geräte synchron zu halten, und erlaubt den Benutzenden, eine farbige Kugel als Pointer an der Molekülstruktur anzubringen, welche allen Teilnehmenden, deren Brillen miteinander synchronisiert werden, eingeblendet wird. Dies ermöglicht als kollaboratives Tool den Benutzenden, sich gegenseitig Teile des virtuellen Objekts zu markieren und darüber zu diskutieren.

Die Gruppenarbeitsphase wurde videografiert und bildet den zentralen Teil der Datenerhebungen.

2.3.5 Halbstrukturierte Interviews

Nach der Gruppenarbeitsphase wurden mit den Studierenden individuell halbstrukturierte Interviews geführt, um sie zu den Erfahrungen in der praktischen Arbeitssequenz mit der AR-Technologie zu befragen. Diese Datenerhebung wurde bewusst eingebaut, um auch implizite oder in der Videografie nicht sichtbare Aspekte des Umgangs erfassen zu können. Die Interviews wurden mit Audiogeräten aufgezeichnet, transkribiert und mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring 2015) ausgewertet. Da mit diesen Datenerhebungen andere Fragestellungen verfolgt wurden, werden die Ergebnisse der Interviews im Rahmen dieses Beitrages nicht berücksichtigt. Sie wurden jedoch bereits publiziert und können bei Wyss et al. (2021) eingesehen werden.

2.4 Datenerhebung

Wie zuvor erläutert, fanden im Rahmen der Studie verschiedene Datenerhebungen statt. Da die Datenerhebungen und -auswertungen der Videografie umfangreich sind, fokussiert dieser Beitrag auf diese.²

Die Videografie eignet sich als Methode, um die Interaktion der Studienteilnehmenden mit den virtuellen Inhalten und den weiteren Lernenden der Gruppe zu erkunden, da sich diese durch die hohe Aufzeichnungsgenauigkeit und Informationsdichte als ein Interaktionsmikroskop einsetzen lässt und bei korrektem Einsatz sowohl die verbalen als auch die non-verbalen Handlungen der Studienteilnehmenden erfasst (Tuma, Schnettler, und Knoblauch 2013). Ein weiterer Vorteil der Verwendung dieser Methode zeigt sich darin, dass schnell ablaufende Handlungen (wie beispielsweise die Menüaufrufe) im Nachhinein verlangsamt und mehrfach analysiert werden können (Bortz und Döring 2006).

Die in der Studie verwendete Microsoft HoloLens 1 (Markteinführung im Jahr 2016) verfügt über die Möglichkeit, die Perspektive des Gerätenutzers aufzuzeichnen (nachfolgend HoloLens-Stream genannt). Dieser umfasst sowohl die Kameransicht der realen Umgebung wie auch die virtuellen Überlagerungen. Durch die Kameras werden zudem die zur Kontrolle des Geräts notwendigen Gesten (bspw. Menüaufrufe) aufgezeichnet.

Um neben der Benutzersicht möglichst umfassendes Datenmaterial über die Situation zu erhalten, wurden zusätzlich zwei Standkameras im Raum positioniert. Die aufgezeichneten Videodaten der Standkameras wie auch der HoloLens-Brillen wurden nachträglich manuell synchronisiert und die jeweiligen Tonspuren im synchronisierten Video auf separate Spuren gelegt. Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung zum Verständnis der Verarbeitung des Rohmaterials und einen Auszug eines Standbilds eines solchen Zusammenschnitts der jeweiligen Aufnahmen.

² Die Darstellung der Resultate zu den Interviews findet sich bei Wyss et al. (2021), die Ergebnisse der schriftlichen Befragung bei Wyss et al. (2022).

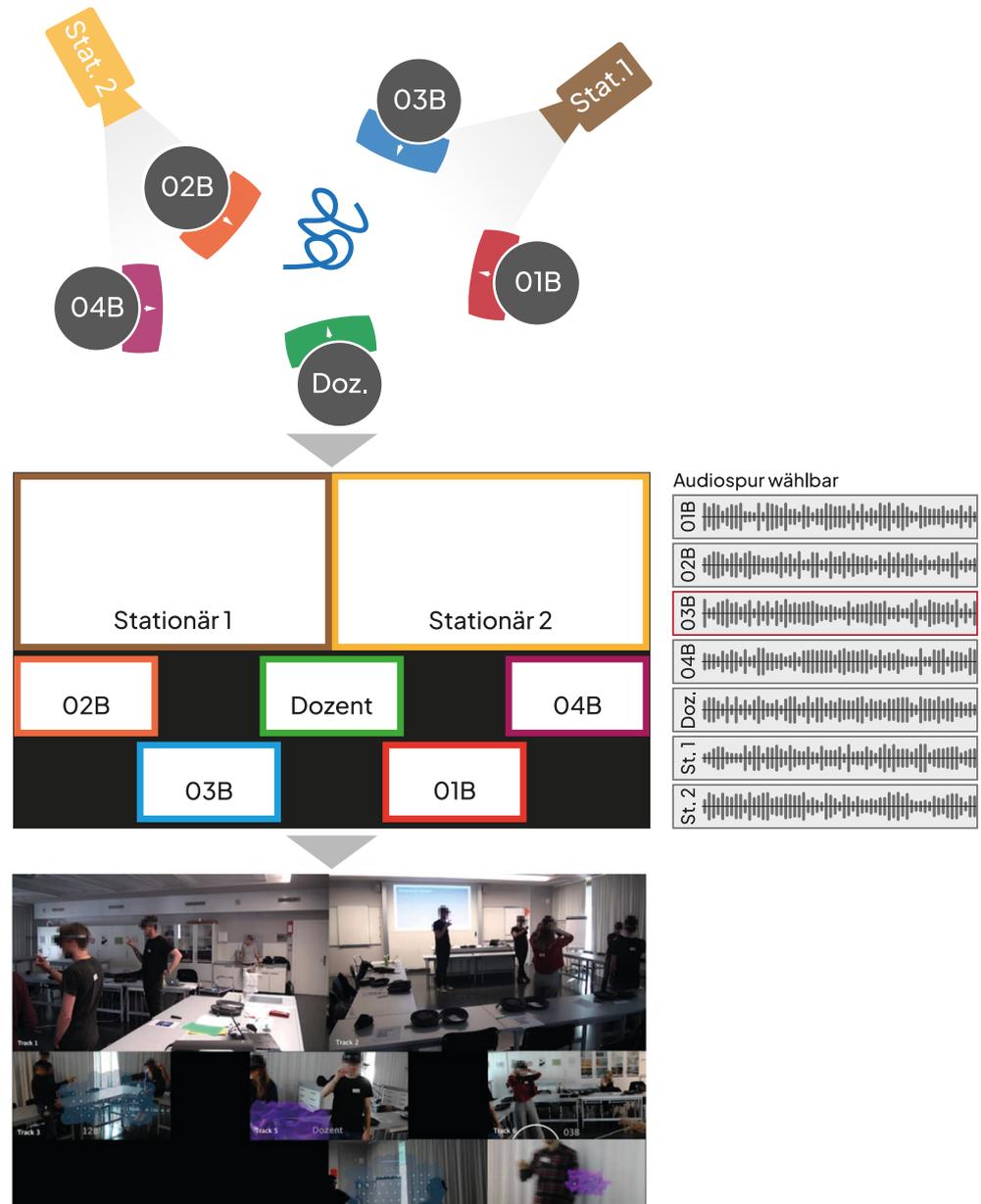


Abb. 3: Schematische Darstellung der Datenerhebungssituation und Standbild des synchronisierten Datenmaterials mit anonymisierten Personen (eigene Abbildung).

Obwohl die Videografie als Methode vermehrt angewandt wird und technische Fortschritte den Einsatz erleichtern, handelt es sich nach wie vor um ein komplexes Untersuchungsverfahren (Tuma und Schnettler 2014). Die Aufzeichnungen der HoloLens-Streams bieten zwar neue Möglichkeiten, steigern im Gegenzug jedoch die Komplexität des Verfahrens (Corsten 2018) und damit die Anfälligkeit auf Störungen.

So sind die HoloLens-Streams im Rahmen der Datenerhebung immer wieder abgebrochen, wodurch substantielle Lücken im Datenmaterial entstanden sind. Auf die Auswirkungen dieser Informationsverluste wird noch detaillierter eingegangen. Trotz dieser Problematiken lässt sich festhalten, dass Videodaten grundsätzlich als ein valides Instrument gelten (Tuma, Schnettler, und Knoblauch 2013). Die Kodierung der Videodaten wird nachfolgend erläutert.

2.5 Datenauswertung und Kodierung

Die für die Videodaten verwendete eventbasierte Kodierung verlangt nach einem genauen und überschaubaren Kategoriensystem (Bortz und Döring 2006; Rädiker und Kuckartz 2019). Um das System und die Kodierungen möglichst übersichtlich zu gestalten, wurden, wo immer sinnvoll, Kodierungen auf der Ebene der gesamten Gruppe vergeben. Kodierungen für einzelne Proband:innen wurden nur bei individuellen Handlungen (z. B. Menüaufruf) vergeben. Es wurde jeweils die komplette Gruppenarbeitsphase kodiert.

Das entwickelte Kategoriensystem orientierte sich unter anderem daran, die Benutzerfreundlichkeit (Usability) dieser AR-Technologie zu ergründen. Für diese noch junge Technologie ist bislang wenig Forschungsliteratur verfügbar, welche als Bezugssystem für die Entwicklung eines entsprechenden Kategoriensystems dienen könnte, weshalb insbesondere diese Kategorien und Unterkategorien induktiv gebildet wurden. Daneben wurden Kategorien deduktiv auf der Grundlage von konzeptionellen und theoretischen Unterlagen entwickelt. Hierzu wurden Aspekte verwendet, welche für das vorliegende Lehr-/Lernsetting passend sind (bspw. ergonomische Probleme, Ablenkung, Haltung, u. a.), und auf das vorliegende Setting adaptiert (vgl. M. Akçayır und G. Akçayır 2017, 6–8).

Die Analyse des Videomaterials wurde aufgrund des explorativen Charakters der Studie und der geringen Fallzahl in Konsenskodierung von zwei Personen durchgeführt. Das entwickelte Kategoriensystem wurde in einer ersten Phase der Konsenskodierung in MAXQDA 2018 mit zwei Kodierern anhand des Datenmaterials induktiv erweitert (vgl. Herb und Gieß-Stüber 2018; Rädiker und Kuckartz 2019). Dies betraf insbesondere die zusätzliche Feingliederung in Unterkategorien. In einer zweiten Phase wurde das Datenmaterial mit dem erweiterten Kategoriensystem kodiert. Die Kodierung erfolgte eventbasiert. Hierzu wurde jeweils ein «Event» (Ereignis) identifiziert, der betroffene Videoausschnitt möglichst exakt als Segment markiert und mit der zugehörigen Kategorie belegt. Zumeist wurde einem Segment eine Kategorie zugewiesen, in einigen Fällen wurden dem gleichen Segment verschiedene Kategorien zugeteilt. Kategorien, die keinem Segment zugeordnet wurden, wurden im System belassen. Eine Übersicht über das Kategoriensystem inklusive Beschreibungen der einzelnen Kategorien ist im Anhang dieses Beitrages einsehbar.

Für die Kodierung wurde das synchronisierte Video- und Audiomaterial (siehe Abbildung 3) verwendet. Nach Verarbeitung der Videoaufnahmen erwiesen sich 7 der 8 videografierten Teilnehmendengruppen als kodierbar. Die Gruppe A-1 musste im Rahmen der Datenbereinigung entfernt werden, da ihr wegen eines Problems mit der AR-Anwendung die Bearbeitung des Arbeitsauftrages nur eingeschränkt möglich war.

3. Resultate

Im synchronisierten Datenmaterial wurden insgesamt 703 Kodierungen (durchschnittlich 100 Kodierungen pro Gruppe) vergeben. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Kodierungen, welche im Anschluss in Bezug auf die Forschungsfragen betrachtet werden.

Gruppe		A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2	Σ
Dauer der kodierten Arbeitsphase (min:sek)		16:40	22:50	22:50	16:17	16:17	13:25	13:25	
Anzahl Personen in Gruppe		2	3	3	2	2	2	2	
1	Hilfestellung, Instruktion								
1.1	fachlich	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.1	Hilfestellung/Input durch Dozent	3	3	2	4	4	8	3	27
1.1.2	Benutzung Arbeitsblatt	16	6	4	13	9	10	20	78
1.2	technisch	0	3	1	0	0	0	0	4
1.2.1	Aufforderung Bewegung	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.2	Einstellungen	0	0	0	2	2	0	2	6
2	technische Probleme/ techn. Fragen								
2.1	Definition was der Cursor, Pointer etc. ist	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2	Probleme bei Positions- Synchronisation	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3	fehlende Inhalts- synchronisation	0	0	1	0	0	0	0	1
2.4	*Brille funktioniert nicht, Brillenwechsel, Brillen- ausfall	1	2	0	0	0	0	0	3
3	Nutzung der Interaktivität								
3.1	*virtuell (Nutzung statisch)	1	2	4	12	3	3	2	27
3.2	*Realwelt (Nutzung dynamisch)	42	44	90	54	34	24	40	328

Gruppe		A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2	Σ
Dauer der kodierten Arbeitsphase (min:sek)		16:40	22:50	22:50	16:17	16:17	13:25	13:25	
Anzahl Personen in Gruppe		2	3	3	2	2	2	2	
4	Usability								
4.1	*Kontrollgesten								
4.1.1	*beim ersten Versuch erfolgreich	2	8	32	11	13	11	5	82
4.1.2	*nach mehr als 1 Versuch erfolgreich	0	2	3	4	10	8	5	32
4.1.3	*nicht erfolgreich	0	3	4	2	7	7	2	25
4.1.4	*nicht intendiert	0	1	4	1	0	1	0	7
4.1.4.1	*durch Eigeneinwirkung	0	1	7	13	5	1	13	40
4.1.4.2	*durch Fremdeinwirkung	1	1	0	6	4	4	1	17
4.2	*physische Anpassungen am Gerät	0	2	2	4	0	4	1	13
5	Lernen mit AR								
5.1	Haltung	-	-	-	-	-	-	-	-
5.1.1	Fachinhalt	-	-	-	-	-	-	-	-
5.2	Unterrichtsideen	-	-	-	-	-	-	-	-
5.3	fachliches Lernen	-	-	-	-	-	-	-	-
5.4	Äusserung zu Unterschied zu traditionellen Lehrformen	-	-	-	-	-	-	-	-
5.5	betreffend Repräsentationsform	-	-	-	-	-	-	-	-
5.6	Überraschen, Erstaunen, Novelty-Effekt	0	0	0	3	0	4	0	7
5.7	Beeinträchtigung durch anderes (Technisches etc.)	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Fachlich	0	0	0	0	0	0	3	3
6.1	Struktur (Primär bis Tertiär)	0	0	0	0	0	1	0	1
6.2	Funktion	0	0	1	0	0	1	0	2
Summe		66	78	155	129	91	87	97	703
* Code auf Ebene einzelner Personen/Individualebene - Kategorie konnte aufgrund der Lücken im Datenmaterial nicht kodiert werden									

Tab. 1: Auswertung des kodierten Datenmaterials.

Forschungsfrage 1: Inwiefern wird der Lernprozess durch den Einsatz der HoloLens beeinträchtigt?

Neuartigkeit und Technik

In der Kategorie 5.6 *Überraschen, Erstaunen, Novelty-Effekt* wurden insgesamt 7 Kodierungen in zwei unterschiedlichen Gruppen (C-1, D-1) vergeben.

Zusätzlich waren Kodierungen für erkannte Ablenkungen vorgesehen, beispielsweise durch technische Probleme oder anderes (Kat. 5.7). Diese Kategorie konnte jedoch aufgrund der Lücken im Datenmaterial nicht kodiert werden.

Usability

Die Verwendung des Menüs ist ein zentraler Aspekt der Bedienbarkeit der Anwendung und erfolgt über eine Geste mit dem Zeigefinger. Die Kodierungen dieser Geste wurden für alle Teilnehmenden separat vergeben und wurden in insgesamt 203 Segmenten kodiert. Davon entfallen 82 auf sofort erfolgreiche Menüaufrufe (Kat. 4.1.1) und 32 auf Menüaufrufe, welche erst nach mehr als einem Versuch erfolgreich waren (Kat. 4.1.2). Des Weiteren wurden 25 fehlgeschlagene Menüaufrufe kodiert (Kat. 4.1.3), d. h. diese waren nicht erfolgreich und wurden von den entsprechenden Proband:innen aufgegeben. Grundsätzlich konnten die Studienteilnehmenden das Menü somit überwiegend erfolgreich aufrufen, auch wenn dafür in ca. 28 % der Fälle mehr als ein Versuch notwendig war. In 64 Fällen kam es allerdings zu unbeabsichtigten Menüaufrufen (Kat. 4.1.4, 4.1.4.1, 4.1.4.2), da die HoloLens fälschlicherweise eine Zeigefingergeste zu erkennen glaubte.

Im Bereich Usability wurden zudem 13 Situationen kodiert, welche Unzufriedenheit mit dem Tragekomfort des Geräts erkennen lassen (bspw. durch Zurechtrücken der Brille oder Veränderung des Umfangs des Kopfbands) (Kat. 4.2).

Lernzeit

Die kollaborative Arbeitsphase der Gruppen dauerte zwischen 13 und 23 Minuten. Obwohl nicht explizit im Kodierschema erfasst, wurde während des Kodierens des Materials ersichtlich, dass die Proband:innen ohne erkennbare Unterbrechungen an der Aufgabe arbeiteten, was eine hohe aktive Lernzeit vermuten lässt.

Forschungsfrage 2: Wie manifestiert sich der Einsatz der HoloLens in der AR-basierten Arbeitsphase?

Nutzung der Interaktivität

Die Nutzung der Interaktivität wurde für jede Proband:in unter zwei Aspekten kodiert: einerseits die Nutzung der Realwelt für die Interaktivität (Kat. 3.2), d. h. die Proband:innen bewegen sich physisch im Raum, um das Molekül herum, darauf zu oder davon weg; andererseits die virtuelle Nutzung der Interaktivität (Kat. 3.1), d. h. die Proband:innen nutzen die Translations-, Rotations- oder Skalierungsfunktionen im Menü der Anwendung. Von den insgesamt 703 Kodierungen entfällt mit 328 Segmenten (46,7 %) ein grosser Anteil auf die Nutzung der Realwelt. Das war 12-mal so häufig wie die Nutzung der virtuellen Möglichkeiten (27 Segmente; 3,8 %).

Hilfestellungen

Der anwesende Dozierende und die Projektmitarbeitenden unterstützten die Proband:innen mit technischen und fachlichen Hilfestellungen und Inputs. Unterstützungen der fachlichen Art (Kat. 1.1.1) wurden während der eigenständigen Gruppenarbeitsphase 27-mal kodiert. Hilfeleistungen technischer Art bezüglich Einstellungen wie der Menübenutzung (Kat. 1.2.2) wurden sechsmal erkannt und beschränkten sich auf drei Gruppen. Eine Nutzung des Papier-Arbeitsblatts (Kat. 1.1.2) wurde für 78 Segmente kodiert. In dieser Kategorie zeigen sich grosse Unterschiede zwischen den Gruppen ($M = 11.14$, $SD = 5.61$). Gruppe B-2 machte mit vier Kodierungen am wenigsten Gebrauch davon, Gruppe D-2 mit 20 Kodierungen am meisten.

Lernen mit AR

Durch die bereits erwähnten Aufnahmeprobleme entstanden im Datenmaterial grössere Lücken, wodurch insbesondere das Nachverfolgen der einzelnen Gespräche über das Lernen mit AR nicht möglich war. Aufgrund des Abbruchs der Videostreams konnten daher die Kategorien zu Lernen mit AR (Kat. 5.1-5.5, 5.7) nicht kodiert werden.

Erwähnenswert ist, dass bei der Durchsicht der Videos ein reger Austausch zwischen den Teilnehmenden und die Nutzung von Funktionen wie dem farbigen Markierpunkt als Kollaborationsmöglichkeiten festgestellt werden konnte. Dieser Aspekt wurde durch die Kodierung jedoch nicht explizit erfasst.

Forschungsfrage 3: Inwiefern kann der Einsatz von HoloLens das fachwissenschaftliche Lernverständnis unterstützen?

Diese fachdidaktisch orientierte Forschungsfrage konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht wie gewünscht beantwortet werden. Wie bei der vorherigen Forschungsfrage beschrieben, sind für Aussagen über das Lernen mit AR insbesondere die Tonaufnahmen der einzelnen Studierenden relevant. Da diese nur lückenhaft vorliegen, konnten nur wenige vereinzelte Segmente zur fachlichen Diskussion (Kat. 6) über die Proteinstruktur (Kat. 6.1) oder die Funktion der Proteine (Kat. 6.2) sowie zu Aussagen über Lernen mit AR (Unterkategorien Kat. 5) zugeordnet werden. Diese Kodierungen ergeben jedoch lediglich ein unvollständiges Bild, das keine zuverlässige Aussage ermöglicht, weswegen diese Frage unbeantwortet bleibt.

4. Diskussion

Das Ziel dieser Studie war die Untersuchung des Einsatzes der AR-Technologie in der Lehrpersonenausbildung. Im Fokus stand, die Chancen und Herausforderungen dieser Technologie zu ergründen. Hierzu wurde die Molekülbrowser-Anwendung Molegram-Scientist auf der Microsoft HoloLens verwendet.

Diskussion der Erkenntnisse zu Forschungsfrage 1

In Bezug auf die Frage «*Inwiefern wird der Lernprozess durch den Einsatz der HoloLens beeinträchtigt?*» lässt sich feststellen, dass im kodierten Material keine Ablenkungen, beispielsweise aufgrund der in der Literatur erwähnten Häufung technischer Probleme, erkannt wurden (Sánchez Luquerna und Diaz 2022). Eine Ausnahme bildet diesbezüglich Gruppe A-1, welche von der Analyse ausgeschlossen wurde.

Bei der Durchsicht des Datenmaterials wurde erkennbar, dass sich die Studierenden bei der Lernaufgabe stark einbrachten, unter anderem durch aktive Kollaboration mit den anderen Gruppenmitgliedern. Situationen, in denen Überraschung, Erstaunen oder ein Novelty-Effekt erkennbar wurden (Kat. 5.6), bieten nebst der Motivationssteigerung auch Potenzial zur Ablenkung. In den sieben kodierten Segmenten konnte jedoch keine Ablenkungen vom Lerninhalt festgestellt werden. Eine weitere Beeinträchtigung des Lernprozesses kann durch die Komplexität der Bedienung der Applikation erfolgen (Garzón 2021). In der Auswertung zeigt sich, dass dies im vorliegenden Fall eher unwahrscheinlich ist, da in 114 von 139 Fällen der Versuch, das Menü aufzurufen, auf Anhieb oder nach mehr als einem Versuch erfolgreich war (Kat. 4.1.1, 4.1.2). Die Anwendung zeigte sich daher als benutzerfreundlich und zuverlässig bedienbar. Allenfalls zu einer Irritation geführt haben könnten die 64 nicht intendierten Erkennungen der Kontrollgeste, bei welchen das Menü ungewollt geöffnet wurde (Kat. 4.1.4 – 4.1.4.2). Im Datenmaterial war an den betreffenden

Stellen jedoch keine nachhaltige Störung des Lernprozesses ersichtlich. Die intensive Nutzung der Interaktion mittels Bewegungen in der Realwelt (Kat. 3.2) lässt die in der Literatur beschriebene intuitive Nutzung der Interaktion mit der Umgebung erkennen (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019; İbili et al. 2020) und diese wurde rund 12-mal öfter genutzt als die von 2D Computersystemen vertrauten virtuellen Interaktionsmöglichkeiten (Kat. 3.1) (Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019; Kazanidis, Pellas, und Christopoulos 2021). Die alltagsnahen Interaktionsmöglichkeiten könnten daher als Vorteil der gewählten Augmented Reality-Lösung verstanden werden und unterstreichen deren immersiven Charakter. Bei den 13 vereinzelt kodierten Tragekomfortproblemen (Kat. 4.2) konnte keine erkennbare Beeinträchtigung des Lernprozesses festgestellt werden, da die Behebung nebenbei geschah, beispielsweise durch Zurechtrücken der Brille während einer laufenden Diskussion. Es ist jedoch möglich, dass sich bei länger andauernden Lernsequenzen diese Probleme mehren, was zu einer massgeblichen Beeinträchtigung des Lernprozesses führen könnte. Aus der Erfahrung dieser Studie kann man ableiten, dass Sequenzen von ca. 25 Minuten Dauer ohne grosse Tragekomfortprobleme möglich sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich anhand dieser Auswertungen kaum Beeinträchtigungen durch die Verwendung der HoloLens für die Lernprozesse im untersuchten Setting zeigen.

Diskussion der Erkenntnisse zu Forschungsfrage 2

Die Forschungsfrage «*Wie manifestiert sich der Einsatz der HoloLens in der AR-basierten Arbeitsphase?*» dient insbesondere der Untersuchung des zusätzlichen Nutzens für das Lernen.

Der in der Literatur oft beschriebene Effekt von AR, die Motivation bei den Lernenden zu erhöhen, wodurch sich diese stärker im Lernprozess einbringen, konnte anhand der regen Exploration des Lerngegenstands mittels der Nutzung der zahlreichen Interaktionsmöglichkeiten erkannt werden (Kempke und Zeidler 2022; Mohamad Nizar et al. 2022; López-Belmonte et al. 2020; Kaufmann 2003; Peterson et al. 2020; Sánchez Luquerna und Diaz 2022). Die Nutzung der vielfältigen Möglichkeiten dieser neuartigen Technologie scheint daher durchaus auch im vorliegenden Fall einen Lernantrieb darzustellen (Peterson et al. 2020; Li und L. Liu 2022; Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019).

Obschon die technische Vorbereitung und die Einführung in die Bedienung bei dieser erstmaligen Durchführung Zeit beanspruchten, konnte bei der Durchführung wiederum Zeit eingespart werden, da im Gegensatz zu einer analogen dreidimensionalen Repräsentation (Baukastensystem) ein flexibles Wechseln der dargestellten Inhalte ohne weiteren Aufwand möglich war. Dadurch war ein hohes Mass an aktiver Lernzeit am eigentlichen Fachinhalt in den Daten beobachtbar (İbili et al. 2020).

Da AR im Gegensatz zu VR keine komplette Abschottung des Benutzers von der Umwelt bedeutet, konnten Hilfen zur Unterstützung des Lernprozesses in die Lerneinheit integriert werden. Die gewonnenen Resultate zeigen auf, dass sowohl die Hilfestellung durch den Dozierenden (Kat. 1.1.1) als auch das (Realwelt)-Arbeitsblatt (Kat. 1.1.2) aktiv über alle Gruppen hinweg genutzt wurden. AR zeigt sich dadurch als ein Werkzeug, welches gut mit traditionellen Unterrichtsmaterialien und -formen kombinierbar ist und diese erweitern kann (Geroimenko 2020; Kempke und Zeidler 2022).

Als weiterer Vorteil von AR hat sich die Möglichkeit der Kollaboration zwischen den Gruppenteilnehmenden gezeigt. Im Datenmaterial wurde die Umsetzung dieses kollaborativen Aspekts anhand der angeregten direkten Kommunikation zwischen den Studierenden und der häufigen Nutzung der kollaborativen AR-Werkzeuge, z. B. des farbigen Markierpunkts ersichtlich. Die effiziente Zusammenarbeit in der Gruppe am gleichen Gegenstand in Echtzeit legt nahe, dass mit dem gewählten Ansatz kollaboratives Lernen im erprobten Setting unkompliziert möglich war. Dies wird in der Literatur als relevanter Vorteil von Augmented Reality betrachtet, welcher das Repertoire an möglichen Kollaborationsaufgaben erweitert und ergänzt (Kesim und Ozarlan 2012; Muhammad Nur Affendy und Ajune Wanis 2019; Garcia-Bonete, Jensen, und Katona 2019).

Diskussion der Erkenntnisse zu Forschungsfrage 3

Die Frage «*Inwiefern kann der Einsatz von HoloLens das fachwissenschaftliche Lernverständnis unterstützen?*» kann, wie im vorherigen Kapitel erläutert, aufgrund technischer Komplikationen nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Die Frage nach dem Mehrwert von AR zur Unterstützung des fachwissenschaftlichen Lernverständnisses ist zentral, da dies das primäre Ziel der Verwendung von digitalen Technologien darstellt. In anderen Studien konnten diesbezüglich bereits vielversprechende Erkenntnisse gewonnen werden (Wyss et al. 2022). Bei der Analyse der Audiodaten konnten unterschiedliche Aspekte beobachtet werden, die darauf hindeuten, dass auch in der vorliegenden Studie das Lernverständnis begünstigt wurde. Weiterführende Arbeiten und insbesondere Langzeitstudien wären diesbezüglich sehr wichtig und wünschenswert (Geroimenko 2020).

5. Limitationen, Erkenntnisse und Ausblick

Obschon aufgrund der technischen Probleme ein Teil des gewonnenen Materials nicht analysiert werden konnte und deshalb klare Limitationen in der Aussagekraft dieser Studienresultate bestehen, konnten vielseitige interessante Erkenntnisse gewonnen werden. Aufgrund des hohen Technifizierungsgrads des Settings ist dieses

aufwendig und anfällig für technische Probleme, wie sich bei der Aufzeichnung der HoloLens-Streams gezeigt hat. Daher bietet sich an, den Aufbau zukünftiger Studien robuster zu gestalten. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von Raummikrofonen geschehen, damit die Gespräche der Proband:innen kontinuierlich verfolgt werden können. Oder die Lerneinheit wird jeweils nur mit einer Gruppe pro Termin durchgeführt, um rascher auf mögliche technische Probleme reagieren zu können.

Aufgrund der Stichprobe aus freiwilligen Studierenden könnte es insofern zu einer Verzerrung gekommen sein, als dass die Studierenden gegenüber dem Lerninhalt und der Technik besonders motiviert waren und dadurch vor allem technikinteressierte oder technikbegabte Personen teilnahmen (Selbstselektion). Die für die Studie ausgewählte Lernaufgabe wurde bewusst im Hinblick auf den möglichen Mehrwert durch Augmented Reality und die Verfügbarkeit einer Anwendung ausgewählt. Weitere Studien mit einer grösseren Anzahl an Proband:innen und obligatorischer Teilnahme sowie zu Möglichkeiten eines didaktisch sinnvollen Einsatzes dieser Technologie in anderen Bereichen sind wünschenswert. Da das Aufgabendesign explizit auf kollaboratives Arbeiten ausgelegt war, scheint eine Übertragung der Erkenntnisse auf nicht-kollaborative Settings schwierig, Untersuchungen hierzu wären wünschenswert. Ebenfalls wären Studien mit Prä-Post-Design zur Evaluation des fachlichen Lernzuwachses wichtig. Nebst der weiteren Erforschung der Lehrpersonensicht (bspw. Einstellungen und Haltungen gegenüber Augmented Reality) sind zudem Langzeitstudien zur Benutzung und dem Lernzuwachs anzustreben (Chen et al. 2017; Geroimenko 2020).

Zusammenfassend zeigt sich, dass der Einsatz von AR-Anwendungen mit kollaborativen Elementen bei angehenden Lehrpersonen eine Möglichkeit darstellt, den Unterricht mit neuen Elementen anzureichern und Lernprozesse damit auf unterschiedliche Weise zu fördern. Bislang sind im Bereich der Lehrpersonenausbildung allerdings kaum Projekte vorhanden, die sich mit dem Einsatz und der empirischen Untersuchung immersiver Technologien beschäftigen (Wyss et al. 2022). Damit Lehramtsstudierende im Rahmen ihrer Ausbildung bestmöglich unterstützt, mittels modernster Lerntechnologien ausgebildet und so optimal auf den Berufseinstieg vorbereitet werden, sind weiterführende Projekte erstrebenswert.

Literatur

- Akçayır, Murat, und Gökçe Akçayır. 2017. «Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature». *Educational Research Review* 20: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
- Bortz, Jürgen, und Nicola Döring. 2006. *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-33306-7>.

- Bower, Matt, Cathie Howe, Nerida McCredie, Austin Robinson, und David Grover. 2014. «Augmented Reality in education – cases, places and potentials». *Educational Media International* 51 (1): 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>.
- Carmigniani, Julie, und Borko Furht. 2011. «Augmented Reality: An Overview». In *Handbook of Augmented Reality*, 3–46., New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_1.
- Chemical Computing Group ULC. 2017. *Molecular Operating Environment (MOE)*. Montreal, QC, Canada. Zugriff am 11. April 2022. <https://www.chemcomp.com/Products.htm>.
- Chen, Peng, Xiaolin Liu, Wei Cheng, und Ronghuai Huang. 2017. «A Review of Using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016». *Innovations in Smart Learning*, 13–18: Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_2.
- Corsten, Michael. 2018. «Videoanalyse – Quo vadis?». In *Handbuch Qualitative Videoanalyse*, herausgegeben von Christine Moritz, und Michael Corsten, 799–817. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-15894-1_42.
- García-Bonete, Maria-Jose, Maja Jensen, und Gergely Katona. 2019. «A Practical Guide to Developing Virtual and Augmented Reality Exercises for Teaching Structural Biology». *Biochemistry and Molecular Biology Education* 47 (1): 16–24. <https://doi.org/10.1002/bmb.21188>.
- Garzón, Juan. 2021. «An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education». *MTI* 5 (7): 37. <https://doi.org/10.3390/mti5070037>.
- Garzón, Juan, Kinshuk, Silvia Baldiris, Jaime Gutiérrez, und Juan Pavón. 2020. «How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis». *Educational Research Review* 31:100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>.
- Garzón, Juan, Juan Pavón, und Silvia Baldiris. 2019. «Systematic Review and Meta-Analysis of Augmented Reality in Educational Settings». *Virtual Reality* 23 (4): 447–59. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>.
- Geroimenko, Vladimir, Hrsg. 2020. *Augmented Reality in Education: A New Technology for Teaching and Learning*. Springer series on cultural computing. Cham Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4>.
- Herb, Julia, und Petra Gieß-Stüber. 2018. «Qualitative Daten quantifizieren: Videogestützte Analyse von Trainer*innenverhalten in Gesundheitssportkursen». In *Handbuch Qualitative Videoanalyse*, herausgegeben von Christine Moritz, und Michael Corsten, 385–406. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-15894-1_20.
- İbili, Emin, Mevlüt Çat, Dmitry Resnyansky, Sami Şahin, und Mark Billingham. 2020. «An Assessment of Geometry Teaching Supported with Augmented Reality Teaching Materials to Enhance Students' 3D Geometry Thinking Skills». *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 51 (2): 224–46. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1583382>.
- Kaufmann, Hannes. 2003. *Collaborative augmented reality in education*. <https://www.ims.tuwien.ac.at/publications/tuw-137414>.

- Kazanidis, Ioannis, Nikolaos Pellas, und Athanasios Christopoulos. 2021. «A Learning Analytics Conceptual Framework for Augmented Reality-Supported Educational Case Studies». *MTI* 5 (3): 9. <https://doi.org/10.3390/mti5030009>.
- Kellems, Ryan O., Giulia Cacciatore, und Kaitlyn Osborne. 2019. «Using an Augmented Reality-Based Teaching Strategy to Teach Mathematics to Secondary Students with Disabilities». *Career Development and Transition for Exceptional Individuals* 42 (4): 253–58. <https://doi.org/10.1177/2165143418822800>.
- Kempke, Tom, und Juliana Zeidler. 2022. «Augmented Reality in Inclusive Chemistry Education». *CHEMKON*. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100076>.
- Kesim, Mehmet, und Yasin Ozarlan. 2012. «Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education». *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 47: 297–302. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.654>.
- Lachner, Andreas, Katharina Scheiter, und Kathleen Stürmer. 2020. «Digitalisierung und Lernen mit digitalen Medien als Gegenstand der Lehrerinnen- und Lehrerbildung». In *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, herausgegeben von Colin Cramer, Johannes König, Martin Rothland, und Sigrid Blömeke, 67–75. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Lee, Kangdon. 2012. «Augmented Reality in Education and Training». *TechTrends* 56 (2): 13–21. <https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>.
- Li, Mingchao, und Liping Liu. 2022. «Students' Perceptions of Augmented Reality Integrated into a Mobile Learning Environment». *LHT*. <https://doi.org/10.1108/lht-10-2021-0345>.
- Liu, Yufei, V. E. Sathishkumar, und Adhiyaman Manickam. 2022. «Augmented reality technology based on school physical education training». *Computers and Electrical Engineering* 99: 107807. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107807>.
- López-Belmonte, Jesús, Antonio-José Moreno-Guerrero, Juan-Antonio López-Núñez, und Francisco-Javier Hinojo-Lucena. 2020. «Augmented reality in education. A scientific mapping in Web of Science». *Interactive Learning Environments*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1859546>.
- Mayring, Philipp. 2015. *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 12., überarbeitete Auflage. Weinheim: Beltz.
- Mohamad Nizar, Nur Nabihah, Mohd Khairezan Rahmat, Siti Zuraida Maaruf, und Siti Maftuhah Damio. 2022. «The Development of Mobile Augmented Reality: 3-Dimensional Video». *ijsms* 7 (1): 107. <https://doi.org/10.24191/ijsms.v7i1.17782>.
- Muhammad Nur Affendy, Nor'a, und Ismail Ajune Wanis. 2019. «A Review on Collaborative Learning Environment across Virtual and Augmented Reality Technology». *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 551 (1): 12050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/551/1/012050>.
- Nincarean, Danakorn, Mohamad Bilal Alia, Noor Dayana Abdul Halim, und Mohd Hishamuddin Abdul Rahman. 2013. «Mobile Augmented Reality: The Potential for Education». *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 103: 657–64. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.385>.

- Peterson, Celeste N., Sara Z. Tavana, Olukemi P. Akinleye, Walter H. Johnson, und Melanie B. Berkmen. 2020. «An Idea to Explore: Use of Augmented Reality for Teaching Three-Dimensional Biomolecular Structures». *Biochemistry and Molecular Biology Education* 48 (3): 276–82. <https://doi.org/10.1002/bmb.21341>.
- Petko, Dominik, und Beat Döbeli Honegger. 2011. «Digitale Medien in der schweizerischen Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Hintergründe, Ansätze und Perspektiven». *Beiträge zur Lehrerbildung* 29 (2): 155-171. <https://doi.org/10.25656/01:13775>.
- Rädiker, Stefan, und Udo Kuckartz. 2019. *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22095-2>.
- Safadel, Parviz, und David White. 2019. «Facilitating Molecular Biology Teaching by Using Augmented Reality (AR) and Protein Data Bank (PDB)». *TechTrends* 63 (2): 188–93. <https://doi.org/10.1007/s11528-018-0343-0>.
- Sánchez Luquerna, Jairo, und Mario Humberto Ramírez Díaz. 2022. «Augmented Reality in Physics Teaching». *European Journal of Physics Education* 13 (1): 14–27. <http://31.220.4.173/index.php/ejpe/article/view/322>.
- Schranz, Christine. 2014. «Augmented Reality in Design». In *Design, User Experience, and Usability: User Experience Design for Diverse Interaction Platforms and Environments ; Third International Conference, DUXU 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22–27, 2014 ; Proceedings, Part II*. Bd. 8518, herausgegeben von David Hutchison, Takeo Kanade, Josef Kittler, Jon M. Kleinberg, Alfred Kobsa, Friedemann Mattern, John C. Mitchell et al., 624–35. Lecture Notes in Computer Science 8518. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07626-3_59.
- Tuma, René, und Bernt Schnettler. 2014. «Videographie». In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, herausgegeben von Nina Baur, und Jörg Blasius, 875–86. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-068>.
- Tuma, René, Bernt Schnettler, und Hubert Knoblauch. 2013. *Videographie*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-18732-7>.
- Tzima, Stavroula, Georgios Styliaras, und Athanasios Bassounas. 2019. «Augmented Reality Applications in Education: Teachers Point of View». *Education Sciences* 9 (2): 99. <https://doi.org/10.3390/educsci9020099>.
- Wyss, Corinne, Wolfgang Bühler, Florian Furrer, Adrian Degonda, und Jan A. Hiss. 2021. «Innovative Teacher Education with the Augmented Reality Device Microsoft HoloLens – Results of an Exploratory Study and Pedagogical Considerations». *MTI* 5 (8). <https://doi.org/10.3390/mti5080045>.
- Wyss, Corinne, Adrian Degonda, Wolfgang Bühler, und Florian Furrer. 2022. «The Impact of Student Characteristics for Working with AR Technologies in Higher Education—Findings from an Exploratory Study with Microsoft HoloLens». *Information* 13 (3). <https://doi.org/10.3390/info13030112>.

Anhang

Übersicht über das Kategoriensystem mit Beschreibungen der Kategorien und Angaben zu deren Entwicklung (deduktiv oder induktiv)

Kategorie		Beschreibung
1	Hilfestellung, Instruktion	Oberkategorie. Wurde nicht kodiert.
1.1	fachlich ^D	Der/die Proband:in fordert fachliche Hilfestellung an oder Hilfe wird dargeboten. (Nur wenn nicht durch Unterkategorie abgedeckt.)
1.1.1	Hilfestellung/Input durch Dozent ^D	Leitende Person gibt dem/der Proband:in Hinweise, Tipps oder Instruktionen in Bezug auf den fachwissenschaftlichen Gegenstand.
1.1.2	Benutzung Arbeitsblatt ^D	Die Benutzung des gedruckten Arbeitsblattes durch den/die Proband:in wird in der Aufnahme ersichtlich. Es muss nicht zwingend darüber gesprochen werden.
1.2	technisch ^D	Der/die Proband:in fordert technische Hilfestellung an oder Hilfe wird dargeboten. (Nur wenn nicht durch Unterkategorie abgedeckt.)
1.2.1	Aufforderung Bewegung ^D	Der/die Proband:in wird von der leitenden Person oder anderen Proband:innen darauf hingewiesen, dass ein räumliches Verschieben oder eine Benutzung des Menüs für die Navigation in der AR-Applikation verwendet werden kann.
1.2.2	Einstellungen ^D	Der/die Proband:in erhält Hinweise, Tipps oder Instruktionen zu technischen Einstellungen an der HoloLens (z. B. Menübenutzung).
2	technische Probleme / technische Fragen	Oberkategorie. Wurde nicht kodiert.
2.1	Definition, was der Cursor, Pointer etc. ist ^D	Der/die Proband:in hat Fragen/Probleme bezüglich der Benutzung des Cursors zur Steuerung des farbigen Markierpunktes etc.
2.2	Probleme bei Positions-Synchronisation ^I	Der/die Proband:in erfährt Probleme in Bezug auf die Positions-Synchronisation (bspw. das Molekül wird an einem anderen Ort angezeigt als bei den anderen Gruppenteilnehmenden).
2.3	fehlende Inhalts-synchronisation ^I	Dem/der Proband:in wird durch die Applikation ein anderer Inhalt gezeigt als den übrigen Gruppenteilnehmenden.
2.4	*Brille funktioniert nicht, Brillenwechsel, Brillenausfall ^I	Die HoloLens hat technische Funktionsschwierigkeiten oder ist nicht benutzbar und muss ausgewechselt werden.
3	Nutzung der Interaktivität	Oberkategorie. Wurde nicht kodiert.
3.1	*virtuell (Nutzung statisch) ^D	Der/die Proband:in nutzt die virtuellen Möglichkeiten zur Navigation in der Anwendung über das Menü. Bspw.: Das Molekül wird gedreht, dieses bleibt aber physisch am Ort stehen.

Kategorie		Beschreibung
3.2	*Realwelt (Nutzung dynamisch) ^D	Der/die Proband:in nutzt die realen Möglichkeiten zur Navigation in der Anwendung, indem sie sich im Raum physisch bewegt und bspw. um das Molekül herum läuft.
4	Usability	Oberkategorie. Wurde nicht kodiert.
4.1	*Kontrollgesten ^D	Oberkategorie. Wurde nicht kodiert.
4.1.1	*beim ersten Versuch erfolgreich ^I	Der/die Proband:in nutzt die Geste zum Aufruf des virtuellen Menüs. Der Versuch zeigt sich bei der Nutzung der Geste direkt als erfolgreich.
4.1.2	*nach mehr als 1 Versuch erfolgreich ^I	Der/die Proband:in nutzt die Geste zum Aufruf des virtuellen Menüs, benötigt aber mehrere Versuche, bis das Menü erfolgreich aktiviert werden kann.
4.1.3	*nicht erfolgreich ^I	Der/die Proband:in nutzt einmalig/mehrmals die Geste zum Aufruf des virtuellen Menüs. Das Menü kann jedoch nicht erfolgreich aktiviert werden, worauf der/die Proband:in keine weiteren Versuche unternimmt.
4.1.4	*nicht intendiert ^I	Das virtuelle Menü wird unabsichtlich aufgerufen. Es wird nicht klar, was der Grund dafür war (Eigen- oder Fremdeinwirkung).
4.1.4.1	*durch Eigeneinwirkung ^I	Das virtuelle Menü wird unabsichtlich aufgerufen. Es wird klar, dass es sich dabei um eine Eigeneinwirkung handelt (bspw. eigener Finger auf Arbeitsblatt).
4.1.4.2	*durch Fremdeinwirkung ^I	Das virtuelle Menü wird unabsichtlich aufgerufen. Es wird klar, dass es sich dabei um eine Fremdeinwirkung handelt (bspw. Gestiken anderer Personen im Sichtfeld).
4.2	*physische Anpassungen am Gerät ^D	Der/die Proband:in nimmt physische Anpassungen am Gerät vor, indem er bzw. sie dieses zurechtrückt oder den Umfang des Kopfbands anpasst.
5	Lernen mit AR	Oberkategorie. Wurde nicht kodiert.
5.1	Haltung ^D	Die Proband:innen äussern sich zu Aspekten ihrer persönlichen Haltung gegenüber dem Einsatz von AR in Lernsettings.
5.1.1	Fachinhalt ^D	Die Proband:innen äussern sich zu Aspekten ihrer persönlichen Haltung gegenüber dem Fachinhalt.
5.2	Unterrichtsideen ^D	Die Proband:innen äussern sich zu möglichen Unterrichtsideen oder Verwendungszwecken.
5.3	fachliches Lernen ^D	Die Proband:innen äussern sich zu Erkenntnissen, die sich auf das fachliche Lernen beziehen (nicht pädagogisch).
5.4	Äusserung zu Unterschied zu traditionellen Lehrformen ^D	Die Proband:innen äussern sich zu festgestellten Differenzen zu herkömmlichen Lehrmethoden oder zu neuen Möglichkeiten durch AR.
5.5	betreffend Repräsentationsform ^D	Die Proband:innen äussern sich zu Aspekten bezüglich der Repräsentationsformen.
5.6	Überraschen, Erstaunen, Novelty-Effekt ^I	Die Proband:innen zeigen Reaktionen oder äussern sich zu Aspekten in Bezug auf Überraschung, Erstaunen oder über die Neuartigkeit dieser Technologie.

Kategorie		Beschreibung
5.7	Beeinträchtigung durch anderes (Technisches etc.) ^D	Die Proband:innen äussern sich zu Aspekten, inwiefern das Lernen durch AR beeinträchtigt werden kann (bspw. durch technische Komplexität).
6	Fachlich ^D	Die Proband:innen äussern sich zu fachlichen Aspekten der Proteine.
6.1	Struktur (Primär bis Tertiär) ^D	Die Proband:innen äussern sich zur Struktur der Proteine.
6.2	Funktion ^D	Die Proband:innen äussern sich zur Funktion der Proteine.
<p>* Code auf Ebene einzelner Personen/Individualebene ^D= Deduktiv erarbeitete Kategorien auf der Grundlage von konzeptionellen und theoretischen Unterlagen (vgl. M. Akçayır und G. Akçayır 2017, 6–8) ^I = Induktiv, im Rahmen des Kodierprozesses, erarbeitete Kategorien</p>		

Tab. 2: Auswertung des kodierten Datenmaterials.