

HybParc: Digital gestützte praxisnahe Lehr- und Lernformate

M.-C. Willemer^{1+*}, E. Bibrack¹⁺, C. Perge¹, H. Hoffmann^{1,2}, D. Pretze³,
C. Stransky¹, E. Lohr¹, K. Petr¹, F. Mauersberger¹, I. Röder^{3,4}

¹ Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Institut für Didaktik und Lehrforschung in der Medizin, Medizinisches Interprofessionelles Trainingszentrum (MITZ), Dresden, Deutschland

² Nationales Centrum für Tumorerkrankungen (NCT), NCT/UCC Dresden, eine Partnerschaft zwischen dem DKFZ, der Medizinischen Fakultät und dem Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Technische Universität Dresden (TUD), und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Deutschland.

³ Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Institut für Didaktik und Lehrforschung in der Medizin, Dresden, Deutschland

⁴ Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Institut für Medizinische Informatik und Biometrie (IMB), Dresden, Deutschland

* geteilte Erstautorenschaft

Abstract

Das Projekt HybParc entwickelt digital gestützte, praxisnahe Lehrformate für die medizinische Ausbildung. Ziel sind flexible, sichere und wiederholbare Trainingsumgebungen zur Förderung klinischer Kompetenzen. Didaktische Schwerpunkte liegen auf Blended Learning, selbstgesteuertem Lernen und unmittelbarem Feedback. Umgesetzt wurden Selbstlerneinheiten wie ein sensorbasiertes 12-Kanal-EKG, Basic Life Support mit CorPatch® sowie chirurgische Nahttechniken mit KI-gestützter Analyse. Ergänzend ermöglichen Virtual-Reality-(VR)-Szenarien das risikofreie Training komplexer Tätigkeiten. Automatisierte Feedbackzusammenfassungen unterstützen Reflexion und Selbststeuerung. Evaluationen zeigen eine hohe Akzeptanz, insbesondere für sensorbasiertes Feedback und VR. Geschätzt werden unmittelbare Rückmeldungen und eigenständiges Üben. Einschränkungen bestehen durch technische Instabilität, fehlendes haptisches Feedback und hohen didaktischen Integrationsaufwand. Als Open Educational Resources (OER) veröffentlicht, sind die Materialien nachhaltig nutzbar.

The HybParc project develops digitally supported, practice-oriented teaching formats for medical education. Its aim is to provide flexible, safe, and repeatable training environments that foster clinical skills. Key didactic principles include blended learning, self-directed learning, and immediate feedback. Implemented self-learning units include a sensor-based 12-channel ECG, Basic Life Support with CorPatch®, and surgical suturing with AI-supported analysis. In addition, virtual reality (VR) scenarios allow complex procedures to be practiced safely. Automated feedback summaries support reflection and self-regulated learning. Evaluations show high acceptance, particularly for sensor-based feedback and VR. Learners value immediate feedback and independent practice. Limitations include technical instability, lack of haptic feedback, and high demands on didactic integration. Published as Open Educational Resources (OER), the materials are sustainably reusable.

*Corresponding author: marie-christin.willemer@tu-dresden.de

1. Hintergrund

Heterogene Studierendengruppen, wie sie insbesondere im Medizinstudium häufig anzutreffen sind, benötigen Lernformate, die unterschiedliche Vorkenntnisse, Lernstile und Lernvoraussetzungen berücksichtigen und allen Studierenden gleichwertige Chancen zur Kompetenzentwicklung eröffnen. Digitale und hybride Formate schaffen hierfür eine flexible, personalisierte und studierendenzentrierte Lernumgebung, in der eigenverantwortliches Wissenserarbeiten und -vertiefen ermöglicht wird [1]. Selbstgesteuertes Lernen beschreibt einen intentionalen Lernprozess, in dem Lernende Verantwortung für Zielsetzung, Planung, Durchführung und Bewertung ihres Lernens übernehmen [2]. Durch die Verzahnung von Selbstlernphasen und Präsenztrainings sowie den Einsatz digitaler Werkzeuge für Reflexion und Rückmeldung wird bedarfsgerechtes Lernen gefördert und die Eigenverantwortung gestärkt. Zudem tragen digitale Lernangebote wesentlich zur Entwicklung digitaler Kompetenzen bei, die heute als verbindliches Lernziel und zentrale Voraussetzung für die spätere berufliche Praxis gelten [3].

Selbstgesteuertes Lernen rückt zunehmend in den Fokus und wird als komplexer Zyklus verstanden, der psychologische Eigenschaften (z. B. Selbstwirksamkeit, Motivation), persönliche Entscheidungen (z. B. Anstrengung, Lernstrategien), Beurteilungen (z. B. Selbsteinschätzung, Attributionen) und Handlungen (z. B. Zielsetzung, Anpassungen) umfasst. Bildungspsychologische Empfehlungen betonen die Notwendigkeit einer systematischen Integration solcher Lernprozesse in Curricula, flankiert durch kontinuierliche Begleitung und Feedback [4].

Auch der Wissenschaftsrat hebt die zentrale Rolle des angeleiteten Selbststudiums als zukunftsfähiges Lehr-Lern-Format hervor. Dieses ist eng mit selbstgesteuertem Lernen verbunden, das als Prozess beschrieben wird, in dem Lernende eigeninitiativ ihren Lernbedarf ermitteln, Ziele formulieren, Ressourcen erschließen, Strategien auswählen und ihre Ergebnisse evaluieren [5]. Digitale Medien bieten vielfältige methodische Möglichkeiten, diese Schritte zu unterstützen. Entscheidend ist, dass bei der Gestaltung selbstgesteuerter

Lehreinheiten gezielt Elemente eingebunden werden, die Selbststeuerung ermöglichen und fördern [2].

Gerade Feedback stellt dabei ein zentrales Element dar: Es ermöglicht die kontinuierliche Reflexion des Lernfortschritts, das Erkennen von Lernlücken und gezielte Verbesserungen, wodurch die Qualität des Lernprozesses deutlich steigt. John Hattie hebt hervor, dass Lernen besonders effektiv ist, wenn Lernende darin unterstützt werden, „ihre eigenen Lehrer“ zu werden – indem sie selbstständiger handeln, reflektieren, eigene Lernwege finden und ihre Ergebnisse kritisch bewerten [6].

Im Kontext des Medizinisch Interprofessionellen Trainingszentrum (MITZ) wurde selbstgesteuertes Lernen bislang durch Selbstmonitoring, Checklisten, Peer-Feedback und Selbstbewertung praktischer Fertigkeiten umgesetzt [7]. Aktuelle Studien zeigen, dass hybride Selbstlerntrainings mit digitalen Feedbacksystemen Studierende gezielt in ihrem individuellen Lernprozess unterstützen können [8]. Darauf aufbauend werden weitere Trainingsangebote entwickelt, die digitale Feedbacksysteme noch intensiver integrieren, um eine kontinuierliche individuelle Unterstützung sicherzustellen.

Digitale Technologien wie Videoaufzeichnungen, Sensoren und automatisierte Analyseverfahren eröffnen zusätzliche Möglichkeiten, praxisnahe Fertigkeiten standardisiert und objektiv zu evaluieren. Virtual Reality (VR) kann ergänzend immersive Lernumgebungen für seltene oder sensible Szenarien schaffen und sowohl operative Fertigkeiten als auch Non-Technical Skills wie Kommunikation und klinische Entscheidungsfindung trainieren [9, 10]. Automatisiertes und integriertes Feedback – ob durch Software, Peer- oder Selbstreflexion – unterstützt Lernprozesse gezielt und macht Fortschritte transparent.

Auf dieser Grundlage skizziert der Beitrag die im Projekt entwickelten Ansätze zur Gestaltung hybrider, interaktiver Selbstlern-, Trainings- und Prüfungsparcours im medizinischen Kontext. Im Mittelpunkt stand das Praktika- und Assessment-Format HybParc, das eine effizientere Vermittlung klinisch-praktischer Fertigkeiten zum Ziel hatte. Hierfür wurden Videoaufzeichnungen, Sensoren und (teil-

Automatisierte Analysen von Handlungsabläufen eingesetzt. Conversational Agents lieferten automatisiertes Feedback, während VR als ergänzendes Werkzeug immersive Lernumgebungen bot. HybParc wurde am Carus Lehrzentrum (CarL) in Zusammenarbeit mit dem MITZ der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus (MFD) erprobt, um hybride, interaktive Parcours praxisnah in Studium und Ausbildung zu integrieren und die medizinische Ausbildung sowie angrenzende Fachbereiche nachhaltig zu bereichern.

2. Projektentwicklung

Im Rahmen des Gesamtprojekts wurden verschiedene innovative Lehr- und Lernmethoden entwickelt, erprobt und teilweise evaluiert. Ziel war es, Studierenden der Medizin praxisnahe, sichere und wiederholbare Lernumgebungen bereitzustellen, die sowohl praktische Fertigkeiten als auch kommunikative Kompetenzen förderten. Die Ansätze reichten von sensorbasierten Selbstlerneinheiten über VR Szenarien bis hin zu automatisierten Feedbacksystemen für kommunikationsbezogene Übungen. Alle Teilprojekte folgten einem didaktischen Leitprinzip, das Blended Learning, selbstgesteuertes Lernen und unmittelbares Feedback kombinierte, um die Lernenden in ihrer Handlungskompetenz nachhaltig zu stärken.

Selbstlerneinheit Anlegen 12-Kanal EKG

Ein Schwerpunkt des Projektes lag auf der Entwicklung einer Selbstlerneinheit zum Anlegen eines 12-Kanal-Elektrokardiogramms (EKG) mit sensorbasiertem Feedbacksystem. Ziel war es, den Lernenden ein dozierenendes unabhängiges Lernangebot bereitzustellen, das theoretische Grundlagen mit praktischer Anwendung verband und durch unmittelbares Feedback selbstgesteuertes Lernen unterstützte [11].

Die Einheit folgte einem Blended-Learning-Ansatz: In der Online-Phase über Moodle wurden die Teilnehmenden mit den theoretischen Grundlagen vertraut gemacht, bearbeiteten Orientierungsaufgaben und sahen ein Lehrvideo, das die korrekte Elektrodenanlage demonstrierte. In der Präsenzphase am MITZ übten die Studierenden die Anlage der Elektroden an einem Modell und erhielten Rückmel-

dungen durch das sensorbasierte Feedbacksystem. Ergänzend kamen strukturierte Checklisten für Peer-Feedback zum Einsatz, wodurch ein flexibles und praxisnahes Lernformat entstand, das digitale Innovation mit klassischen didaktischen Methoden verband.

Das technische Setup umfasste eine Übungspuppe mit Klebeelektroden, einen PC mit Monitor sowie zwei RGBD-Kameras, die sowohl den Thoraxbereich als auch die Extremitäten erfassten. Die Kameras lieferten Bilddaten an eine eigens entwickelte Software, die die Positionen der Elektroden erfasste, mit Sollpositionen verglich und die Ergebnisse auf einer Nutzeroberfläche visualisierte. Fehlplatzierungen wurden sofort angezeigt, inklusive kurzer Hinweise zur richtigen Positionierung, sodass Lernende Fehler direkt erkennen, reflektieren und korrigieren konnten.



Abb. 1: Setup zum Anlegen eines 12-Kanal-EKG

Die Entwicklung erfolgte iterativ in zwei Runden: Zunächst wurde ein KI-basierter Ansatz (YOLO) implementiert, der Elektroden mithilfe annotierter Bilddaten erkannte und mit Sollpositionen abglich [12]. Trotz mehrstufigem Training war dieser Ansatz nicht ausreichend zuverlässig, insbesondere bei Lage- und Identitätserkennung der Elektroden. Zudem war für die Nutzenden nicht immer klar, ob eine Elektrode fehlerhaft positioniert oder lediglich nicht erkannt wurde.

Auf Grundlage dieser Erfahrungen wurde ein markerbasiertes, algorithmisches Verfahren entwickelt. Aruco-Marker an Puppe und Elektroden ermöglichten eine robuste und präzise Erfassung. Hochauflösende Kameras verbesserten die Bildqualität, wodurch die Markergröße reduziert werden konnte. Eine überar-

beitete Nutzeroberfläche visualisierte die Ergebnisse transparenter und verständlicher, und ein Assistent überprüfte die Kameraposition beim Start, um fehlerhafte Messungen zu vermeiden. Mit dem Konfigurationstool „ArucoRoi“ ließen sich Soll-Bereiche flexibel anpassen, was den Transfer auf andere Setups erleichtert.

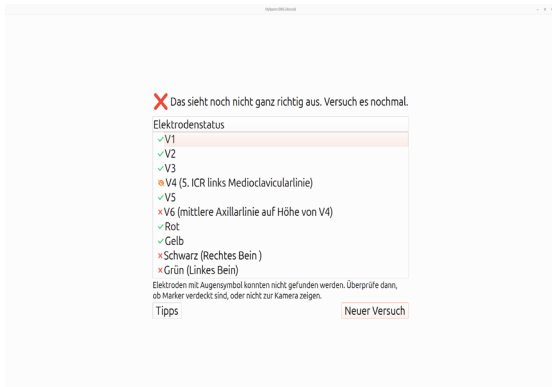


Abb. 2: Feedback zur Anlage des 12-Kanal EKG auf der Nutzeroberfläche.

Dieser iterative Entwicklungsprozess führte zu einem praxisnahen, robusten und transparenten Feedbacksystem, das Theorie, praktische Anwendung und unmittelbares Feedback kombinierte und die Lernenden in ihrer fachlichen Handlungskompetenz unterstützte.

Selbstlerneinheit Basic Life Support

Ein weiterer Teilaspekt des Projektes war die Entwicklung einer Selbstlerneinheit zum Basic Life Support (BLS). Anders als beim EKG-Projekt wurde hier auf ein bestehendes Gerät, den CorPatch®, zurückgegriffen.

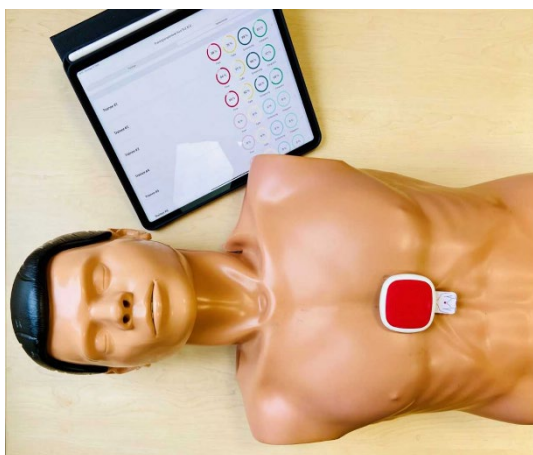


Abb. 3: CorPatch®-System am Basic Life Support Dummy

Dieses System ermöglichte eine Echtzeitanalyse der Reanimationsleistung und lieferte audiovisuelles Feedback, beispielsweise zu Frequenz und Drucktiefe der Herzdruckmassage, sowie eine detaillierte Auswertung nach Abschluss der Übung. Die didaktische Struktur orientierte sich am Blended-Learning-Ansatz: Nach einer Online-Phase, in der theoretische Grundlagen vermittelt wurden, übten die Teilnehmenden die Reanimationsfertigkeiten selbstständig in der Präsenzphase. Der CorPatch® fungierte als zentrales Feedbackinstrument, sodass die Lernenden ihre Leistung unabhängig überprüfen und verbessern konnten.

Selbstlerneinheit chirurgische Nahttechnik

Ein weiterer Aspekt liegt auf der Entwicklung einer Selbstlerneinheit zur chirurgischen Nahttechnik im Blended-Learning-Format. Das technische Setup befand sich zum Projektende in der Entwicklungsphase: Eine überkopf montierte GoPro-Kamera zeichnete den Arbeitsbereich kontinuierlich auf und übertrug die Bilddaten an eine speziell entwickelte Software. Auf einem Nahtpad (Vinyl/EVA) mit vorbereitetem Schnitt übten die Studierenden unter Verwendung standardisierten Nahtmaterials.



Abb. 4: Setup zur chirurgischen Nahttechnik.

Die Software wertete die Nahtleistung KI-basiert anhand von Bildsequenzen aus, die die gesamte Naht als Video analysierten [13]. Das

Ergebnis wurde in drei Bewertungsstufen („gut“, „mittel“, „schwach“) direkt über die Nutzeroberfläche zurückgemeldet. Die Oberfläche zeigte zusätzlich den aktuellen Aufzeichnungsstatus und einen Countdown für die Bearbeitungszeit, wodurch der mentale Load reduziert und die Übersichtlichkeit erhöht wurde. Perspektivisch könnte hierdurch eine weitere Selbstlerneinheit entstehen, die in das übergeordnete didaktische Muster des Projekts eingebettet werden und digitale Feedbacksysteme für standardisiertes, eigenständiges Training nutzen sollten.

VR-Leichenschau

Neben den sensorbasierten Selbstlerneinheiten wurden auch VR-basierte Ansätze entwickelt. Ziel war es, komplexe klinische Szenarien praxisnah abzubilden und Studierenden eine sichere, wiederholbare Lernumgebung zu bieten.



Abb. 5: Bearbeitung des VR-Leichenschau-Szenarios mit der VR-Brille

Die ärztliche Leichenschau erforderte die Verbindung von medizinischem, rechtlichem und organisatorischem Wissen [14]. Da jedes ärztliche Personal diese Fertigkeit beherrschen muss und realistische Simulationen sehr ressourcenintensiv sind, wurde ein VR-Training vom Dorothea-Erxleben-Lernzentrum Halle nach Dresden transferiert [15]. Halle stellte die technische Infrastruktur bereit, während die Medizinische Fakultät Dresden die didaktische Konzeption, Anpassung und Implementierung übernahm.

Das VR-Training folgte dem Prinzip des Flipped Classroom: Studierende bereiteten sich online vor und durchliefen anschließend in Kleingruppen das Szenario mit Tutor:innen am MITZ. Sie

begegneten einer virtuellen verstorbenen Person, untersuchten postmortale Veränderungen, integrierten Wohnung und persönliche Gegenstände in die Fallbearbeitung, bestimmten den Todeszeitpunkt, füllten den Totenschein aus und erhielten individuelles Feedback. Während der Projektlaufzeit wurde das Szenario optimiert: vereinfachte Benutzerführung, Integration der Eingabemasken, zwei neue Fälle und ein Controller-Tutorial. Perspektivisch könnten die VR-Fälle auch als Selbstlerneinheiten angeboten werden.

Die Wirksamkeit des VR-Trainings wurde in einer randomisierten Lehr-Lern-Studie untersucht [16]. Studierende ab dem 5. Fachsemester wurden zunächst getestet und anschließend entweder der Interventionsgruppe (VR) oder der Kontrollgruppe (Simulationspuppe), die die bisher etablierte Lehrmethoden nutzte [17], zugeteilt. Ziel der Studie war die Evaluierung des Wissenszuwachses sowie der Effektivität der eingesetzten Lehrmethoden. Die Rekrutierung lief bis zum Wintersemester 2025/26; die Ergebnisse sollten anschließend publiziert werden.

VR-OP-Szenario

Zur Erweiterung des digitalen Lehrangebots wurde am MITZ ein VR-Szenario auf Basis von 360° Bildern entwickelt [18], das den Operationssaal abbildet.



Abb. 6: Ausschnitt aus der VR-Anwendung im OP-Szenario

Ziel war es, Studierenden eine praxisnahe Einführung in Abläufe und Rollen im OP-Team zu ermöglichen, bevor komplexe chirurgische Techniken vermittelt wurden. Wiederholt hatten Studierende den Bedarf nach praxisorientiertem Training in sicherer Umgebung geäußert.

Im VR-OP-Szenario konnten die Lernenden selbstgesteuert die Grundlagen des Operati-

onssaals erkunden: Rollen im Team, Aufbau des OPs sowie zentrale Hygienemaßnahmen wie Händedesinfektion. Unterstützt wurde das Training durch kurze Videos und Erklärtex-te, die die korrekte Durchführung der Handhygi-ene demonstrieren [19]. So vermittelte das Szenario die grundlegenden Abläufe im OP, ohne in komplexe chirurgische Techniken ein-zusteigen. Die Lernenden konnten sich belie-big oft mit der räumlichen und organisatori-schen Struktur des OP vertraut machen und die Interaktion zwischen den Rollen nachvoll-ziehen [18]. Die Anwendung war eigenständig nutzbar und erforderte keine direkte Anleitung durch Tutor:innen. Es könnte daher als Selbst-lerneinheit zur Unterstützung der Präsenz-lehre genutzt werden.

Das Szenario wurde in Unity entwickelt, und konnte auf der Meta Quest VR-Hardware abge-spielt werden. Grundlage bildeten eigene Vi-deos, Fotos und 360°-Aufnahmen, die mit der Insta360 X3 produziert wurden. In einer Anfor-derungsanalyse wurde Unity im Vergleich zu 3DVista und PaneoVR aufgrund von Funktion-sumfang, Dokumentation, Entwicklungsdauer, VR-Kompatibilität und Open Educational Re-source (OER)-Fähigkeit ausgewählt.

Die didaktische Gestaltung berücksichtigte mehrere zentrale Designentscheidungen:

- 360°-Fotografien ermöglichten ein immer-sives Erlebnis bei gleichzeitig effizienter Umsetzung und guter Übertragbarkeit auf andere Szenarien [20, 21].
- Navigation über vordefinierte Ansichten re-duzierte Motion Sickness und erhöhte die Nutzerfreundlichkeit [22].
- Physisches Verweilen am Ort (nur Kopf- und Blickbewegung) erleichterte die Teilnahme auch für Personen mit eingeschränkter Mo-bilität und reduzierte Unfallrisiken.
- Screen-Space-Panels sorgten für konstante Lesbarkeit von Informationen, unabhängig von Blickrichtung.
- Haptisches und auditives Feedback in But-ton-Interaktionen steigerten die Wahrneh-mung virtueller Interfaces [23].

Das Szenario begann mit einer Einführung in die Controller-Bedienung. Anschließend durchliefen die Studierenden den Einschleus-

prozess, interagierten mit informativen Hot-spots und betraten dann den virtuellen OP-Saal. Dort konnten sie selbstgesteuert Aspekte wie die Rollen im OP, das korrekte Ankleiden oder die verschiedenen Geräte im OP-Saal er-kunden. Die Bearbeitung dauerte etwa 30 Mi-nuten, wodurch das Szenario gut als eigen-ständige Selbstlerneinheit geeignet war.

Automatisierte Feedbackzusammenfassungen

Ein weiteres Teilprojekt befand sich zum Pro-jektende in der Erprobung und widmete sich der automatisierten Unterstützung von Feed-backrunden nach curricularen Lerneinheiten mit kommunikativem Lernziel – zum Beispiel Gesprächsführungen im medizinischen Kon-text mit Simulationspersonen. Ziel war es, die Feedbackgespräche automatisch zu transkri-bieren und den Teilnehmenden in Form von Zusammenfassungen individuell bereitzustel-len. Nach Bewertung bestehender Tools hin-sichtlich Bedienbarkeit, Spracherkennungs-genauigkeit, Speaker-Tagging, KI-Kompatibili-tät und Datenschutz wurde ein geeignetes Sys-tem ausgewählt. In einem simulierten Feed-backgespräch mit acht Personen wurden An-forderungen für die Pilotierung und potenzi-elle Evaluationsgrößen getestet.

3. Evaluationsergebnisse und Outcome

Zu einigen Teilprojekten innerhalb von Hyb-Parc lagen zum Projektende noch keine direk-ten Evaluationsergebnisse vor, da sich diese aktuell in einer Entwicklungs- und Erprobungs-phase befanden. Die Evaluationsgegenstände variierten je nach Teilprojekt, umfassten je-doch stets zentrale Aspekte wie die didaktische Gestaltung, die Akzeptanz, die technische Um-setzung und Usability sowie den subjektiv wahrgenommenen Lerneffekt.

Selbstlerneinheit Anlegen 12-Kanal EKG

Im Rahmen des Projekts konnten alle fertig entwickelten Selbstlerneinheiten und VR-Sze-narien erfolgreich pilotiert und evaluiert wer-den. Die Selbstlerneinheit zum Anlegen eines 12-Kanal-EKG wurde zunächst im Sommerse-mester 2023 mit zwölf Teilnehmenden – beste-hend aus Studierenden der Humanmedizin und Auszubildenden zu Medizinischen Fachan-

gestellten (MFA) – erprobt. Die Evaluation zeigte eine hohe Akzeptanz des Konzepts, während technische Schwächen insbesondere bei der Stabilität der Elektrodenerkennung und der Farberkennung die fehlerfreie Rückmeldung erschwerten. Die theoretische Vorbereitung wurde mit einem Mittelwert von 1,5 ($s=0,7$) bewertet, die inhaltliche Umsetzung mit 1,6 ($s=0,5$), die technische Umsetzung mit 1,9 ($s=0,5$) und die Gesamtnote erreichte 1,3 ($s=0,5$).

Im Sommersemester 2024 bzw. im Zeitraum April bis Juli 2025 wurde die Einheit erneut angeboten. Der überarbeitete Prototyp zeigte Fortschritte, war jedoch nicht in allen Fällen stabil. Ergänzende Feedbackmethoden wie strukturierte Checklisten und Peer-Feedback stellten sicher, dass trotz technischer Einschränkungen ein didaktisch wirksamer Lerneffekt erzielt wurde. Die Evaluation von 16 Teilnehmenden ergab eine Gesamtnote von 1,9 ($s=0,9$). Alle Teilnehmenden fühlten sich nach der Einheit in der Lage, ein 12-Kanal-EKG selbstständig zu schreiben, und 81 % würden die Einheit weiterempfehlen. Als Verbesserungsvorschläge wurden pathologische EKGs und erweiterte Erkennungsgrenzen genannt.

Selbstlerneinheit Basic Life Support

Die Selbstlerneinheit zum BLS wurde im Februar und März 2025 mit elf Teilnehmenden pilotiert. Hierbei kam das CorPatch®-System zum Einsatz, das Echtzeit-Feedback zu Frequenz und Drucktiefe während der Herzdruckmassage lieferte und anschließend eine detaillierte Auswertung bereitstellte. Alle Teilnehmenden kamen gut mit dem System zurecht, bewerteten die Anleitung als hilfreich und schätzten das Echtzeit-Feedback als wertvolle Unterstützung zur Verbesserung ihrer Technik.

Die Umsetzung zeigte, dass das entwickelte Muster für Selbstlerneinheiten flexibel auf verschiedene Inhalte anwendbar war: Während im EKG-Projekt ein technisch komplexes Eigenentwicklungsprojekt realisiert wurde, kann bei BLS ein bestehendes System sinnvoll in eine didaktische Struktur eingebettet werden.

VR-Leichenschau

Die VR-Leichenschau wurde am MITZ mit 73 Studierenden erprobt, von denen 63 eine vollständige Evaluation abgeschlossen hatten (15).

93,1 % der Studierenden gaben an, dass ihr Selbstvertrauen bei der Durchführung ärztlicher Leichenschauen gestiegen sei, und 96,8 % fühlten sich sicherer beim Ausfüllen von Totenscheinen. Gleichzeitig betonten 91,6 %, dass das VR-Training das notwendige taktile Feedback realer Leichen nicht ersetzen könne. Das Szenario wurde um eine selbstgesteuerte Lerneinheit erweitert, die Studierenden ermöglicht, die einzelnen Schritte eigenständig durchzuführen, das Lerntempo selbst zu bestimmen und Inhalte beliebig oft zu wiederholen. In der seit 2023 laufenden Vergleichsstudie zur VR-Leichenschau, die den Lerneffekt der VR-Methode gegenüber der etablierten Simulationspuppe untersucht, zeigten Zwischenergebnisse einen Wissenszuwachs in beiden Lehrformaten. Vorteile der VR-Methode lagen in der interaktiven Gestaltung und der realitätsnahen Wahrnehmung, Einschränkungen ergaben sich durch fehlendes haptisches Feedback und gelegentliche technische Bedienungsprobleme. Die Selbsteinschätzungen zur Handlungskompetenz zeigten, dass die Studierenden nach der Veranstaltung deutlich sicherer in der praktischen Durchführung der Leichenschau sowie beim Ausfüllen von Totenscheinen waren. Die Rekrutierung lief bis zum Wintersemester 25/26 bzw. war zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung noch nicht abgeschlossen. Anschließend könnten Aussagen zur Wirksamkeit gegenüber der traditionellen Methode getroffen werden.

VR-OP-Szenario

Das VR-OP-Szenario wurde im Rahmen des Praktischen Jahr Warm-up-Kurses mit zwölf Studierenden des 10.–11. Fachsemesters pilotiert, wovon elf vollständige Rückmeldungen vorlagen. Der Gesamteindruck war durchweg positiv: sieben Studierende bewerteten das Szenario mit „sehr gut“, vier mit „gut“. Die Nützlichkeit und Akzeptanz für den Einsatz von VR im Studium wurde überwiegend als sehr hoch eingestuft, und die Teilnehmenden berichteten über einen hohen Spaßfaktor. Nebenwirkungen traten nur vereinzelt auf. Die Rückmeldungen hoben besonders die realistische Darstellung des OP-Saals und die Detailtreue hervor. Die technische Gestaltung erlaubte eine einfache Übertragung auf andere Fachbereiche, und das Szenario konnte sowohl für Medizinstudierende als auch für Auszubildende zu Operationstechnischen und Anästhesietechnischen Assistent:innen eingesetzt werden. Alle

Materialien, einschließlich How-to-Anleitung, stehen als OER auf Twillo zur Verfügung.

Handouts und OER

Im Rahmen der Projektentwicklung wurden Handlungsanweisungen für den Einsatz der Systeme für Studierende und Lehrende erstellt. Diese umfassen schrittweise Anleitungen zur Vorbereitung, Einrichtung, Bedienung und Betreuung der Systeme, einschließlich Hinweise zur technischen Konfiguration und Nutzung von Mobilverbindungen. Die Materialien sind praxisorientiert aufgebaut, um Lehrende und Studierende bei der eigenständigen Anwendung zu unterstützen. Sämtliche Anleitungen stehen auf der OER-Plattform Twillo zur Verfügung und können frei abgerufen, heruntergeladen und für die eigene Lehre adaptiert werden.



Abb. 7: QR-Code zur Twillo Sammlung HybParc (https://www.twillo.de/edu-sharing/components/collections?id=b958881c-5d8a-4d38-beb4-4b237daa58f4&scope=EDU_ALL)

Konferenzbeiträge und Publikationen

Die Auseinandersetzung mit sensorbasiertem Feedback wurde erstmals auf der GMA-Jahrestagung der Gesellschaft für medizinische Ausbildung (GMA) 2024 in Fribourg vorgestellt, wo erste Ergebnisse zur Nutzung von Videoaufzeichnungen und Sensordaten beim Erlernen des 12-Kanal-EKGs präsentiert wurden [24]. 2025 folgte beim 19. Internationalen SkillsLab-Symposium in München die Vorstellung des CorPatch®-Systems zur Unterstützung von Reanimations-Trainings [25].

Parallel dazu wurde der Einsatz von VR in der medizinischen Ausbildung intensiviert. Bereits im März 2022 gründete sich hierzu die VR-AG innerhalb des GMA-Ausschusses „Digitalisierung – Technologie-unterstütztes Lernen und Lehren“. Erste Ergebnisse wurden 2023 auf

dem 17. Internationalen SkillsLab-Symposium in Köln vorgestellt [26] und im selben Jahr publiziert [15].

Auf der GMA-Jahrestagung 2023 in Osnabrück standen immersive VR-Projekte und didaktische Einsatzszenarien im Mittelpunkt [27, 28] während 2024 in Fribourg Fragen der Standortübergreifenden Evaluation diskutiert wurden [29].

Die Netzwerkarbeit innerhalb der VR-AG erwies sich als wichtiger Motor für fachliche und didaktische Weiterentwicklungen. Durch den Austausch zwischen verschiedenen Standorten konnten technische Lösungen und didaktische Konzepte gemeinsam erprobt, reflektiert und weiterentwickelt werden. Neben Fragen des unmittelbaren Einsatzes von VR rückten auch Aspekte der Implementierung, Evaluation und Nachhaltigkeit in den Fokus. Daraus entstanden praxisnahe Empfehlungen, die sich nicht nur auf VR, sondern auch auf andere digitale Lehr- und Prüfungsformate übertragen lassen. Zudem führte die Arbeit zu einer breiten Dissemination über Konferenzen, Publikationen und Fachnetzwerke, wodurch die Ergebnisse sichtbar gemacht und für die medizinische Ausbildung in verschiedenen Fachbereichen nutzbar wurden.

4. Diskussion

Die Evaluationen wiesen einige Einschränkungen auf: Es gab mehrere Evaluationen zu unterschiedlichen Themen, die innerhalb der Themen teilweise heterogen gestaltet waren und nicht immer die gleichen Fragen enthielten, wodurch ein direkter Vergleich erschwert wird. Die Stichproben waren begrenzt, die Teilnahme freiwillig, und die Rückmeldungen könnten durch positive Erwartungshaltungen zu den innovativen Lehrmethoden beeinflusst sein.

Bewährtes und weniger Bewährtes

Die Einführung sensorbasierter Feedbacksysteme hat sich als besonders wirksam erwiesen. Lernende profitieren von unmittelbarer, objektiver Rückmeldung, die Reflexion und Fehlerkorrektur unterstützt und die Eigenverantwortung im Lernprozess stärkt. Dies entspricht aktuellen Best Practices, die den aktiven Einbe-

zug der Lernenden und die Förderung selbstgesteuerten Lernens als zentralen Erfolgsfaktor digitaler Lehrformate hervorheben. Die Projektergebnisse zeigen jedoch, dass die erfolgreiche Nutzung komplexer Technologien – wie sensorbasiertes Feedback oder VR – ein durchdachtes didaktisches Konzept, umfangreiche Testphasen und spezifisches personelles Know-how erfordert. Erst das Zusammenspiel aus Konzeption, Technik und didaktischer Expertise macht digitale Tools zu einem wertvollen Baustein in der Lehre [30]. Dieses Erkenntnis deckt sich mit den Erfahrungen aus fakultätsübergreifenden Kooperationsprojekten, bei denen die Integration in Lehrpläne und die Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen als Schlüsselfaktoren gelten [31].

Die Veröffentlichung der Selbstlerneinheiten als Open OER hat die Anschlussfähigkeit über den lokalen Rahmen hinaus ermöglicht. Dies fördert die nachhaltige Digitalisierung praxisorientierter Lehr-Lern-Formate und erleichtert anderen Institutionen die Implementierung oder Weiterentwicklung. Die Übertragung des VR-Leichenschau-Szenarios auf andere Standorte zeigt das Potenzial für fakultätsübergreifende Dissemination und nachhaltige Nutzung [15].

Die Projektergebnisse zeigen, dass die Schwelle zur Integration digitaler Lehrformate durch andere Institutionen möglichst niedrig gehalten werden sollte, um eine breite Dissemination und nachhaltige Nutzung zu ermöglichen. Dies entspricht den Empfehlungen für nachhaltige OER-Strategien [32].

Die VR-Leichenschau und das VR-OP-Szenario wurden von Studierenden als klarer Mehrwert wahrgenommen. Sie ermöglichen ein risikofreies, strukturiertes Training komplexer ärztlicher Tätigkeiten und bieten die Möglichkeit, Abläufe und Rollen im OP kennenzulernen, ohne Patient:innen oder Ressourcen zu belasten. Trotz dessen können VR-Szenarien die praktische Erfahrung an realen Leichen oder im OP nicht vollständig ersetzen. Insbesondere das Fehlen taktiler und olfaktorischer Rückmeldungen bleibt eine zentrale Limitation, die durch begleitende praktische Übungen ausgeglichen werden muss.

Weiterhin konnte bei der chirurgischen Nahttechnik durch die Nutzung vorhandener Strukturen und die Kombination von automatisier-

tem Setup, KI-basierter Bewertung und nutzerfreundlicher Oberfläche der Arbeitsaufwand deutlich reduziert werden. Dies bietet eine effiziente Lösung für die medizinische Ausbildung und ist auf andere Kontexte übertragbar. Die Einsatzmöglichkeiten von KI in der medizinischen Lehre sind derzeit noch begrenzt, da hohe Qualitätsansprüche und regulatorische Vorgaben (z.B. Datenschutz, Prüfungsformate) erfüllt werden müssen. Die Entwicklung zuverlässiger, fairer und rechtssicherer KI-Systeme bleibt eine Herausforderung [33].

5. Fazit

Insgesamt zeigen die Teilprojekte, dass digitale und KI-gestützte Lehrformate sowie VR-Szenarien das Potenzial haben, die medizinische Ausbildung praxisnäher, flexibler und nachhaltiger zu gestalten. Bewährt haben sich insbesondere die unmittelbare Rückmeldung durch sensorbasierte Systeme, die Nutzung von OER zur nachhaltigen Dissemination und die praxisnahe Simulation komplexer Tätigkeiten durch VR. Die größten Herausforderungen sind die didaktische und technische Komplexität der Integration und damit verbundene enge interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie die begrenzte Übertragbarkeit virtueller Erfahrungen auf die Realität. Die Projektergebnisse liefern wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung digitaler Lehrformate und deren nachhaltige Verankerung in der medizinischen Ausbildung.

Danksagung

Wir danken unseren ehemaligen Mitarbeitenden Katja Krumm, Tom Maurice Schreiber und Charlotte Daub, die durch ihre zuverlässige Unterstützung, ihr Engagement und ihre wertvollen Beiträge in der Projektarbeit wesentlich zum Gelingen beigetragen haben.

Literatur

- [1] Röhle A, Bibrack E. Digitale und hybride Lehre in der medizinischen Ausbildung am Beispiel des Medizinischen Interprofessionellen Trainingszentrums MITZ Impulse und Entwicklungspotentiale. LL 2022; 2(1). DOI: 10.25369/ll.v2i1.45
- [2] Dyrna J, Riedel J, Schulze-Achatz S, Köhler T. Selbstgesteuertes Lernen in der beruflichen Weiterbildung. Ein Handbuch für Theorie und Praxis. Waxmann Verlag GmbH; 2021. DOI: 10.31244/9783830993643

- [3] Medizinischer Fakultätentag. Nationaler Kompetenz-basierter Lernzielkatalog Medizin: Version 2.0. Berlin; 2021. Available from: URL: <https://nkml.de/menu> [cited 2025 Sep 15].
- [4] Swanwick T. Understanding Medical Education. Wiley; 2013. DOI: 10.1002/9781118472361
- [5] German Science And Humanities Council. Empfehlungen für eine zukunftsfähige Ausgestaltung von Studium und Lehre; 2022. DOI: 10.57674/q1f4-g978
- [6] Brägger G, Rolff H-G, editors. Handbuch Lernen mit digitalen Medien. Weinheim, Basel: Beltz; 2021. (Pädagogik). ISBN: 9783407831965
- [7] Willemer M-C, Bibrack E. Entwicklung und Implementierung eines Prototyps (Blueprints) für digital gestützte Lehrheiten zum individuellen Selbststudium im MITZ [German Medical Science GMS Publishing House]. Gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA) und des Arbeitskreises zur Weiterentwicklung der Lehre in der Zahnmedizin (AKWLZ) 2024. DOI: 10.3205/24gma045
- [8] Hendradi P, Ghani MKA, Mahfuzah S. A Literature Review of E-Learning Technology in Higher Education. JCSTS 2023; 5(1):1-7. DOI: 10.32996/jcsts.2023.5.1.1
- [9] Tang YM, Chau KY, Kwok APK, Zhu T, Ma X. A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education - Trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance. Educational Research Review 2022; 35:100429. DOI: 10.1016/j.edurev.2021.100429
- [10] Bracq M-S, Michinov E, Jannin P. Virtual Reality Simulation in Nontechnical Skills Training for Healthcare Professionals: A Systematic Review. Simul Healthc 2019; 14(3):188-94. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000347
- [11] Schindler C, Felgendreiff P, Settmacher U, Dahmen U. Videoanalyse praktischer Fertigkeiten – ein geeignetes Tool zur Weiterentwicklung der chirurgischen Lehre? Zentralbl Chir 2019; 144(6):606-13. DOI: 10.1055/a-1030-4676
- [12] Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection; 2015. DOI: 10.48550/arXiv.1506.02640
- [13] Hoffmann H, Funke I, Peters V, Venkatesh DK, Egger J, Rivoir D et al. AlxSuture: vision-based assessment of open suturing skills. Int J Comput Assist Radiol Surg 2024; 19(6):1045-52. DOI: 10.1007/s11548-024-03093-3
- [14] Schmelting A. AWMF-Leitlinien-Register Nr. 054/002 Klasse: 1 Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin: Regeln zur Durchführung der ärztlichen Leichenschau. 4.0th ed. Münster. Available from: URL: https://register.awmf.org/assets/guidelines/054-002_S1_Regeln-zur-Durchfuehrung-der-aerztlichen-Leichenschau_2023-03.pdf [cited 2025 Sep 15].
- [15] Klus C, Krumm K, Jacobi S, Willemer M-C, Daub C, Stoevesandt D et al. External post-mortem examination in virtual reality-scalability of a monocentric application. Int J Legal Med 2024; 138(5):1939-46. DOI: 10.1007/s00414-024-03229-9
- [16] Richter C, Hoyer S, Lessig R, Stoevesandt D, Schwarz K, Biolik A et al. Aktuelle Trends im Leichenschautraining bei Medizinstudierenden. Rechtsmedizin 2020; 30(5):318-24. DOI: 10.1007/s00194-020-00400-5
- [17] Flössel U, Clas S, Willemer M, Sommer M, Poweleit G, Schulze R et al. Using simulation mannequins and actors in training for external post-mortem examinations -experiences from use in medical students and police officers. J Forensic Leg Med 2021; 77:102102. DOI: 10.1016/j.jflm.2020.102102
- [18] Speidel R, Schneider A, Walter S, Grab-Kroll C, Oechsner W. Immersive medium for early clinical exposure - knowledge acquisition, spatial orientation and the unexpected role of annotation in 360° VR photos. GMS J Med Educ 2023; 40(1):Doc8. DOI: 10.3205/zma001590
- [19] Liehn M, Lengersdorf B, Steinmüller L, Döhler R. OP-Handbuch. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2021. ISBN: 978-3-662-61100-5
- [20] Ariya P, Wongwan N, Worragin P, Intawong K, Puritat K. Immersive realities in museums: evaluating the impact of VR, VR360, and MR on visitor presence, engagement and motivation. Virtual Reality 2025; 29(3). DOI: 10.1007/s10055-025-01201-5
- [21] Pieterse AD, Hierck BP, Jong PGM de, Ginn TF, Hamoen EC, Reinders MEJ. User experiences of medical students with 360-degree virtual reality applications to prepare them for the clerkships. Virtual Reality 2023; 27(2):1381-9. DOI: 10.1007/s10055-022-00731-6
- [22] Cherni H, Métayer N, Souliman N. Literature review of locomotion techniques in virtual reality. IJVR 2020; 20(1):1-20. DOI: 10.20870/IJVR.2020.20.1.3183
- [23] Faeth A, Harding C. Emergent effects in multimodal feedback from virtual buttons. ACM Trans. Comput.-Hum. Interact. 2014; 21(1):1-23. DOI: 10.1145/2535923
- [24] Bibrack E, Willemer M-C, Hoffmann H. Der Einsatz von Videoaufzeichnungen und Sensordaten zur Analyse von Handlungsabläufen im Rahmen selbstgesteuerten Lernens – Konzeption und Pilotierung einer Selbstlerneinheit zum Schreiben eines 12-Kanal-EKGs [German Medical Science GMS Publishing House]. Gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA) und des Arbeitskreises zur Weiterentwicklung der Lehre in der Zahnmedizin (AKWLZ) 2024. DOI: 10.3205/24gma005
- [25] Serdack A, Willemer M-C. Reanimieren leicht gemacht: CorPatch® bringt Feedback, damit du immer am Puls bleibst! [German Medical Science GMS Publishing House]. 19. Internationales SkillsLab Symposium 2025. DOI: 10.3205/25isls62
- [26] Daub C, Krumm K, Stoevesandt D, Klus C, Peter L-M, Schmidt U et al. Die VR-basierte Leichenschau. Transfer und Modifikation einer digitalen Lehrveranstaltung für Medizinstudierende von Halle nach Dresden [German Medical Science GMS Publishing House]. 17. Internationales SkillsLab Symposium 2023. DOI: 10.3205/23isls30
- [27] Willemer M-C, Krumm K, Teistler M, Flägel K, Junga A, Schulze H et al. Gallery Walk in Virtual Reality – immersive Einblicke in VR-Projekte der medizinischen Ausbildung [German Medical Science GMS Publishing House]. Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA) 2023. DOI: 10.3205/23gma294
- [28] Speidel R, Willemer M-C, Romeike BF, Junga A, Schulze H, Hätscher O et al. Vom Potenzial zum

- Mehrwert – World Café zum didaktischen Einsatz von Virtual Reality [German Medical Science GMS Publishing House]. Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA) 2023. DOI: 10.3205/23gma315
- [29] Flägel K, Willemer M-C, Mergen M, Junga A. Evaluation von VR-Anwendungen in der medizinischen Ausbildung – von Beispielen zu einem standortübergreifenden Evaluationskonzept [German Medical Science GMS Publishing House] . Gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA) und des Arbeitskreises zur Weiterentwicklung der Lehre in der Zahnmedizin (AKWLZ) 2024. DOI: 10.3205/24gma206
- [30] Kern P, Unzner J, Kern U. Digitale Tools zur Transformation der Hochschullehre - Hochschulforum Digitalisierung; 2017. Available from: URL: <https://hochschulforumdigitalisierung.de/digitale-tools-zur-transformation-der-hochschullehre/> [cited 2025 Sep 15] .
- [31] Arbeitsgruppe DiF-Medizin. Digitale Transformation in der medizinischen Ausbildung. Eine Handreichung der Arbeitsgruppe Digitalisierung in den Fachbereichen: Medizin: Arbeitspapier Nr. 74. Berlin: Edition Stifterverband – Verwaltungsgesellschaft für Wissenschaftspflege mbH Available from: URL: https://hochschulforumdigitalisierung.de/wp-content/uploads/2023/11/HFD_AP_74_Medizin.pdf [cited 2025 Sep 16] .
- [32] Atenas J, Ebner M, Ehlers U-D, Nascimbeni F, Schön S. An Introduction to Open Educational Resources and Their Implementation in Higher Education Worldwide. Weizenbaum Journal of the Digital Society 2024; 4. DOI: 10.34669/WI.WJDS/4.4.3
- [33] Tolks D, Keller J. Generative KI in der medizinischen Ausbildung; 2024 Available from: URL: <https://hochschulforumdigitalisierung.de/generative-ki-in-der-medizinischen-ausbildung-revolution-oder-routine> [cited 2025 Sep 16] .