

Chirurgie  
<https://doi.org/10.1007/s00104-024-02211-w>  
Angenommen: 25. November 2024

© The Author(s) 2025

Redaktion  
D. Weyhe, Oldenburg



# Digital basierte klinisch-orientierte Anatomie: Zukunft der Lehre

Esther C. Maier · Veysel Ödemis · Anja U. Bräuer

Abteilung für Anatomie, Fakultät VI Medizin und Gesundheitswissenschaften, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Deutschland

## Zusammenfassung

Die universitäre Lehre befindet sich im Umbruch. Steigende Studierendenzahlen sowie die voranschreitende Digitalisierung des Alltags führen auch in der Lehre zur Erprobung verschiedenster neuer Lehr- und Lernformate. Dieser Artikel gibt eine Übersicht über Hintergründe und Ansätze, die genutzt werden, um anatomischen Unterricht unter Einsatz digitaler Lernmethoden effektiv und effizient zu gestalten und den Erwartungen der Studierenden gerecht zu werden.

### Schlüsselwörter

Anatomischer Unterricht · Studierendenerwartungen · Lernmodalität · Digitale Lehre · Mixed Reality

## In diesem Beitrag

- Anatomische Lehre: Warum nicht einfach weiter so?
- Die Studierenden: ihre Erwartungen an Lehre
- Anatomische Lehre: „best practice“
- Digitale anatomische Lehre: Ein Zukunftsmodell?
- Ausblick

In den letzten Jahren ist die Digitalisierung in vielen Lebensbereichen massiv vorangeschritten. In der universitären Lehre hielten während der SARS-CoV 2 („severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2“)-Pandemie vermehrt digitale Lehr- und Lernmethoden Einzug, so auch in der Anatomie. Ein Teil dieser neuen oder weiterentwickelten digitalen Formate hat auch weiterhin seinen Platz im anatomischen Unterricht. Bei all den neu entwickelten Lern- und Lehransätzen stellt sich natürlich die Frage, ob überhaupt die Notwendigkeit besteht, anatomische Lehre neu zu gestalten.

### Anatomische Lehre: Warum nicht einfach weiter so?

Bei Erwähnung des Studiums der Humanmedizin werden bei den meisten Menschen Assoziationen an den Präparierkurs und die damit verbundene Dissektion von Spenderkörpern wach. Dies verdeutlicht, wie stark die Anatomie die Ausbildung von Mediziner:innen prägt. Fundierte Kenntnisse der Anatomie sind gerade in operativen Fächern unerlässlich und auch für

die Studierenden von entscheidender Bedeutung. Dennoch ist die Anatomie nur eines von vielen wichtigen vorklinischen Fächern. Das relevante Kernwissen hat sowohl in den Naturwissenschaften als auch in den klinischen Fächern enorm zugenommen, während die Lehrstunden im Fach Anatomie in den letzten hundert Jahren kontinuierlich zurückgegangen sind. So wurden um 1930 durchschnittlich noch über 800 h Anatomie unterrichtet, mittlerweile nur noch etwa 200 h [1].

Eine Reduktion des anatomischen Unterrichts muss nicht zwangsläufig eine Verschlechterung bedeuten, dennoch nehmen die Klagen über ärztliche Kunstfehler zu [2, 3]. Kliniker:innen berichten vermehrt von ungenügenden oder mangelhaften Anatomiekenntnissen der Studierenden [4–7]. Auch die Studierenden selbst oder Ärzt:innen in der frühen Phase der Facharztausbildung berichten, dass sie ihr Vorwissen als ungenügend empfinden [8, 9].

Insgesamt legt dies nahe, dass die Reduktion der anatomischen Lehrinhalte dazu führt, dass angehende Mediziner:innen nicht genügend anatomisches Wissen erworben haben und somit nicht optimal



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

auf die berufliche Praxis vorbereitet sind. Fehlende anatomische Kenntnisse gefährden daher die Patient:innengesundheit. Medizinstudierende haben im Studium eine hohe Arbeits- und Prüfungsbelastung und das eng getaktete Kurrikulum lässt einen Ausbau der anatomischen Lehrstunden nicht zu. Folglich ist es umso wichtiger, ein Kernkurrikulum mit dazu passenden Lehrmethoden zu entwickeln, die in der verkürzten Zeit die Inhalte effektiv und effizient vermitteln und die Studierenden mit den nötigen anatomischen Kompetenzen in den Klinikteil der Ausbildung entlässt. Es ist daher nicht verwunderlich, dass an den anatomischen Instituten weltweit ein großes Interesse daran besteht, herauszufinden, welche Methoden geeignet sind, die knapp bemessene Zeit optimal zur Wissensvermittlung zu nutzen.

### Die Studierenden: ihre Erwartungen an Lehre

Nicht nur die zur Verfügung stehende Zeit für die Vermittlung von Inhalten hat sich verändert, sondern auch die Studierenden, ihre Lerngewohnheiten und Erwartungen an die Lehre haben sich gewandelt [10, 11]. In der heutigen Zeit bevorzugen Studierende flexible Lernumgebungen und erwarten den Einsatz moderner IT-Technologien zur Unterstützung des Unterrichts [12, 13]. Man könnte jetzt sagen „So what!“, allerdings zeigen Studien, dass die Motivation der Studierenden entscheidend Einfluss auf ihren Lernerfolg hat [10, 14, 15].

Daher sollte moderne Lehre auf die Lernpräferenzen der Studierenden eingehen und durch den Einsatz verschiedenster Lehrmethoden gewährleisten, dass sich unterschiedliche Lerntypen wiederfinden. Darüber hinaus werden Kompetenzen für den Berufsalltag vermittelt, etwas, dass die Anatomie mit ihrem auch praktischen Fokus schon immer geleistet hat.

### Anatomische Lehre: „best practice“

In Deutschland wird derzeit die ärztliche Approbationsordnung neu gefasst [16]. Das umstrukturierte Kurrikulum sieht eine engere Verzahnung von vorklinischen mit klinischen Fächern vor, wie es heute schon in vielen Modellstudiengängen praktiziert wird.

In der anatomischen Lehrforschung liegt seit einiger Zeit der Schwerpunkt vermehrt auf zwei Themen: zum einen, wie sich der Einsatz unterschiedlicher Lernmodalitäten auf den Lernerfolg der Studierenden auswirkt, und zum anderen, wie anatomische Lehre in die Kurrikula integriert und longitudinal mit klinischen Fächern verzahnt werden kann. Befragt man Lehrende ist der recht einstimmige Konsensus, dass der Goldstandard der anatomischen Lehre die Dissektion ist. Allerdings zeigen wissenschaftliche Untersuchungen nur gering bessere oder gleichwertige Lerneffekte der Dissektion im Vergleich zu Prosektion oder digitalen Lerntools [17], was aber auch daran liegen mag, dass meist die kurzfristige Wissenswiedergabe überprüft wird [18].

### » Digitale Lehrmethoden können klassische Lehrmethoden ergänzen, aber nicht ersetzen

Ob die Dissektion langfristig zu einem besseren topographisch-anatomischen Verständnis führt, ist nicht hinreichend erforscht. Allerdings gab es um die Jahrtausendwende vermehrt Bestrebungen, Anatomie ohne Körperspende zu lehren, eine ökonomische Sparmaßnahme, die jetzt teils wieder rückgängig gemacht wird [19, 20]. Dies ist eine Reaktion auf vermehrte Klagen der Kliniker über schlechtere Anatomiekenntnisse der Studierenden seit Fehlen der Dissektion, zum anderen wird auch den Studierenden Rechnung getragen, die sich einen Präparierkurs wünschen [21, 22]. Dies stützt die Rolle der Dissektion als zentrales Element der anatomischen Ausbildung.

Für die meisten Studierenden ist der Unterricht der Anatomie, sei es mittels Dissektion oder Prosektion, auch der erste Kontakt mit dem Tod. Darüber hinaus sammeln sie im Rahmen der Pro- oder Dissektion erste Erfahrungen mit medizinethischen Fragen. Des Weiteren zeigen Studien, dass kognitive Fähigkeiten und manuelle Geschicklichkeit bei der Dissektion erworben werden [20, 23, 24]. Die anatomische Lehre trägt so auch zur berufsständischen Entwicklung der Studierenden bei.

Konsensus in der anatomischen Lehrforschung ist aktuell, dass ein multimodaler Ansatz am besten geeignet ist, die

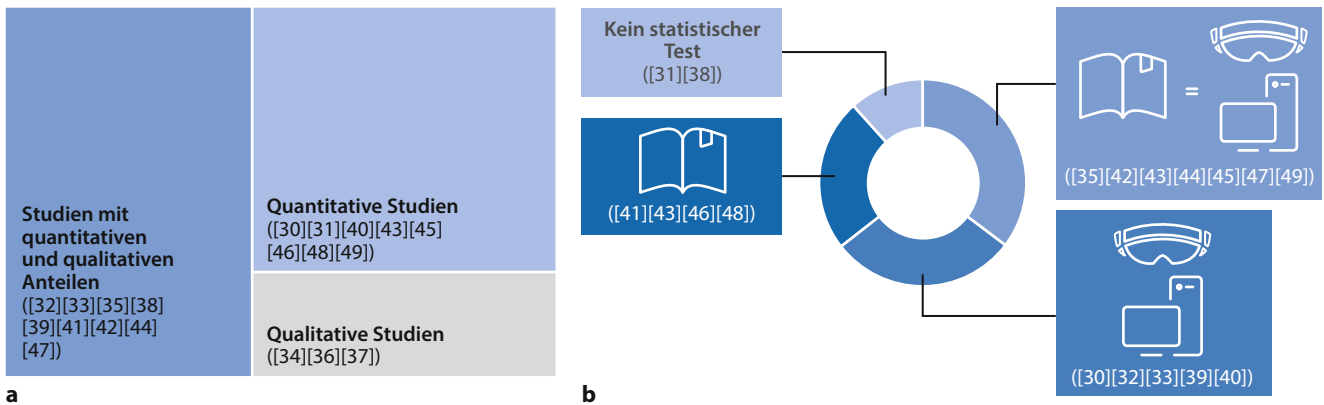
vielfältigen Inhalte der Anatomie zu vermitteln [25, 26]. Bereits in der vorklinischen Phase soll hier ein Praxisbezug hergestellt werden.

### Digitale anatomische Lehre: Ein Zukunftsmodell?

In den vergangenen zwanzig Jahren wurden vermehrt digitale Methoden in der anatomischen Lehre getestet und eingesetzt. Diese bieten innovative und interaktive Lernerfahrungen, die es den Studierenden ermöglichen, sich mit virtuellen anatomischen Modellen und medizinischen Szenarien auseinanderzusetzen (■ Abb. 1; [27–29]). Die Grundidee dahinter ist so einfach wie überzeugend: Dinge lassen sich virtuell dreidimensional besser darstellen als auf Papier. Zudem kann mehrmals etwas ausprobiert werden, ohne die Struktur unwiederbringlich zu schädigen.

Besonders großes Interesse besteht an der Nutzung von Methoden und Techniken, in denen in erweiterter (Mixed Reality, MR) oder virtueller Realität (Virtual Reality, VR) gelernt wird [50].

In der anatomischen Lehre wird ein breites Spektrum an MR-Visualisierungstechnologien eingesetzt. Viele davon funktionieren auf 2-D-Geräten wie Smartphones, Tablets oder PCs und bieten ein wenig immersives Erlebnis. Andere hingegen nutzen Head-Mounted Displays (HMDs; ■ Abb. 2), wo sowohl die realen als auch die digitalen Objekte in der gleichen Umgebung manipuliert werden können [27–29, 42, 51, 52]. Studien (■ Abb. 1), die digitale und AR/VR-Tools für das anatomische Lernen untersuchen, berichten durchweg über eine hohe Akzeptanz der neuen Lernumgebungen bei den Studierenden. Die Studierenden entwickeln ein besseres Verständnis der anatomischen Strukturen in drei Dimensionen [44, 47] und verbessern so ihr topographisch-anatomisches Verständnis. Der Effekt auf Wissenszuwachs und Lerneffektivität variiert stark. Der Wissensgewinn wird meist in einem Test direkt nach der Lerneinheit überprüft, wobei teils signifikante Unterschiede auftreten. Einige Studien zeigen, dass digitale Formate effektiver sind als traditionelle Methoden, während andere keinen Unterschied zwischen den



**Abb. 1** ▲ Übersicht und Hauptmerkmale von Studien zu Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) in der anatomischen Lehre [30–49]. **a** Übersicht über Studien, **b** Übersicht über quantitative Studienergebnisse



**Abb. 2** ▲ Unterrichtseinheit zur Leberanatomie mit AR(Augmented-Reality)-Brillen; die Lehrende und die Studierenden können gemeinsam an einem patientenspezifischen 3-D-Modell Besonderheiten des Falles diskutieren

beiden Ansätzen feststellen können. Ein Teil der Studien zeigt keinen Unterschied in den Testergebnissen der Studierenden zwischen den Methoden (■ **Abb. 1**). Allerdings ist die Auswahl der Wissensfragen oft begrenzt oder in ihrer Gewichtung so, dass eine Lernmethode besser zur Abfrage passt [41]. Wenn es ein „constructive alignment“ zwischen Lehr- und Prüfungsform gibt, schneiden die Studierenden in dieser Gruppe im Posttest besser ab. Fähigkeiten wie kommunikative und praktisch-handwerkliche Kompetenzen werden nicht quantitativ erfasst und fließen daher nicht in die Bewertung ein. Die qualitative Evaluierung konzentriert sich auf die fachliche Methodik sowie die Zufriedenheit und Motivation der Studierenden. Es zeigt sich, dass neu ent-

wickelte digitale Lerntools die Motivation, den Spaß und das Engagement der Studierenden steigern. Dabei ist zu beachten, dass die Teilnahme meist freiwillig ist und oft Studierende höherer Semester partizipieren. Neue Lernmethoden sind oft spannender als bekannte Formate, was bedeutet, dass in longitudinalen Kurrikula die eingesetzten Lernmodalitäten im ersten Studienjahr anders gestaltet sein sollten als in späteren Jahren. Technische Innovationen können in höheren Semestern zusätzliche Impulse geben und das Engagement der Studierenden fördern.

Ein Nachteil von HMDs sind Schwindel und Kopfschmerzen („cybersickness“, CS), die bei VR oder bildreicher MR häufiger auftreten als bei Standard-MR [53]. Dies sollte bei der Konzeption der Lehreinheit

berücksichtigt werden, indem eine Überladung mit virtuellen Bildern vermieden und die Dauer angemessen gestaltet wird. MR könnte gegenüber reiner VR bevorzugt werden, da hier CS seltener auftritt, das Unfallrisiko geringer ist und die nonverbale Kommunikation leichter fällt [54]. Studien zeigen, dass intuitive Formate besser akzeptiert werden [55, 56]. Eine Ausnahme bilden Vergleiche zwischen AR-HMDs und AR-Tablet-Anwendungen, wobei AR-HMDs oft als vorteilhaft angesehen werden, da sie eine immersive 3-D-Auseinandersetzung mit dem Modell ermöglichen [42, 44, 45].

## Ausblick

Die meisten Studien zur digitalen anatomischen Lehre sind noch sehr anatomiezentrisch. Die Integration klinischer Inhalte ist eher selten. Am häufigsten wurden anatomisch-radiologische Lehrinhalte umgesetzt [34–37, 47], teils auch in Verbindung mit Fallstudien [44]. Die qualitative Bewertung durch die Studierenden ist positiv. So konnte gezeigt werden, dass Bilder und Fallstudien realer Patient:innen die Sinnhaftigkeit der Lehreinheit für die Studierenden erhöht [37]. Im klinischen Umfeld werden MR-Anwendungen bereits für die Vorbereitung und Visualisierung chirurgischer Eingriffe und als Fernberatungsdienst in der Telemedizin [57–62] eingesetzt. Es fehlen noch Anatomie-MR-Lernansätze, die auf die Bedürfnisse eines modernen Studiums zugeschnitten sind und die Anatomie mit klinisch relevanten Konzepten verzahnen und dem Fortschritt in der Digitalisierung

des Klinikalltags Rechnung tragen. Die Entwicklung solcher Methoden ist komplex, da Anatom:innen, Kliniker:innen und Informatiker:innen gemeinsam an der Umsetzung arbeiten müssen. Was oft von Anatom:innen und Kliniker:innen gewünscht wird, ist Haptik und die Möglichkeit, z. B. Gelenke von 3-D-Modellen auch beugen zu können. Allerdings wird auch die Umsetzung von IT-Seite noch zeitaufwendiger und die Rechenkapazität mancher HMDs erschöpft. Damit finden sich gute Argumente für Pro- und Dissektion im Anatomieunterricht, da hier die Haptik ein wichtiger Teil der Lernerfahrung ist. In allen Studien, in denen die Dissektion berücksichtigt wurde, sprechen die Ergebnisse für deren Beibehaltung in der anatomischen Lehre. In manchen Studien konnten digitale Strukturen visualisiert werden, die bei Körperspendern nur schwer zu erkennen sind, wodurch die Qualität der Präparation in Präparierkursen verbessert wurde [39, 44]. Digitale Tools sind hier wertvolle Zusatzmethoden die begleitend, vorbereitend und vertiefend eingesetzt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein guter anatomischer Unterricht seinen historischen Wurzeln treu bleibt und gleichzeitig moderne Technologien und klinische Konzepte integriert.

**Fazit für die Praxis**

**Digitale Lehrmethoden ...**

- können die klassischen Lehrmethoden ergänzen, aber nicht ersetzen,
- sollten in longitudinalen Lernspiralen v. a. später im Kurrikulum eingesetzt werden,
- mit Head-Mounted Displays (HDMs) sollten nicht zu lang gestaltet sein,
- müssen intuitiv und einfach in der Handhabung sein,
- sollten die Anatomie mit klinischen Inhalten verknüpfen.

**Korrespondenzadresse**

**Dr. Anja U. Bräuer**

Abteilung für Anatomie, Fakultät VI Medizin und Gesundheitswissenschaften, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
 Carl-von-Ossietzky-Str 9–11, 26129 Oldenburg, Deutschland  
 anja.braeuer@uni-oldenburg.de

**Einhaltung ethischer Richtlinien**

**Interessenkonflikt.** E.C. Maier, V. Ödemis und A.U. Bräuer geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden keine eigenen Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die zitierten Studien gelten die angegebenen ethischen Richtlinien. Erkennbare Personen gaben ihr Einverständnis zur Publikation.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

**Literatur**

1. Drake RL et al (2009) Medical education in the anatomical sciences: The winds of change continue to blow. *Anatomical Sciences Ed* 2(6):253–259
2. Ellis H (2002) Medico-legal litigation and its links with surgical anatomy. *Surgery* 20(8):i–ii
3. Cahill DR, Leonard RJ, Marks SC Jr. (2000) Standards in health care and medical education. *Clin Anat* 13(2):150–150
4. O’Keefe GW, Davy S, Barry DS (2019) Radiologist’s views on anatomical knowledge amongst junior doctors and the teaching of anatomy in medical curricula. *Ann Anat* 223:70–76
5. Cottam WW (1999) Adequacy of medical school gross anatomy education as perceived by certain postgraduate residency programs and anatomy course directors. *Clin Anat* 12(1):55–65
6. Waterston SW, Stewart IJ (2005) Survey of clinicians’ attitudes to the anatomical teaching and knowledge of medical students. *Clin Anat* 18(5):380–384
7. Toogood P et al (2017) Anatomic Knowledge and Perceptions of the Adequacy of Anatomical Education Among Applicants to Orthopaedic Residency. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 1(2):16
8. Prince KJ et al (2005) Students’ opinions about their preparation for clinical practice. *Med Educ* 39(7):704–712
9. Triepels CPR et al (2018) Medical students’ perspective on training in anatomy. *Ann Anat* 217:60–65
10. Tomlinson A, Simpson A, Killingback C (2023) Student expectations of teaching and learning when starting university: a systematic review. *J Furth High Educ* 47(8):1054–1073
11. Gabriel M et al (2012) The Role of Digital Technologies in Learning: Expectations of First Year

University Students. *Can J Learn Technol / La Revue Can De L’apprentissage Et De La Technol* 38(1)

12. Keane T et al (2023) Digital technologies: students’ expectations and experiences during their transition from high school to university. *Educ Inf Technol* 28(1):857–877
13. gGmbH C.C.F.H. CHE Hochschulranking 2024. <https://www.che.de/ranking-deutschland/>
14. Richardson M, Abraham C, Bond R (2012) Psychological correlates of university students’ academic performance: a systematic review and meta-analysis. *Psychol Bull* 138(2):353–387
15. Urhahne D, Wijnia L (2023) Theories of Motivation in Education: an Integrative Framework. *Educ Psychol Rev* 35(2):45
16. Richter-Kuhlmann E (2023) Ärztliche Approbationsordnung: Neuer Anlauf für überfällige Reform. *Dtsch Arztebl Int* 120(20):A-906
17. Winkelmann A (2007) Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence. *Med Educ* 41(1):15–22
18. McMenamin PG et al (2018) Do we really need cadavers anymore to learn anatomy in undergraduate medicine? *CMTE* 40(10):1020–1029
19. Craig S et al (2010) Review of anatomy education in Australian and New Zealand medical schools. *ANZ J Surg* 80(4):212–216
20. Rizzolo LJ, Stewart WB (2006) Should we continue teaching anatomy by dissection when ...? *Anat Rec B New Anat* 289B(6):215–218
21. Azer SA, Eizenberg N (2007) Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? Perceptions of first- and second-year students. *Surg Radiol Anat* 29(2):173–180
22. Davis CR et al (2014) Human Anatomy: Let the students tell us how to teach. *Anatomical Sciences Ed* 7(4):262–272
23. Slotnick HB, Hilton SR (2006) Proto-professionalism and the dissecting laboratory. *Clin Anat* 19(5):429–436
24. Granger NA (2004) Dissection laboratory is vital to medical gross anatomy education. *Anat Rec B New Anat* 281B(1):6–8
25. Sugand K, Abrahams P, Khurana A (2010) The anatomy of anatomy: A review for its modernization. *Anatomical Sciences Ed* 3(2):83–93
26. Estai M, Bunt S (2016) Best teaching practices in anatomy education: A critical review. *Ann Anat* 208:151–157
27. Uruthiralingam U, Rea PM (2020) Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education—A Systematic Review. In: Rea PM (Hrsg) *Biomedical Visualisation*, Bd. 6. Springer, Cham, S89–101
28. Chytas D et al (2020) The role of augmented reality in anatomical education: An overview. *Ann Anatomy-anatomischer Anz* 229:
29. Iwanaga J et al (2021) A review of anatomy education during and after the COVID-19 pandemic: Revisiting traditional and modern methods to achieve future innovation. *Clin Anat* 34(1):108–114
30. Ferrer-Torregrosa J et al (2015) ARBOOK: Development and Assessment of a Tool Based on Augmented Reality for Anatomy. *J Sci Educ Technol* 24(1):119–124
31. Jamali SS et al (2015) Utilising Mobile-Augmented Reality for Learning Human Anatomy. *Procedia—social Behav Sci* 197:659–668
32. Ferrer-Torregrosa J et al (2016) Distance learning effects and flipped classroom in the anatomy learning: comparative study of the use of augmented reality, video and notes. *BMC Med Educ* 16(1):230
33. Küçük S, Kapakin S, Göktaş Y (2016) Learning Anatomy via Mobile Augmented Reality: Effects

## Digitally based clinically oriented anatomy: the future of teaching

University teaching is undergoing radical changes. Rising student numbers and the progressive digitalization of routine daily life are also leading to the testing of various new teaching and learning formats. This article provides an overview of the reasons for and approaches used to effectively and efficiently organize teaching of anatomy using digital learning methods and to fulfil the expectations of students.

### Keywords

Anatomical teaching · Student expectations · Learning modality · Digital teaching · Mixed reality

- on Achievement and Cognitive Load. *Anatomical Sciences Ed* 9(5):411–421
34. Kugelmann D et al (2018) An Augmented Reality magic mirror as additive teaching device for gross anatomy. *Ann Anat* 215:71–77
  35. Bork F et al (2019) The Benefits of an Augmented Reality Magic Mirror System for Integrated Radiology Teaching in Gross Anatomy. *Anat Sci Educ* 12(6):585–598
  36. Thomas RG, John NW, Delieu JM (2010) Augmented Reality for Anatomical Education. *J Vis Commun Med* 33(1):6–15
  37. Silén C et al (2022) Three-dimensional visualisation of authentic cases in anatomy learning—An educational design study. *BMC Med Educ* 22(1):477
  38. Neri I et al (2024) Dissecting human anatomy learning process through anatomical education with augmented reality: AEDUCAR 2.0, an updated interdisciplinary study. *Anatomical Sciences Ed*
  39. Choi-Lundberg DL, Cuellar WA, Williams A-MM (2016) Online dissection audio-visual resources for human anatomy: Undergraduate medical students' usage and learning outcomes. *Anatomical Sciences Ed* 9(6):545–554
  40. Barmaki R et al (2019) Enhancement of Anatomical Education Using Augmented Reality: An Empirical Study of Body Painting. *Anatomical Sciences Ed* 12(6):599–609
  41. Henssen DJHA et al (2020) Neuroanatomy Learning: Augmented Reality vs. Cross-Sections. *Anatomical Sciences Ed* 13(3):353–365
  42. Moro C et al (2017) The Effectiveness of Virtual and Augmented Reality in Health Sciences and Medical Anatomy. *Anatomical Sciences Ed* 10(6):549–559
  43. Ail G et al (2024) A comparison of virtual reality anatomy models to prosections in station-based anatomy teaching. *Anatomical Sciences Ed*
  44. McBain K et al (2023) Evaluating the integration of body donor imaging into anatomical dissection using augmented reality. *Anatomical Sciences Ed* 16(1):71–86
  45. Moro C et al (2021) HoloLens and mobile augmented reality in medical and health science education: A randomised controlled trial. *Brit J Educational Tech* 52(2):680–694
  46. Wainman B et al (2020) The Critical Role of Stereopsis in Virtual and Mixed Reality Learning Environments. *Anatomical Sciences Ed* 13(3):401–412
  47. Bork F et al (2021) The Effectiveness of Collaborative Augmented Reality in Gross Anatomy Teaching: A Quantitative and Qualitative Pilot Study. *Anat Sci Educ* 14(5):590–604
  48. Bogomolova K et al (2020) 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 Ed* 13(5):558–567
  49. Stojanovska M et al (2020) Mixed Reality Anatomy Using Microsoft HoloLens and Cadaveric Dissection: A Comparative Effectiveness Study. *MedSciEduc* 30(1):173–178
  50. Milgram P, Kishino F (1994) A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf & Syst* 77(12):1321–1329
  51. McBain KA et al (2022) Scoping review: The use of augmented reality in clinical anatomical education and its assessment tools. *Anatomical Sciences Ed* 15(4):765–796
  52. Bölek KA, De Jong G, Henssen D (2021) The effectiveness of the use of augmented reality in anatomy education: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 11(1):15292
  53. Kirolos R, Merchant W (2023) Comparing cyber-sickness in virtual reality and mixed reality head-mounted displays. *Front Virtual Real* 4:1130864
  54. Nowak KL, Fox J (2018) Avatars and computer-mediated communication: a review of the definitions, uses, and effects of digital representations. *rev commun res* 6:30–53
  55. Benbasat I, Barki H (2007) Quo vadis TAM? *J Assoc Inf Syst* 8(4):7
  56. Ursavaş ÖF (2022) Unified Theory of Acceptance and Use of Technology Model (UTAUT). In: Ursavaş ÖF (Hrsg) *Conducting Technology Acceptance Research in Education: Theory, Models, Implementation, and Analysis*. Springer, Cham, S 111–133
  57. Reinschluessel AV et al (2022) Virtual Reality for Surgical Planning—Evaluation Based on Two Liver Tumor Resections. *Front Surg* 9:
  58. Quesada-Olarte J et al (2022) Extended Reality-Assisted Surgery as a Surgical Training Tool: Pilot Study Presenting First HoloLens-Assisted Complex Penile Revision Surgery. *J Sex Med* 19(10):1580–1586
  59. Scherl C et al (2021) Augmented Reality with HoloLens® in Parotid Tumor Surgery: A Prospective Feasibility Study. *ORL* 83(6):439–448
  60. Gouveia PF et al (2021) Breast cancer surgery with augmented reality. *Breast* 56:14–17
  61. Hanna MG et al (2018) Augmented Reality Technology Using Microsoft HoloLens in Anatomic Pathology. *Arch Pathol Lab Med* 142(5):638–644
  62. Sirilak S, Muneesawang P (2018) A New Procedure for Advancing Telemedicine Using the HoloLens. *IEEE Access* 6:60224–60233

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.