



Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – DGK-Positionspapier

Aus der Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin

Ann-Kathrin Rahm^{1,2} · Tobias Raupach³ · Konstanze Betz^{1,2} · Nina D. Ullrich⁴ · Henrik Herrmann⁵ · David Duncker⁶ · Holger Thiele⁷ · Jordi Heijman⁸ · Christian Andreas Perings^{9,10} · Benjamin Meder¹

¹ Klinik für Innere Med. III, Kardiologie, Angiologie u. Pneumologie, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland; ² Maastricht University and University Medical Center, Cardiovascular Research Institute Maastricht, Maastricht, Niederlande; ³ Institut für Medizindidaktik, Universitätsklinikum Bonn, Bonn, Deutschland; ⁴ Institut für Physiologie, Universität Bern, Bern, Schweiz; ⁵ Bildungszentrum für Berufe im Gesundheitswesen, Westküstenklinikum Heide, Gera, Deutschland; ⁶ Hannover Herzrhythmus Centrum, Klinik für Kardiologie und Angiologie, Medizinische Hochschule, Hannover, Deutschland; ⁷ Klinik für Innere Medizin/Kardiologie, Herzzentrum Leipzig – Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; ⁸ Gottfried Schatz Research Center, Lehrstuhl für Medizinische Physik und Biophysik, Medizinische Universität Graz, Graz, Österreich; ⁹ Medizinische Klinik I St. Marien Hospital Lünen, KLV St. Paulus GmbH, Lünen, Deutschland; ¹⁰ Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland



Digitalisierung im medizindidaktischen Kontext in Aus- und Weiterbildung

Die Digitalisierung kann die Bildungslandschaft in allen Bereichen grundlegend verändern – so auch die medizinische Aus- und Weiterbildung vom Studium bis über die Facharztqualifikation. Damit ist Digitalisierung der Lehre implizit ein gesamtgesellschaftliches Thema, welches alle Lebenssektoren betrifft. Besonders in der kardiovaskulären Medizin eröffnen sich neue methodische Zugänge und innovative Formen der Wissensvermittlung. Da digitale Lehre insbesondere ein Thema von Studium und Facharztausbildung ist, werden über die *Young DGK* und #Youngest DGK Inhalte der kardiovaskulären Medizin – mit Unterstützung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK) – bereits in diese frühesten Ausbildungsphasen integriert. Dies ist ein wichtiger Schritt, um langfristig qualifizierten und motivierten Nachwuchs für das Fachgebiet zu gewinnen. Zudem bieten die Tagungen der DGK wichtige Impulse. Die vielfältigen *eCardiology*-Angebote zeigen auf, wie digitale Formate praxisnah,

interaktiv und zukunftsweisend eingesetzt werden können – sei es in Form von *eLearning*, hybriden Lehrkonzepten oder simulationsbasierten Anwendungen. Sie bieten nicht nur niedrigschwellige Fortbildungsmöglichkeiten, sondern fungieren zunehmend auch als Modellplattform für moderne Didaktik in der kardiovaskulären Aus- und Weiterbildung.

Die digitale Transformation in der Aus- und Weiterbildung wird zwar punktuell bereits technisch umgesetzt, bleibt aber didaktisch oft hinter ihren Möglichkeiten zurück. Dabei ist der Bedarf, überkommene und deutlich veraltete Strukturen abzulösen, mehr als gegeben. Medizinstudierende fühlen sich häufig unzureichend auf die Realität des Berufsalltags vorbereitet [1], stellen hohe Ansprüche an Mobilität und Flexibilität und wünschen sich deutlich mehr Kommunikation und Interaktionen in der Lehre. Auch junge Assistenzärzte fordern zunehmend eine fachliche und auch didaktisch qualifizierte Weiterbildung [2], die sich mehr an dem sich ändernden Berufsbild unter Einbezug von Digitalisierung und KI in der ärztlichen Tätigkeit orientiert. Gleichzeitig stehen diesen Anforderungen nur wenige gut qualifizierte und engagier-

Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autorinnen und Autoren gewählten Genderform. Bei der Verwendung des generischen Maskulinums als geschlechtsneutrale Form sind alle Geschlechter impliziert.

Die Autoren Ann-Kathrin Rahm und Tobias Raupach teilen sich die Erstautorenschaft.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

te Lehrende gegenüber – was eine gezielte Weiterentwicklung gerade im Hinblick auf didaktische und auch methodische Kompetenzen notwendig macht [3].

Medizindidaktisch betrachtet, erfordern diese Entwicklungen die konsequente Anpassung und Weiterentwicklung traditioneller Lehrmodelle – von der Integration von *eLearning* im Studium bis hin zu Fallpräsentationen über VR-Brillen in spezialisierten kardiologischen Kursen. Viele digitale Lernformate ermöglichen eine orts- und zeitunabhängige Aneignung von Wissen und fördern zugleich eigenverantwortliches, individualisiertes Lernen. Im Rahmen dieser Arbeit wird *eLearning* definiert als „die Nutzung neuer Multimedia-Technologien und des Internets zur Verbesserung der Lernqualität, indem der Zugang zu Ressourcen und Dienstleistungen erleichtert sowie der Austausch und die Zusammenarbeit über Distanz ermöglicht werden“.

Fallbasierte *eLearning*-Systeme sind in der Medizin bereits etabliert. Sie erlauben es, praktisches Wissen anhand authentischer Szenarien zu erwerben – insbesondere bei seltenen oder komplexen Fällen. Der langfristige Erfolg solcher Angebote hängt dabei weniger von der Technik ab, sondern vielmehr von durchdachter Didaktik, curricularer Integration und organisatorischen Rahmenbedingungen [4]. Zahlreiche Fakultäten haben während der COVID-19-Pandemie digitale und hybride Formate eingeführt, die heute das Potenzial für eine zukunftsfähige Lehre bieten [5, 6]. Jedoch liegt der Schwerpunkt im Medizinstudium in der Realität weiterhin auf Präsenzveranstaltungen.

Eine aktuelle Handreichung des Hochschulforums Digitalisierung [7] gibt konkrete Empfehlungen zur Nutzung digitaler Werkzeuge und künstlicher Intelligenz (KI) in der medizinischen Ausbildung. Für die Kardiologie wurden diese Empfehlungen spezifisch angepasst [8], um den besonderen Anforderungen des Fachs gerecht zu werden.

Diese Entwicklungen zeigen: Digitalisierung bedeutet mehr als Technik – sie erfordert ein grundsätzliches Umdenken in Didaktik, Methodik und curricularer Gestaltung. Nur durch eine konsequente Verbindung klassischer und digitaler Ansätze kann eine praxisnahe, flexible und

Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet neue Perspektiven für die Aus- und Weiterbildung in der kardiovaskulären Medizin und ermöglicht innovative Lehrmethoden und -ressourcen. In diesem Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK) beleuchten wir den Einsatz digitaler Technologien und innovativer Ansätze zur Optimierung der kardiovaskulären Aus- und Weiterbildung und zeigen wichtige strategische Eckpfeiler auf, die für eine wissenschaftlich begleitete Lehrentwicklung unumgänglich sind. Digitale Plattformen stellen bereits heute eine breite Palette an Lernwerkzeugen bereit, darunter interaktive Simulationen, virtuelle Fallbeispiele und Online-Kurse. Diese Formate ermöglichen es, komplexe kardiologische Inhalte praxisnah zu vermitteln. Moderne Technologien wie *Virtual Reality* (VR), *Mixed-/Augmented Reality* (AR) und 3D-Druck bieten darüber hinaus immersive Lernerfahrungen, die das Verständnis komplexer anatomischer Strukturen und klinischer Szenarien vertiefen. Simulationen von Interventionen und Eingriffen ermöglichen es, praktische Fähigkeiten in einer risikofreien Umgebung zu trainieren und so die Erfolgsrate von komplexen Eingriffen und damit auch die Patientensicherheit zu erhöhen. *eLearning*-Plattformen fördern insbesondere die flexible und individualisierte Aus- und Weiterbildung, die unterschiedlichen Lernbedürfnissen und -geschwindigkeiten gerecht wird, der Einsatz ist jedoch nicht flächendeckend bzw. teils gar nicht vorhanden. Um eine fortschreitende Weiterentwicklung der Lehre zu fördern, ist die Integration evidenzbasierter Konzepte notwendig, um bestehende Lehrmethoden sinnvoll zu ergänzen, allen Lernenden zugänglich zu machen und nahtlos in die aktuellen Aus- und Weiterbildungsstrukturen einzufügen. Ziel dieses Positionspapiers der *eCardiology* Sektion der DGK ist es, Forschungslücken im Bereich der digitalen Aus- und Weiterbildung in der Kardiologie aufzuzeigen, um damit insbesondere zur Entwicklung, Standardisierung, Implementierung und Evaluation digitaler Lernangebote sowie zur wissenschaftlich fundierten Untersuchung ihrer Wirksamkeit in der Aus- und Weiterbildung beizutragen. Durch einen grundlegenden Strukturwandel hinsichtlich der Art und Weise, wie Lehre im Kontext der Aus- und Weiterbildung von den Verantwortlichen im akademischen Setting wahrgenommen und gestaltet wird, bieten sich neue Chancen für Lehrende und Lernende.

Schlüsselwörter

Digitalisierung · Ausbildung · Weiterbildung · Digitale Lehre · eLearning

Studierenden-/Arzt-zentrierte medizinische Aus- und Weiterbildung verwirklicht werden, die den Anforderungen der modernen Kardiologie gerecht wird.

Formen der medizinischen Lehre – von Ausbildung und Weiterbildung bis zum lebenslangen Lernen

Die medizinische Ausbildung gliedert sich in mehrere Phasen: Aus- und Weiterbildung umfassen einen kontinuierlichen Prozess der Wissens- und Kompetenzvermittlung – beginnend mit dem Studium, über die klinische Weiterbildung im Rahmen der Facharztausbildung bis hin zu lebenslangem Lernen durch regelmäßige Fortbildungen.

Im **Studium** erfolgt die Wissensvermittlung weiterhin überwiegend durch Präsenzveranstaltungen, unterstützt durch digitale Materialien. Das Verständnis wich-

tiger physiologischer und pathophysiologischer kardiovaskulärer Grundlagen kann so zum Beispiel durch Echtzeitsimulationen mit personalisierten Computermode-llen [9] erlernt und vertieft werden. Solche personalisierten Herzmodelle eignen sich zudem nicht nur zum Erlernen der Grundlagen, sondern können auch in wissenschaftlichen Arbeiten genutzt werden [10] und ermöglichen damit auch direkt forschungsgeleitete Lehre. Studierende nutzen zunehmend bereitgestellte digitale Materialien von verfügbaren Anbietern [11, 12], deren Inhalte natürlich kontinuierlich auch an aktuelle kardiologische Leitlinien angepasst werden müssen. Aktuelle Studien untersuchen auch die Wirksamkeit digitaler Lernplattformen in der kardiovaskulären Ausbildung. Eine Untersuchung von Awada et al. zeigt, dass virtuelle Patientenfälle das klinische Denken von Medizinstudierenden

im Bereich der Herz-Kreislauf-Erkrankungen fördern [13]. Zudem hat die COVID-19-Pandemie die Entwicklung digitaler Lehrmethoden beschleunigt, was zu einer berichteten verbesserten Vermittlung klinischer Fähigkeiten führte [13].

In der **Weiterbildung** stehen für die zukünftigen Fachärzte klinische Praxiserfahrungen im Vordergrund, ergänzt durch digitale Plattformen und Simulationen. Das strukturierte Curriculum der DGK dient als Leitfaden und ermöglicht eine gezielte Strukturierung der Weiterbildungszeit. Die DGK-Akademie bietet zudem aktuelle Kurse zu relevanten Themen in der Kardiologie an [14]. Zudem werden vereinzelt bereits Kurse an Simulatoren angeboten, die es ermöglichen, praktische Fertigkeiten realitätsnah einzuüben – noch bevor sie am Patienten oder an der Patientin angewendet werden. Beispiele hierfür sind das Herzkatheter-Simulatortraining der Arbeitsgruppe Interventionelle Kardiologie (AGIK) zur Koronarangiographie sowie spezielle Simulationstrainings der Arbeitsgruppe Elektrophysiologie (AGEP) für die kardiale Elektrophysiologie [15]. Auf der Jahrestagung der DGK konnte 2025 erstmalig im eCardiology Bereich ein Mitralclipping trainiert werden, unter Berücksichtigung Patientenspezifischer Klappenmodelle aus dem 3D Drucker und einer Echtzeit Hämodynamikumgebung. Bei fluoroskopisch gesteuerten Verfahren kann das Simulatortraining beispielsweise zu einer geringeren Strahlenexposition führen [16–18]. Der aktuelle Bedarf an Training übersteigt jedoch deutlich die derzeit verfügbaren Angebote [19].

Innovative pädagogische Modelle wie das „*Flipped Learning*“ haben sich in der kardiologischen Facharztausbildung als effektiv erwiesen. Beim „*Flipped Learning*“ erarbeiten sich die Lernenden neue Inhalte eigenständig zu Hause, meist mithilfe von z. B. Videos oder digitalen Materialien. Die Präsenzzeit wird dann für vertiefende Übungen, Diskussionen und individuelle Unterstützung genutzt. Diese Modelle haben das Potenzial die Zufriedenheit und die akademische Leistung zu verbessern [20].

Lebenslanges Lernen ist ein grundlegendes Konzept, das durch die digitale Transformation neue Dimensionen gewinnt und in der Kardiologie eine zentrale

Rolle spielt. Angesichts ständig neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und technologischer Fortschritte ist es unerlässlich, das Fachwissen kontinuierlich zu aktualisieren. *eLearning* spielt hierbei eine wichtige Rolle, da es Ärzten ermöglicht, ihr Wissen flexibel und effizient zu erweitern [21]. *Blended-Learning*-Modelle, die digitale Lernformate in beliebiger Gewichtung oder Abfolge mit Präsenzphasen verbinden, gelten als besonders effektive Methode der Wissensvermittlung [22]. Das *American College of Cardiology* (ACC) betont z. B. in seinem *Lifelong Learning Statement* die Notwendigkeit, Kompetenzen über die gesamte Berufslaufbahn hinweg zu erhalten und zu erweitern [23]. Ein systematisches Review von Babenko et al. (2017) zeigt, dass die Orientierung zum lebenslangen Lernen bei Medizinstudierenden, Assistenzärzten sowie praktizierenden Fachärzten hoch ist und im Laufe der Karriere weiter zunimmt [24]. Diese Entwicklung gilt es, mithilfe digitaler Medien weiter zu unterstützen und zu unterhalten.

Der kontinuierliche Zugang mit Nutzung der Bildungsressourcen ermöglicht eine flexible Anpassung an sich schnell verändernde medizinische Inhalte und technologische Fortschritte. Die *European Society of Cardiology* (ESC) bietet über ihre *eLearning*-Plattform (ESCeL) mehr als 250 interaktive Kurse an, die auf dem ESC-Kerncurriculum basieren und eine kontinuierliche berufliche Entwicklung ermöglichen [25]. Bislang erfolgt die Nutzung jedoch auf freiwilliger Basis und ist nicht flächendeckend in die Weiterbildungscurricula integriert.

Anwendungen aus dem Bereich der KI haben bereits Einzug in die medizinische Aus- und Weiterbildung gehalten und werden die künftigen Lehrformate auf verschiedene Weise prägen. Der ESC Chat ist ein KI-gestützter Chatbot, entwickelt von der ESC, der Fragen basierend auf den aktuellen ESC Clinical Practice Guidelines beantwortet. Konkrete klinische Fragestellungen – etwa zu Diagnostik, Therapie oder Risikobewertung – können eingegeben werden. Der ESC Chat Bot liefert daraufhin individualisierte, leitlinienkonforme Auskünfte. Jede Antwort enthält zudem Quellenverweise und direkte Links zu den

entsprechenden Passagen innerhalb der ESC-Leitlinien [26, 27].

Ein weiteres Beispiel aus dem kardiologischen Bereich für KI-Nutzung bietet die Echokardiographie [28]. Bereits bei Durchführung der ersten echokardiographischen Untersuchungen konnte in einer Pilotstudie ein *Machine-learning*-Algorithmus Anfängern erfolgreich bei der Aufnahme von verwertbaren Echo-Schleifen und LVEF-Auswertungen helfen [29]. Doch auch bei erfahrenen Untersuchern kann die zusätzliche Anwendung von KI-basierten Technologien dazu dienen, die Bewertungen bei komplexen Echokardiographien zu verfeinern [30]. Anstelle einer alleinigen Anwendung von KI in der kardialen Bildgebung sollten diese Anwendungen auch zur Unterstützung der Lehre dienen. Eine Überprüfung der Bildgebung durch erfahrene Kardiologen (*human-in-the-loop*) sichert die Effektivität und stellt sicher, dass keine ungewollte Abhängigkeit von KI-Anwendungen in der Bildgebung entsteht [31]. Darüber hinaus finden sich in der Literatur auch Beispiele dazu, wie es Open-Source-Anwendungen Lehrenden ermöglichen können, personalisierte und intelligente Lernsysteme zu entwickeln. Li et al. nutzten in diesem Beispiel eine *Open-Source-Machine-Learning*-Architektur, welche mit einer speziellen Datenbank (Lehrkatalog Anatomie) angepasst wurde, und erstellten daraus ein KI-Dialogsystem zur Anatomielehre [32]. Gegenüber dem Potenzial und Nutzen von KI-Anwendungen in der medizinischen Aus- und Weiterbildung stehen aber auch die Risiken einer undifferenzierten Nutzung. Neben Sorgen des Datenschutzes und KI-basierten *Haluzinationen* ist auch an ein Bias durch die zugrunde liegenden Trainingsdaten der KI-Systeme zu denken. Eine sichere und effektive Anwendung von KI in der Aus- und Weiterbildung setzt daher auch grundlegende Kompetenzen im Umgang mit der zugrunde liegenden Technologie sowie ein Verständnis ihrer Funktionsweise voraus [33]. In einer 2022 publizierten Studie fanden sich jedoch in keinem der Facharztausbildungsprogramme in Deutschland KI-bezogene Inhalte. Weiterhin waren nur 30 von über 80.000 gelisteten CME-Kursen (0,03 %) KI-bezogen. Auch wenn sich seither vereinzelte

Ausbildungsinhalte etabliert haben, mangelt es jedoch auch weiterhin noch an standardisierten Angeboten die auf eine Vermittlung der Grundprinzipien der KI-Nutzung zielen [34]. Doch nicht nur Lehrende, auch Studierende fühlen sich noch nicht ausreichend auf den sicheren Umgang mit KI-Anwendungen vorbereitet [35]. An einzelnen Standorten haben lokale Initiativen z.B. im Rahmen von Rotationsplanungen spezielle KI-Ausbildungen ins Leben gerufen, z.B. der AI Cardiologist am Uniklinikum Heidelberg.

Diese Entwicklungen verdeutlichen, wie die digitale Transformation verschiedene Lernformen miteinander verknüpft und eine kontinuierliche, flexible sowie interaktive Ausbildung im Bereich der Kardiologie ermöglicht, jedoch nur dann, wenn auch die wissenschaftliche Basis für diese Konzepte stimmt. Diese wissenschaftliche Basis ist im Bereich der Lehre jedoch noch ausbaufähig gemessen an wissenschaftlichen Standards. So lieferte eine aktuelle PubMed-Suche mit dem Suchstring „cardiol*“ AND „education“ AND „digit*“ und einer Einschränkung auf randomisierte, kontrollierte Studien aus den Jahren 2000 bis 2025 lediglich 51 Zitierungen. Die Mehrheit der publizierten Arbeiten bezog sich auf telemedizinische Interventionen und Patientenschulungen. Nur 5 der Studien befassten sich mit Lehrinterventionen für Studierende bzw. Ärzte, und nur 4 waren auf dem Feld der Kardiologie angesiedelt [31, 36–38]. Thematisch wurde hier zudem keines der aktuell diskutierten digitalen Lehrformate in der kardiologischen Aus- und Weiterbildung in randomisierter Weise untersucht.

Lehre über Digitales

Eine digitale Lehre erfordert auch eine *Lehre über Digitales* als Grundlage im sicheren und zielorientierten Umgang mit digitalen Anwendungen. Dabei ist die Vermittlung grundlegender technologischer Kenntnisse ebenso erforderlich wie die Auseinandersetzung mit ethischen und rechtlichen Aspekten, um einen verantwortungsvollen und sicheren Einsatz digitaler Anwendungen zu ermöglichen. Im Curriculum Kardiologie der DGK sind digitale Kompe-

tenzen und Medienkompetenz enthalten und werden zunehmend gefordert [39].

Wie die oben bereits genannten Beispiele zur Ausbildung hinsichtlich KI-Anwendungen zeigen [34, 35], gibt es in der *Lehre über Digitales* in Deutschland derzeit noch große Lücken. In einem Positionspapier 2021 forderte die Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland e.V. (bvmd) eine Aufnahme digitaler Kompetenzen in den Nationalen Kompetenzbasierten Lernzielkatalog Medizin (NKLM) mit steter Aktualisierung und Anpassung der Lehre an die Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung [40]. Einige Lernziele sind im NKLM [41] bereits adressiert, jedoch noch nicht überall routiniert und systematisch umgesetzt [42]. Diese Lernziele bieten Grundlagen für übergeordnete Kernkompetenzen im Umgang mit digitalen Anwendungen. Außerhalb dieser (Beispiele finden sich in einer Übersichtsarbeit von Khurana et al. 2022 [43]) sollten jedoch im Bereich der Kardiologie auch fachspezifische Kernkompetenzen evaluiert, an die übergeordneten Kernkompetenzen angepasst und systematisch in die Curricula integriert werden.

Künftige Ärzte müssen ihre Patienten nicht nur über den Nutzen und Schaden von digitalen Medien (NKLM VIII.2-06.3.5 [41]) beraten können, sondern zum Beispiel auch wissen, was zu tun ist, wenn die Smartwatch alarmiert [44], wo die Grenzen der EKG-Messung mittels Wearables liegen und für welche Patienten eine digitale Gesundheitsanwendung (DiGA) [45] sinnvoll für das Hypertoniemanagement eingesetzt werden kann. Ebenso müssen neben Studierenden auch Ärzte in der Facharztweiterbildung zu übergeordneten Kernkompetenzen wie auch zu spezifischen digitalen Fragestellungen in der Kardiologie geschult werden. Hierbei hat der Bereich Telemedizin bereits Einzug in die Weiterbildungsordnung gehalten [46].

Für die Umsetzung der Aus- und Weiterbildung in digitalen Kernkompetenzen sowie auch fachspezifischen Themen in der digitalen Kardiologie steht die Sektion *eCardiology* im interdisziplinären Austausch mit nationalen und internationalen Fachgesellschaften und Verbänden (z.B. Deutsche Gesellschaft für Digitale Medizin e.V. [DGDM], Gesellschaft für medizi-

nische Ausbildungsforschung [GMA]). In diesem Zusammenhang werden zentrale Themenbereiche (z.B. *Wearables* in der Kardiologie, DiGA in der Kardiologie) auch im Rahmen von Fortbildungen aufgegriffen.

Parallelen zwischen klinischer Versorgung und Lehre: evidenzbasierte Lehre

Insgesamt lässt sich immer wieder beobachten, dass die strengen Evidenzkriterien, die unser klinisches Handeln leiten, in der akademischen Lehre häufig nicht in gleicher Konsequenz zur Anwendung kommen (■ Abb. 1). Dabei kann für viele solcher Entscheidungen auf eine belastbare Datenlage zurückgegriffen werden – sie ist nur nicht überall bekannt.

Im Folgenden sollen die Grundlagen für den Einsatz digitaler Lehr- und Lernformate in der kardiologischen Aus- und Weiterbildung vorgestellt werden. Auf eine kurze Definition digital gestützter Lehre folgen mögliche Einsatzgebiete und gezielte Empfehlungen zur praktischen Umsetzung in Hinblick auf das Prinzip des „*constructive alignment*“. Die DGK will hier Anreize schaffen, Forschungslücken zu identifizieren und zu schließen, um die Aus- und Weiterbildung für zukünftige Kardiologen zu verbessern.

Digitale Transformation als Treiber für neue Lehrformate

Spätestens seit der Corona-Pandemie haben digitale Lehr- und Lernformate Einzug in alle Bereiche des Studiums sowie der Weiterbildung gehalten. Die Palette gängiger Formate reicht dabei von aufgezeichneten Vorträgen über verschiedene digital gestützte Selbstlernformate, computergestütztes, fallbasiertes Lernen [6], virtuelle Patienten, digitale Visualisierungen und Videokonferenzen bis hin zu digitalen Simulationen und komplett adaptiven Systemen. Ein häufiges Missverständnis besteht darin, digital gestützte Lehre als Gegenpol zu konkreten Lehrformaten, wie z.B. Kleingruppenunterricht, aufzufassen. Bei diesem Vergleich werden verschiedene Ebenen miteinander vermischt, denn Vorlesungen sind ebenso wie Kleingruppenseminare oder Unterricht mit Patien-



Abb. 1 ▲ An einer Universitätsklinik diskutieren 2 Ärzte über den Einsatz von *Audience Response Systems* in der Lehre. Ein junger Assistenzarzt sagt, dass er im folgenden Semester eine Studie dazu durchführen möchte, ob der Einsatz solcher Systeme den Lernerfolg der Studierenden tatsächlich erhöht. Sein oberärztlicher Kollege erwidert, dass es dafür keine Studie brauche, weil für ihn auf der Hand liege, dass solche Systeme effektiv seien. Anders könne er es sich gar nicht vorstellen, außerdem würden solche *Clicker* ja auch bei den großen Kongressen eingesetzt. Damit sei das Thema für ihn erledigt. Eine später durchgeführte Literaturrecherche förderte eine Übersichtsarbeit von Nelson et al. aus dem Jahr 2012 zutage, der zufolge der Nutzen solcher TED-Systeme in der medizinischen Lehre nicht belegt ist [47]. (Abbildung erstellt mit DALL-E3 und ChatGPT 5.0; Diffusion Model Bild Generator)

ten verschiedene *Formate*, während der Aspekt der Digitalität sich darauf bezieht, wie diese Formate *umgesetzt* werden. So können Vorlesungen, Seminare und *Bed-side-Teaching* sowohl in Präsenz als auch digital stattfinden. Die Frage ist dann allerdings, welche Vorteile eine digital gestützte Vermittlung gegenüber der Präsenzlehre hat.

Zu den Stärken digital gestützter Lehrszenarien gehören ihre Flexibilität hinsichtlich Zeit und Ort, die Ermöglichung personalisierter Lernwege und automatisierter Rückmeldungen zum individuellen Lernstand, die Skalierbarkeit und die damit einhergehende Schonung von Ressourcen, wenn ein Angebot erst einmal etabliert ist [48]. Demgegenüber stehen aber auch Herausforderungen wie der in der Regel sehr hohe initiale Aufwand, die ggf. notwendigen Investitionen in die technische Infrastruktur und der Schulungsbedarf der Personen, die die digital gestützte Lehre durchführen sollen [49]. Ein wesentliches Manko digital gestützter Formate ist die im Vergleich zu Präsenzformaten insge-

samt geringere Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden [50].

Lehrformate

Eine umfassende Darstellung aller weltweit eingesetzten digital gestützten Lehrformate würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Anzumerken ist zunächst, dass – ebenso wie Präsenzveranstaltungen – digital gestützte Formate ihre Effektivität hinsichtlich des Lernerfolgs nicht mit ausschließlichem Bezug zu einer spezifischen Fachrichtung entfalten. Entsprechend ist es nicht sinnvoll, Betrachtungen zur digital gestützten Lehre auf das Gebiet der Kardiologie zu beschränken. Die didaktischen Prinzipien, die der Wirksamkeit einer digital gestützten Simulation zugrunde liegen, sind im Wesentlichen unabhängig vom fachlichen Gegenstand gültig, sodass die nun folgenden Ausführungen genereller Natur sind. Entsprechend muss die Effektivität eines spezifischen digital gestützten Formats auch nicht für alle medizinischen Fachgebiete nachgewiesen

werden. Besonderheiten des Herzens im Hinblick auf seine Komplexität bezüglich der Physiologie und Anatomie als „schlagendes Organ“ gilt es entsprechend in den Auswertungen zu berücksichtigen bzw. zu evaluieren. So ist es möglicherweise denkbar, dass die Erregungsausbreitung bei einer Arrhythmie mehr von einer *Augmented-Reality*-Darstellung für das genauere Verständnis profitiert als die Darstellung eines sich nicht bewegenden Organs [3].

Die **Tab. 1** stellt einige gängige digital gestützte Formate vor. Auch hier wird eine gewisse Unschärfe in der Begrifflichkeit deutlich, denn einige der genannten Formate erfordern den Einsatz besonderer Technologien (z. B. dezidierte Online-Plattformen oder Ausrüstung wie AR/VR-Brillen), während andere (Simulationen und Gamification) sowohl in analogen als auch in digital gestützten Settings umgesetzt werden können.

An dieser Stelle sollen Beispiele für nachweislich effektive Lehrformate gegeben werden:

Anfang dieses Jahres wurden die Ergebnisse einer randomisierten Studie publiziert, der zufolge eine App den studentischen Lernerfolg hinsichtlich des klinischen Denkens signifikant erhöhen kann [52]. Studierenden werden von der App klinische Fallgeschichten vorgelegt, und nach der Beantwortung einer *Key-Feature-Frage* wurden die Studierenden dazu aufgefordert, eine Elaborationsfrage zur richtigen Antwort in Abgrenzung von häufigen Falschantworten zu beantworten. Für diese Elaboration erhalten die Studierenden individuelles Feedback, das von einem *Large Language Model* generiert wird. Eine intensivere Nutzung der App war im Vergleich zu einer weniger intensiven Nutzung mit einem signifikant höheren Lernerfolg am Ende der Interventionsphase verbunden [53].

Eine weitere Methodik mit nachgewiesener Effektivität wird als *Gamification* bezeichnet. Dies bezeichnet die Nutzung und den Einsatz von (Video-)Spiel-typischen Eigenschaften in der Lehre [54, 55]. Eine Implementierung solcher Elemente kann die Konzentration, Motivation und Leistung von Studierenden steigern [54]. Ausprägungen der Gamification können beispielsweise Punktesysteme oder Badges sein, beinhalten jedoch auch Elementen-

Tab. 1 Möglichkeiten/Plattformen		
Technologie	Beschreibung	Beispiel Plattformen/Tools
eLearning	Flexibles, orts- und zeitunabhängiges Lernen	Moodle, Coursera
		edX
		ESCeL [25]
		Amboss [12]
		Herzmedizin.de [14]
		EKG Trainer für Isabel (Onlineprogramm EKG Kurs für Isabel)
		ekg.training
Extended Reality (XR), Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR)	Immersive Lernumgebung zur Veranschaulichung und/oder Simulation von Eingriffen und Diagnosen	123sonography, echobasics.de
		Osso VR
		TouchSurgery
Simulation	Realitätsnahe Übung ohne Risiko für Patienten	HeartRhythmVR
		Laerdal Simulators
		Simbionix
		CircAdapt [9]
		EP Simulator
Gamification	Motivation durch spielerische Elemente	Echopilot
		Virtuelle Notaufnahme [51]
Kommunikation/Umfragen	Digitale Kommunikationskanäle	3D-Lernmodule
		Slack
		Siilo
		Pingo
		Wooclap
		Online Meeting Tools
		ESC Chat [27]

te wie soziales Engagement, Wahlfreiheit und zeitlichen Druck – Faktoren, die sowohl Erfolg als auch Misserfolg beeinflussen können. Diese Merkmale spiegeln zentrale Anforderungen des späteren medizinischen Berufslebens wider und können somit gezielt zur Kompetenzentwicklung beitragen. So nutzten Medizinstudierende beispielsweise eine virtuelle Notaufnahme, um das Management von Patienten unter realitätsnahem Zeitdruck zu trainieren und praxisrelevante Entscheidungskompetenzen zu stärken. Selbst 18 Monate nach der Intervention fanden sich in der untersuchten Gruppe im Vergleich zu Studierenden, die die virtuelle Notaufnahme bisher noch nicht genutzt hatten, signifikante Unterschiede hinsichtlich der korrekten Diagnosestellung und der Leitlinienadhärenz [51].

„Constructive alignment“

An den in **Tab. 1** genannten Beispielen wird bereits deutlich, dass sowohl mit ana-

logen als auch mit digital gestützten Lehrformaten unterschiedliche kardiologische Lernziele abgedeckt werden können. Im Wesentlichen werden 3 große Domänen unterschieden: Faktenwissen und dessen konkrete und korrekte Anwendung, praktische Fertigkeiten und professionelle Einstellungen. Da praktische Fertigkeiten am besten durch manuelles Üben erlangt werden [56], ist der Einsatz digital gestützter Formate für die anderen beiden Domänen eher Erfolg versprechend. Das diesen Überlegungen zugrunde liegende Prinzip wird als „constructive alignment“ bezeichnet. Hiernach sollten die eingesetzten Lehrmethoden genau auf die angestrebten Lernziele abgestimmt sein – und auch die Prüfungen sollten diese Lernziele möglichst realitätsnah abbilden. Konkret bedeutet dies z. B., dass das Interpretieren eines EKGs als praktische Fertigkeit nicht allein durch den Besuch einer Vorlesung erlernt werden kann [57, 58]. Ebenso ist eine Multiple-Choice-Prüfung nur bedingt geeignet, den Lernerfolg realitätsnah zu erfassen, da im

klinischen Alltag EKGs nicht mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten präsentiert werden, aus denen lediglich die richtige ausgewählt werden muss. Im Sinne des „constructive alignment“ sollte die EKG-Interpretation also besser in praktischen Übungen trainiert werden. In der abschließenden Prüfung sollten die Studierenden dazu angeleitet werden, einen schriftlichen EKG-Befund zu erstellen – schließlich ist genau diese Kompetenz das Ziel der Ausbildungsmaßnahme.

Entscheidungsfindung in der Lehre

Nicht selten werden digital gestützte Lehrangebote, wie z. B. Apps, vor allem deshalb eingesetzt, weil die verantwortlichen Lehrpersonen von der zugrunde liegenden Technik begeistert sind oder auf den „novelty factor“ solcher Interventionen setzen. Hierbei werden allerdings häufig wesentliche Schritte übersprungen: Zunächst gilt es, die angestrebten Lernziele zu definieren, anschließend das passende Lehrformat auszuwählen, und erst darauf aufbauend sollte entschieden werden, ob ein digital gestütztes Szenario dem Lernziel besser gerecht wird als alternative Formate [59].

Da es sich bei digital gestützter Lehre, wie oben ausgeführt, nicht um ein eigenständiges Lehrformat handelt, sondern vielmehr um einen alternativen Vermittlungsweg, etwa im Vergleich zur Präsenzlehre oder dem Lesen eines Fachtextes, stellt sich nun die Frage, unter welchen Bedingungen digitale Lehr- und Lernszenarien gegenüber anderen Vermittlungsformen vorzuziehen sind. Kardiologen, die sich in der klinischen Entscheidungsfindung nicht primär an ihrem Bauchgefühl, sondern an der publizierten Datenlage orientieren, sollten entsprechend auch dieser Frage mit wissenschaftlich fundierter Methodik begegnen.

Erstens können hierbei **Aspekte der praktischen Machbarkeit** betrachtet werden. Wenn beispielsweise klinisches Denken trainiert werden soll und einer gesamten Semesterkohorte von über 150 Studierenden individuelles Feedback gegeben werden soll, dann ist dies für einzelne Lehrende kaum möglich; hier können *Large Language Models* Abhilfe schaffen. Zweitens sind **lernpsychologische**

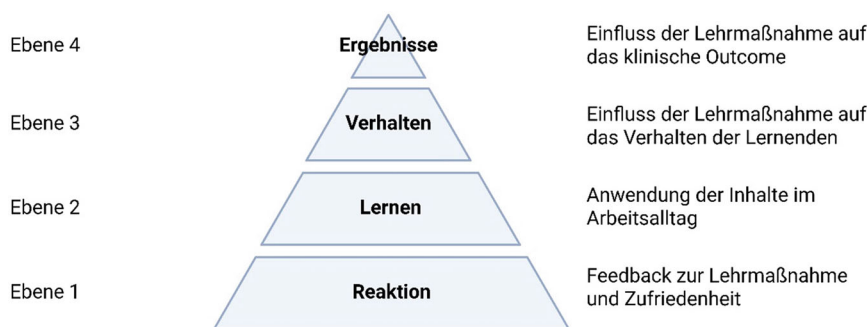


Abb. 2 ▲ Ebenen der Evaluation nach Kirkpatrick [61]. (Abbildung erstellt in <https://BioRender.com>)

Überlegungen anzustellen. Auf dieser Grundlage können sich Argumente für oder gegen den Einsatz digitaler Medien zur Vermittlung spezifischer Lernziele ergeben. So können Studierende oder auch Assistenzärzte in einer Präsenzvorlesung deutlich einfacher aktiviert werden (durch direkte Rückfragen, *Buzz groups*, dialogische Erarbeitung) als in einer Zoom- oder Teams-Vorlesung, bei der in der Regel nur die vortragende Person zu sehen ist und alle Zuhörenden ihre Kameras abgeschaltet haben. Drittens müssen didaktische Entscheidungen von der **publizierten Datenlage** gestützt sein.

Mit den **BEME Guides** liegen zahlreiche Zusammenstellungen des verfügbaren Wissens zu spezifischen Aspekten vor [60], die zu diesem Zweck konsultiert werden können. Analog zu klinischen Leitlinien lassen sich auch im Bereich der Lehre unterschiedliche Evidenzniveaus unterscheiden – basierend auf mehr oder weniger aussagekräftigen Datenquellen. Auch in der Lehrforschung sind randomisierte und auch multizentrische Studien möglich, die kausale Schlüsse über die Effektivität von Interventionen zulassen. Viele bisherige Studien auf diesem Gebiet beschränken sich jedoch auf die Erhebung der studentischen Zufriedenheit mit einem Lehrformat. Die verschiedenen Ebenen der Outcome-Qualität, die in solchen Studien abgebildet werden können, sind in **Abb. 2** dargestellt.

Auf der ersten **Ebene der Evaluation** der sog. **Pyramide nach Kirkpatrick** [61] geht es lediglich um die Reaktion der Lernenden auf die Lehrintervention; ein Synonym hierfür ist die Zufriedenheit mit dem Lehrangebot unabhängig von seiner Wirksamkeit. Letztere – häufig auch als Lernerfolg bezeichnet – wird auf der zwei-

ten Ebene evaluiert, beispielsweise mit objektiven schriftlichen oder praktischen Tests. Die dritte Ebene bildet beobachtbares Verhalten im beruflichen Kontext ab – also zum Beispiel, ob sich durch eine Lehrintervention das Verhalten von Ärzten im klinischen Kontext entsprechend geändert hat. An der Spitze der Pyramide stehen Ergebnisse dieses Verhaltens – in der Klinik entspricht dies den klinischen Outcomes. Wenngleich der Nachweis eines kausalen Zusammenhangs zwischen der Einführung digital gestützter Lehrangebote und einer verringerten Patientenmortalität äußerst komplexer Studiendesigns mit strikter Kontrolle von Confoundern bedarf und das Verhalten von Ärzten nicht lückenlos erfasst werden kann, sollte doch zumindest eine zentrale Mindestanforderung gelten: Neue Lehrformate, ob analog oder digital, sollten ihre Wirksamkeit durch objektiv messbare Lernerfolge nachweisen.

Diese Voraussetzung scheint für die in der Kardiologie eingesetzten digital gestützten Lehrmethoden nicht immer erfüllt zu sein [62].

Umsetzungsstrategien zur digitalen Lehre der DGK

Konkrete Empfehlungen zur Planung und Implementierung guter analoger oder digitaler Lehre in der Kardiologie wurden kürzlich publiziert [8]. Im Zentrum dieser Empfehlungen steht die **curriculare Integration** der jeweiligen Inhalte gemäß dem Prinzip des „*constructive alignment*“. Hervorzuheben ist in diesem Kontext auch die Bedeutung summativer Prüfungen [63]. Zusätzliche Lehrangebote, die keinen Bezug zu den nachfolgenden benoteten Prüfungen aufweisen, werden kaum genutzt.

Die Formulierung von Empfehlungen zum Einsatz spezifischer digital gestützter Formate wird dadurch erschwert, dass **kaum belastbare Daten zur Effektivität** solcher Formate vorliegen. Es erstaunt, dass sie in vielen Fällen trotzdem eingesetzt werden: In der klinischen Versorgung wäre es undenkbar, ein innovatives interventionelles Verfahren ohne begleitende Studie an Patienten zu erproben. Warum ist dieses Vorgehen in der Lehre möglich und auch gängige Praxis? Zwar lässt sich hypothesieren, dass potenzielle Schäden durch unzureichende Lehrformate bei Studierenden zunächst geringer ausfallen als bei behandelten Patienten. Wird der Lernerfolg jedoch als Indikator für die spätere klinische Kompetenz und damit auch für potenziell überlebensrelevante Entscheidungen betrachtet, kommt der Qualität der Lehre doch zumindest eine mittelbare, wenn nicht sogar zentrale Relevanz zu.

Umgekehrt kommen qualitätsgesicherte digital gestützte Angebote noch immer nicht flächendeckend zum Einsatz. Ursächlich hierfür könnte der eingangs angeführte, initiale Aufwand für Lehrende sein. Dagegen spricht allerdings die Beobachtung, dass selbst eine Minimierung dieses Aufwands häufig nicht dazu führt, dass Lehrende sich aktiv an der Gestaltung digital gestützter Lehre beteiligen. Hier kommen – zumindest im universitären Umfeld – am ehesten systemische Einflussfaktoren wie die Imbalance in der Incentivierung von Forschung und Krankenversorgung auf der einen und guter Lehre auf der anderen Seite zum Tragen. Aus der Erfahrung der Autoren werden die Lehre selbst und Forschung über Lehrinnovationen oft nur als minderwichtig eingeordnet, was dem immensen Stellenwert der Aus- und Weiterbildung im ärztlichen Handeln nicht immer gerecht wird.

Der Begriff „Digitalität“ umfasst mehr als nur die Digitalisierung analoger Lehr-/Lernformate. Gemeint ist vielmehr ein tiefgreifender Strukturwandel in der Lehre, der zu einer institutionellen Integration digitaler Denk- und Handlungsweisen in die Gestaltung von Lehr-/Lernprozessen führt. Im akademischen Kontext folgt daraus, dass digital gestützte Methoden in die Curricula in Aus- und Weiterbildung einbezogen werden, die technische Infrastruktur für ei-

Tab. 2 Forschungslücken in Bezug auf digitale Lehrmethoden in der Aus- und Weiterbildung	
Forschungslücke	Erklärung
<i>Wirksamkeit digital gestützter Lehrmethoden</i>	Es fehlen überwiegend belastbare Daten und Studien, die die Effektivität digitaler Lehrformate in der Kardiologie objektiv belegen
<i>Evaluation auf höherer Outcome-Ebene</i>	Studien beschränken sich häufig auf Zufriedenheitsbefragungen, während Nachweise auf höherer Ebene (Verhaltensänderung, klinische Endpunkte) kaum vorliegen
<i>Evidenzbasierte Auswahl von Lehrmethoden</i>	Entscheidungen für den Einsatz digitaler Formate erfolgen oft ohne wissenschaftliche Grundlage und nicht auf Basis klarer Lernzieldefinitionen („constructive alignment“)
<i>Integration in bestehende Ausbildungscurricula</i>	Es gibt wenig Forschung, wie digitale Lehrformate effektiv und nachhaltig in bestehende Ausbildungscurricula eingebunden werden können
<i>Didaktische Überlegungen zur Lernzielorientierung</i>	Unklar bleibt, welche Lernziele (z. B. Faktenwissen, Fertigkeiten, Einstellungen) mit digitalen Formaten besonders effektiv erreicht werden können
<i>Systematische Qualitätssicherung digitaler Lehrangebote</i>	Fehlende Standards und Methoden zur wissenschaftlichen Qualitätssicherung und Zertifizierung digitaler Lehrformate in der Kardiologie
<i>Barrieren und Herausforderungen bei der Implementierung</i>	Mangelndes Wissen über Hindernisse, wie z. B. technische Ausstattung, Lehrendenmotivation, institutionelle Unterstützung und deren Überwindung
<i>Nutzung und Akzeptanz digitaler Angebote durch Lernende</i>	Es gibt kaum Erkenntnisse darüber, wie intensiv und insbesondere mit welchem Lernerfolg digitale Angebote genutzt werden
<i>Vergleich digitale vs. traditionelle Formate (z. B. Präsenzvorlesungen, Bücher)</i>	Es fehlen direkte Vergleiche zwischen digitalen Lehrmethoden und klassischen Formaten hinsichtlich Lernerfolg und Akzeptanz
<i>Bedeutung digitaler Lehrformate für die spätere klinische Praxis</i>	Unklar ist, ob und wie digitale Formate langfristig die klinischen Fähigkeiten und damit auch Patienten-relevanten Ergebnisse beeinflussen
<i>Technologische Aspekte (z. B. VR, AR, KI)</i>	Unzureichende Forschung zur Wirksamkeit spezifischer Technologien wie <i>Virtual Reality</i> , <i>Augmented Reality</i> , 3D-Druck, <i>Large Language Models</i> im kardiologischen Kontext
<i>Institutionelle Rahmenbedingungen und Incentivierung</i>	Fehlende Studien, wie institutionelle Strukturen, Ressourcen, Anreizsysteme und technische Infrastruktur den Einsatz digitaler Lehre beeinflussen

ne flächendeckende Umsetzung geschaffen wird und Lehrende im Umgang mit den neuen Anwendungen geschult werden. Hierzu kann eine enge Zusammenarbeit mit Experten auf dem Gebiet der medizinischen Informatik zur gemeinsamen Evaluation der Anwendungen (Datenschutzmaßnahmen, Evidenz, Schnittstellen), Personalisierung von digitalen Anwendungen zu den spezifischen Lehrinhalten und Schulung des Lehrpersonals denkbar und unterstützend sein. Bezogen auf die kardiologische Weiterbildung kann dies bedeuten, dass digital gestützte Angebote zu einem festen Bestandteil des Kanons werden und Leistungen auf den entsprechenden Plattformen auch formal für Weiterbildungsleistungen anerkannt werden, in Zukunft vergleichbar z. B. den Si-

mulationskursen von 25 Notarzteinsätzen für die Zusatzweiterbildung Notfallmedizin. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist aber eine wissenschaftlich fundierte Qualitätssicherung dieser Angebote und damit auch eine gewisse Standardisierung (■ **Tab. 2**).

Actionable Items – Wegweiser für eine zukunftsgerichtete Umsetzung

Um den tiefgreifenden Wandel in der ärztlichen Aus- und Weiterbildung aktiv mitzugestalten, reicht es nicht aus, lediglich auf Veränderungen zu reagieren – vielmehr ist es Aufgabe der Fachgesellschaft, gezielt Impulse zu setzen und konkrete Maßnahmen zu definieren. Diese Maßnah-

men müssen sowohl Orientierung bieten als auch Spielräume eröffnen, um die Weiterentwicklung der digitalen kardiovaskulären Lehre strategisch zu begleiten.

A) Nationale Harmonisierung und Standardisierung digitaler kardiovaskulärer Lehrangebote

Ein zentraler Handlungsbereich liegt in der nationalen Harmonisierung und Standardisierung digitaler Lehrangebote. Digitale Formate und Inhalte sollen nicht nur entwickelt, sondern curricular verankert und bundesweit abgestimmt werden. Die Fachgesellschaft kann in diesem Prozess eine koordinierende Rolle einnehmen, indem sie fachlich fundierte Leitlinien, modulare Rahmen-Curricula – etwa zur Interpretation von PPG und EKG – sowie Standards zur Nutzung von DiGAs und zur Zertifizierung digitaler Lehrmaterialien entwickelt. Ziel ist es, einen flächendeckenden, gleichwertigen Zugang zu qualitativ hochwertigen digitalen Bildungsressourcen in der gesamten Weiterbildungslandschaft zu ermöglichen.

B) Wissenschaftliche Begleitung und Qualitätssicherung

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die wissenschaftliche Begleitung und Qualitätssicherung der eingesetzten digitalen Formate. Diese sollen nicht nur implementiert, sondern systematisch evaluiert und evidenzbasiert weiterentwickelt werden. Dabei sind begleitende Studien zur Akzeptanz, zum Lernerfolg, zur Transferleistung und idealerweise auch zum Einfluss auf Patientenoutcomes erforderlich. Die DGK will diesen Prozess durch gezielte Forschungsförderung, die Erstellung methodischer Leitfäden und den Aufbau eines Netzwerks zur kardiovaskulären Lehrforschung aktiv unterstützen. Ein enger Austausch mit anderen wissenschaftlichen Fachgesellschaften wie der DGDM, der GMA oder dem Spitzenverband Digitale Gesundheitsversorgung (SVDGV) ist dabei essenziell.

C) Attraktivitätssteigerung der Aus- und Weiterbildung durch innovative Lehrformate

Neben der fachlichen und technischen Qualität digitaler Bildungsangebote spielt deren Attraktivität eine entscheidende Rolle für den Lernerfolg und die Motivation – insbesondere bei Studierenden und Ärzten in Weiterbildung. Um das Interesse an der kardiovaskulären Medizin frühzeitig zu wecken und langfristig zu fördern, sollte die Fachgesellschaft gezielt auf moderne, interaktive und lernwirksame Lehrformate setzen.

Gamifizierte Lernplattformen, digitale Fallvignetten mit adaptiven Feedbackschleifen, interaktive Simulationsumgebungen sowie immersive Virtual-Reality-Erfahrungen ermöglichen eine stärkere emotionale Beteiligung und fördern selbst gesteuertes, praxisnahes Lernen. Auch hybride Veranstaltungsformate, bei denen digitale Module mit Präsenzlehre kombiniert werden, bieten hohe Flexibilität und Anschlussfähigkeit.

Diese innovativen Formate sollten strategisch in bestehende Curricula eingebunden und aktiv durch die DGK gefördert werden – etwa durch Pilotprojekte, Kompetenznetzwerke oder die Bereitstellung technischer Ressourcen. Darüber hinaus gilt es, den Austausch über gelungene Praxisbeispiele zu intensivieren und digitale Bildungsformate sichtbar in die Fachöffentlichkeit zu tragen. Auf diese Weise kann nicht nur die Qualität, sondern auch die Attraktivität der Aus- und Weiterbildung nachhaltig gesteigert werden.

D) Attraktivitätssteigerung von DGK-Kongressen und Kursen durch innovative Lehrformate

Die Kongresse und Fortbildungsveranstaltungen der DGK bieten eine zentrale Bühne für Innovation und Austausch in der kardiovaskulären Medizin – diese sollten gezielt auch zur Weiterentwicklung der digitalen Lehre genutzt werden. Um die Attraktivität der Formate zu erhöhen und die Sichtbarkeit didaktischer Innovationen zu stärken, sollte die aktive Gestaltung von spezifischen „Lehre-Sessions“ fester Bestandteil der Kongressplanung sein. Hier können zukunftsweisende Lehrformate vorge-

stellt, diskutiert und gemeinsam weiterentwickelt werden – z. B. in Form interaktiver Workshops, Live-Demonstrationen oder kollaborativer Lehrhacks.

Darüber hinaus ist es essenziell, dass digitale Lehrformate bei der Programmgestaltung systematisch berücksichtigt werden. Die Einbindung medizindidaktischer Perspektiven in die Programmkommissionen kann sicherstellen, dass neben klinisch-wissenschaftlichen auch bildungsstrategische Innovationen sichtbar und gewürdigt werden. Ziel ist es, eine didaktisch inspirierende und digital unterstützte Kongresskultur zu etablieren, die Impulse in die Breite der kardiovaskulären Weiterbildung trägt und Lehrende sowie Lernende gleichermaßen anspricht.

E) Aufbau und Bereitstellung konkreter Ressourcen

Die Umsetzung digitaler Lehrkonzepte erfordert zudem eine verlässliche und gemeinsame Infrastruktur. Dafür müssen konkrete Ressourcen bereitgestellt werden, wie beispielsweise eine zentrale digitale Mediathek mit 3D-Druckdaten, VR-Modulen oder klinischen Simulationen. Darüber hinaus braucht es Open-Access-Lernplattformen, die ein zeit- und ortsunabhängiges Lernen ermöglichen, sowie modulare Kursangebote, die flexibel in bestehende Curricula integriert werden können. Ergänzend dazu sind praxisorientierte Materialien wie Checklisten und Toolkits notwendig, die Ausbildungsstätten bei der Implementierung digitaler Lehre unterstützen und Lehrende bei ihrer Tätigkeit stärken.

F) Veröffentlichungen in DGK-Publikationsorganen mit Bezug zur Aus- und Weiterbildung und Medizindidaktik

Ein weiteres zentrales Instrument zur Förderung der digitalen kardiovaskulären Lehre ist die gezielte Nutzung der DGK-eigenen Publikationsorgane wie *Cardio-News*, *Die Kardiologie* oder *Clinical Research in Cardiology*. Diese sollten verstärkt als Plattformen für medizindidaktische Beiträge und Best-Practice-Beispiele genutzt werden, um Sichtbarkeit

und Reichweite innovativer Lehrkonzepte zu erhöhen.

Gezielte Ausschreibungen für themenspezifische Sonderhefte oder Rubriken – etwa zur curricularen Integration digitaler Tools, zur Vermittlung von AI-Kompetenzen oder zur Umsetzung interprofessioneller Lehrformate – können Autoren motivieren, ihre Projekte und Erkenntnisse systematisch aufzubereiten und einem breiteren Fachpublikum zugänglich zu machen.

Damit wird nicht nur die Qualität, sondern auch die Relevanz und die Verankerung medizindidaktischer Themen innerhalb der kardiovaskulären Community gestärkt.

G) Förderung und Anerkennung durch die Fachgesellschaft

Auch die gezielte Förderung und Anerkennung des Engagements im Bereich der digitalen Lehre sind eine wichtige Stellschraube für den nachhaltigen Erfolg. Die DGK will hierfür verschiedene Formate etablieren: ein Stipendium für innovative Projekte in der digitalen Lehre, einen Lehrpreis zur Würdigung herausragender Konzepte, ein strukturiertes Curriculum „Digitale Lehre Kardiologie“ als Orientierungshilfe für Weiterbildungsstätten sowie die Entwicklung einer Initiative „AI Cardiologist“, mit der Kompetenzen im Umgang mit künstlicher Intelligenz gezielt in die Weiterbildung integriert werden können.

H) Integration in Weiterbildungscurricula und formale Anerkennung

Schließlich sollte die Integration digitaler Lernleistungen auch formal und strukturell in die bestehenden Weiterbildungssysteme erfolgen. Langfristig muss es möglich sein, digitale Lernmodule – etwa absolvierte Einheiten auf zertifizierten Plattformen – als äquivalente Leistungen anzuerkennen. Analog zu bestehenden Regelungen im Bereich der Notfallmedizin, bei denen z. B. Notarzteinsätze durch Simulator-basiertes Training angerechnet werden, sollte die Fachgesellschaft Standards definieren und gegenüber den zuständigen Landesärztekammern vertreten, um die digitale Weiterbildung rechtlich und in-



stitutionell abzusichern. Nur so kann eine moderne, flexible und qualitätsgesicherte ärztliche Weiterbildung in der kardiovaskulären Medizin nachhaltig etabliert werden (Abb. 3).

Fazit und Perspektive

Die zunehmende Verfügbarkeit und Nutzung digital gestützter Lehrangebote verändert nicht nur die Art und Weise, wie Studierende und Ärzte in Weiterbildung lernen – sie bietet auch die Chance, die Aus- und Weiterbildung in der kardiovaskulären Medizin grundlegend und nachhaltig zu modernisieren. In einer Zeit, in der der Fachkräftemangel wächst, der medizinische Nachwuchs gezielter gefördert werden muss und die Anforderungen an eine evidenzbasierte, qualitativ hochwertige Patientenversorgung stetig steigen,

sind digitale Lehrformate mehr als nur eine Ergänzung: Sie sind ein zentraler Schlüssel zur Zukunftssicherung unseres Fachs.

Umso wichtiger ist es, diese Entwicklung systematisch zu begleiten. Bisher ist kaum bekannt, wie intensiv und mit welchem Erfolg digitale Angebote auf individueller Ebene genutzt werden. Es besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich ihres tatsächlichen Lern- und Transfererfolgs sowie der optimalen Integration digitaler Tools in bestehende Ausbildungsstrukturen. Ebenso müssen wir besser verstehen, welche Barrieren einer breiten Nutzung entgegenstehen – und wie wir diese gezielt überwinden können.

Was bislang punktuell und lokal geschieht, muss nun national abgestimmt, wissenschaftlich fundiert und strukturell verankert werden. Dieses Positionspapier stellt hierfür den Rahmen: Es ist nicht nur

eine Bestandsaufnahme, sondern ein Aufruf zum gemeinsamen Aufbruch. Es bietet ein strategisches Gerüst für die Vision einer innovativen, vernetzten und zukunfts-festen kardiologischen Aus- und Weiterbildung – getragen von Evidenz, Kreativität und gesellschaftlicher Verantwortung.

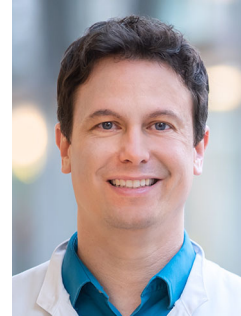
Digitale Lehrformate bieten enormes Potenzial. Sie können Begeisterung entfachen, neue didaktische Zugänge schaffen und die Attraktivität von Kongressen, Kursen und Weiterbildungsformaten deutlich erhöhen. Damit dies gelingen kann, braucht es konkrete Ressourcen – etwa zentrale Bibliotheken mit 3D-Druckvorlagen, *Virtual-Reality*-Inhalten, frei zugänglichen Simulationen oder *On-Demand*-Plattformen für individualisiertes Lernen.

Die Fachgesellschaft steht bereit, diesen Wandel aktiv zu begleiten und zu fördern – durch gezielte Initiativen wie ein Stipendium für Digitale Lehre in der Kardiologie, den Lehrpreis Kardiologie 2026, ein Curriculum für digitale Aus- und Weiterbildung oder zukunftsorientierte Programme der eCardiology.

Wenn es gelingt, digitale und traditionelle Lehrmethoden klug zu verbinden, entsteht ein modernes Ausbildungssystem, das nicht nur den aktuellen Herausforderungen begegnet, sondern den Weg in eine lernende, zukunftsfähige kardiologische Gemeinschaft ebnet.

Abb. 3 „Actionable Items“ der DGK. (Abbildung erstellt in Rahm, A. (2025), <https://BioRender.com/o23mj7u>)

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. Benjamin Meder

Klinik für Innere Med. III, Kardiologie, Angiologie u. Pneumologie, Universitätsklinikum Heidelberg
Heidelberg, Deutschland
benjamin.meder@med.uni-heidelberg.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

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. Bosch J, Maaz A, Hitzblech T, Holzhausen Y, Peters H (2017) Medical students' preparedness for professional activities in early clerkships. *BMC Med Educ* 17:140
2. Krankenhausreform OF (2023) Die Weiterbildung mitdenken. *Dtsch Arztebl* 120:227–229
3. Schlegel PP, Kehrle F, Bugaj TJ, Scholz E, Kovacevic A, Grieshaber P, Nawrotzki R, Kirsch J, Hecker M, Meyer AL, Seidensaal K, Do TD, Schultz J-H, Frey N, Rahm A-K (2025) Augmented Reality in Cardiovascular Education (HoloHeart): Assessment of Students' and Lecturers' Needs and Expectations at Heidelberg University Medical School. *Appl Sci* 15:8595
4. Boeker M, Klar R (2006) E-learning in the education and training of physicians. Methods, results, evaluation. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 49:405–411 (E-Learning in der ärztlichen Aus- und Weiterbildung. Methoden, Ergebnisse, Evaluation)
5. Röhle A, Bibrack E (2022) Digitale und hybride Lehre in der medizinischen Ausbildung am Beispiel des Medizinischen Interprofessionellen Trainingszentrums MITZ Impulse und Entwicklungspotentiale. *LL2*
6. Rahm A-K, Töllner M, Hubert MO, Klein K, Wehling C, Sauer T, Hennemann HM, Hein S, Kender Z, Günther J, Wagenlechner P, Bugaj TJ, Boldt S, Nikendei C, Schultz J-H (2021) Effects of realistic e-learning cases on students' learning motivation during COVID-19. *PLoS ONE* 16:e249425
7. DiF-Medizin A. Arbeitsgruppe DiF-Medizin (2023) Digitale Transformation in der medizinischen Ausbildung. Eine Handreichung der Arbeitsgruppe Digitalisierung in den Fachbereichen: Medizin. Hoch-schulforum Digitalisierung, Berlin
8. Raupach T (2025) Arrhythmias education-current considerations with a focus on ECG teaching. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol* 36:91–95 (Didaktik in der Rhythmologie – aktuelle Betrachtungen am Beispiel der EKG-Lehre)
9. Arts T, Delhaas T, Bovendeerd P, Verbeek X, Prinzen FW (2005) Adaptation to mechanical load determines shape and properties of heart and circulation: the CircAdapt model. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 288:H1943–54
10. van Loon T, Rijks J, van Koll J, Wolffs J, Cornelussen R, van Osta N, Luermans J, Prinzen F, Linz D, van Empel V, Delhaas T, Vernooy K, Lumens J (2024) Accelerated atrial pacing reduces left-heart filling pressure: a combined clinical-computational study. *Eur Heart J* 45:4953–4964
11. Ragaller SV, Rother JF, Aster A, Raupach T (2025) Study Habits in Medical Education: Examining How German Medical Students Study Using a Cross-sectional Mixed-Methods Survey. *Med Sci Educ* 35:1441–1449
12. Leitliniengerechtes Wissen für Ärztinnen & Ärzte | AMBOSS. https://www.amboss.com/de/aerztinnen-aerzte?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=DE_DP_Brand_DP-PH_SEA_B_STD_0&utm_spc=brand&utm_2=DE_DP_Brand_DP-PH_SEA_B_STD_0_PUR_MIX_0_Brand-general&utm_term=amboss&utm_content=521993088602&gad_source=1&gad_campaignid=12200661793&gbraid=0AAAAADQY-JOjpHpSCLjDw8Jj-iWwkAtX&gclid=CjwKCAjw6NRBbH8EiwAvnT_rnzSx8brltfJMZR_fuHOCJeCh_hDZbVDNYKpTduL5KDCtx1ZgmZixC9S0QAvD_BwE. Zugriffen: 28. Mai 2025
13. Awada IA, Florea AM, Scafa-Udris A (2024) An e-learning platform for clinical reasoning in cardiovascular diseases: a study reporting on learner and tutor satisfaction. *BMC Med Educ* 24:984
14. (2025) Herzmedizin.de – Das Portal für Kardiologie & Herzgesundheit. <https://herzmedizin.de/>
15. Rahm A-K, Mages C, Vetter N, Milles B, Kehrle F, Schlegel P, Hofmann E, Fischer S, Meder B, Frey N, Lugenbiel P (2025) Next generation-Education and training in rhythmology: Perspectives from Heidelberg. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol* (Next generation – Aus- und Weiterbildung in der Rhythmologie: Perspektiven aus Heidelberg)
16. de Ponti R, Marazzi R, Doni LA, Tamborini C, Ghiringhelli S, Salerno-Uriarte JA (2012) Simulator training reduces radiation exposure and improves trainees' performance in placing electrophysiology catheters during patient-based procedures. *Heart Rhythm* 9:1280–1285
17. Katz A, Shtub A, Solomonica A, Poliakov A, Roguin A (2017) Simulator training to minimize ionizing radiation exposure in the catheterization laboratory. *Int J Cardiovasc Imaging* 33:303–310
18. Prenner SB, Wayne DB, Sweis RN, Cohen ER, Feinglass JM, Schimmel DR (2018) Simulation-based education leads to decreased use of fluoroscopy in diagnostic coronary angiography. *Catheter Cardiovasc Interv* 91:1054–1059
19. Tjong FVY, Perrotta L, Goette A, Duncker D, Vernooy K, Boveda S, Chun K-RJ, Svennberg E (2024) Utilization of and perceived need for simulators in clinical electrophysiology: results from an EHRA physician survey. *Europace* 26
20. Sierra-Fernández CR, Alejandra H-D, Trevethan-Cravioto SA, Azar-Manzur FJ, Mauricio L-M, Garnica-Geronimo LR (2023) Flipped learning as an educational model in a cardiology residency program. *BMC Med Educ* 23:510
21. Cosyns B, de Diego JGG, Stefanidis A, Galderisi M, Ernande L, Underwood SR, Bucciarelli-Ducci C, Lancellotti P, Habib G (2015) E-learning in cardiovascular imaging: another step towards a structured educational approach. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 16:463–465
22. Derda AA, Hohnneck A (2024) Lifelong learning in cardiology: success through innovation: Use of e-learning in further education and training. *Herz* 49:321–326 (Lebenslanges Lernen in der Kardiologie: Durch Innovation erfolgreich: Einsatz von E-Learning in Fort- und Weiterbildung)
23. Williams ES, Halperin JL, Arrighi JA, Awtry EH, Bates ER, Costa S, Freeman R, McPherson JA, Mendes LA, Ryan T, Sivaram CA, Weitz HH (2016) ACC Lifelong Learning Competencies for General Cardiologists: A Report of the ACC Competency Management Committee. *J Am Coll Cardiol* 2016(67):2656–2695
24. Babenko O, Koppula S, Daniels L, Nadon L, Daniels V (2017) Lifelong learning along the education and career continuum: meta-analysis of studies in health professions. *J Adv Med Educ Prof* 5:157–163
25. ESC eLearning—The cardiology education hub. <https://escelearning.escardio.org/home>. Zugriffen: 28. Mai 2025
26. Chat ESC (2025) <https://www.escardio.org/Guidelines/Clinical-Practice-Guidelines/Guidelines-derivative-products/Chat>
27. Chat ESC <https://www.escardio.org/Guidelines/Clinical-Practice-Guidelines/Guidelines-derivative-products/Chat>. Zugriffen: 17. Okt. 2025
28. Malins JG, Anisuzzaman DM, Jackson JL, Lee E, Naser JA, Rostami B, Bird JG, Spiegelstein D, Amar T, Oh JK, Pellikka PA, Thaden JJ, Lopez-Jimenez F, Pislaru SV, Friedman PA, Kane GC, Attia ZI (2025) Snapshot artificial intelligence-determination of ejection fraction from a single frame still image: a multi-institutional, retrospective model development and validation study. *Lancet Digit Health* 7:e255–e263
29. Schneider M, Bartko P, Geller W, Dannenberg V, König A, Binder C, Goliasch G, Hengstenberg C, Binder T (2021) A machine learning algorithm supports ultrasound-naïve novices in the acquisition of diagnostic echocardiography loops and provides accurate estimation of LVEF. *Int J Cardiovasc Imaging* 37:577–586
30. Long A, Haggerty CM, Finer J, Hartzel D, Jing L, Keivani A, Kelsey C, Rocha D, Ruhl J, vanMaanen D, Metser G, Duffy E, Mawson T, Maurer M, Einstein AJ, Beecy A, Kumaraiah D, Homma S, Liu Q, Agarwal V, Lebehn M, Leon M, Hahn R, Elias P, Poterucha TJ (2024) Deep Learning for Echo Analysis, Tracking, and Evaluation of Mitral Regurgitation (DELINEATE-MR). *Circulation* 150:911–922
31. Mahmud A, Dwivedi G, Chow BJW (2024) Exploring the Integration of Artificial Intelligence in Cardiovascular Medical Education: Unveiling Opportunities and Advancements. *Can J Cardiol* 40:1946–1949
32. Li YS, Lam CSN, See C (2021) Using a Machine Learning Architecture to Create an AI-Powered Chatbot for Anatomy Education. *Med Sci Educ* 31:1729–1730
33. Laupichler MC, Aster A, Meyerheim M, Raupach T, Mergen M (2024) Medical students' AI literacy and attitudes towards AI: a cross-sectional two-center study using pre-validated assessment instruments. *BMC Med Educ* 24:401
34. Agha-Mir-Salim L, Mosch L, Klopfenstein SAI, Wunderlich MM, Frey N, Poncette A-S, Balzer F (2022) Artificial Intelligence Competencies in

- Postgraduate Medical Training in Germany. *Stud Health Technol Inform* 294:805–806
35. Maaß L, Grab-Kroll C, Koerner J, Öchsner W, Schön M, Messerer D, Böckers TM, Böckers A (2025) Artificial Intelligence and ChatGPT in Medical Education: A Cross-Sectional Questionnaire on students' Competence. *J Cme* 14:2437293
 36. Mesquita CT, Reis JCD, Simões LS, de Moura EC, Rodrigues GA, de Athayde CC, Machado HL, Lanzieri PG (2013) Digital stethoscope as an innovative tool on the teaching of auscultatory skills. *Arq Bras Cardiol* 100:187–189
 37. Legget ME, Toh M, Meintjes A, Fitzsimons S, Gamble G, Doughty RN (2018) Digital devices for teaching cardiac auscultation—a randomized pilot study. *Med Educ Online* 23:1524688
 38. Mesquita J, Maniar N, Baykaner T, Rogers AJ, Swerdlow M, Alhusseini MI, Shenasa F, Brizido C, Matos D, Freitas P, Santos AR, Rodrigues G, Silva C, Rodrigo M, Dong Y, Clopton P, Ferreira AM, Narayan SM (2019) Online webinar training to analyse complex atrial fibrillation maps: A randomized trial. *PLoS ONE* 14:e217988
 39. Werdan K, Baldus S, Bauersachs J, Baumgartner H, Bongarth CM, Buerke M, Dörr R, Duncker D, Eckardt L, El-Armouche A, Elsässer A, Fach A, Flachskampf FA, Gabelmann M, Griebenow R, Heinemann-Meerz S, Hoffmeister HM, Katus HA, Kaul N, Krämer L-I, Kuhn B, Lange T, Lehmann LH, Lugenbiel P, Michels G, Müller-Werdan U, Oldenburg O, Rittger H, Rottbauer W, Rybak K, Sack S, Skobel CE, Smetak N, Thiele H, Tiefenbacher C, Tiemann K, Voelker W, Zeiher A, Frey N (2020) Curriculum Kardiologie. *Kardiologie* 14:505–536
 40. <https://www.bvmd.de/portfolio-items/ausbaufaehig-digitalisierung-in-der-medizinischen-ausbildung/>. Zugriffen: 10. Juni 2025
 41. <https://nklm.de>. Zugriffen: 10. Juni 2025
 42. Aulenkamp J, Mikuteit M, Löffler T, Schmidt J (2021) Overview of digital health teaching courses in medical education in Germany in 2020. *GMS J Med Educ* 38:Doc80
 43. Khurana MP, Raaschou-Pedersen DE, Kurtzhals J, Bardram JE, Ostrowski SR, Bundgaard JS (2022) Digital health competencies in medical school education: a scoping review and Delphi method study. *BMC Med Educ* 22:129
 44. Gupta S, Mahmoud A, Massoomi MR (2022) A Clinician's Guide to Smartwatch "Interrogation". *Curr Cardiol Rep* 24:995–1009
 45. <https://www.aerztezeitung.de/Wirtschaft/Erste-DiGA-bei-Hypertonie-zugelassen-445963.html>. Zugriffen: 19. Juni 2025
 46. https://files.aerzteammer-bw.de/f01ff71dff8a62a7/10d614c96b30/WBO2020_Auszug_FA_Innere-Medizin-und-Kardiologie.pdf. Zugriffen: 19. Juni 2025
 47. Nelson C, Hartling L, Campbell S, Oswald AE (2012) The effects of audience response systems on learning outcomes in health professions education. A BEME systematic review: BEME Guide No. 21. *Med Teach* 34:e386–405
 48. Mahdavi ASF, Adibi S, Golshan A, Sadeghian P (2023) Factors Influencing the Effectiveness of E-Learning in Healthcare: A Fuzzy ANP Study. *Healthc* 11:
 49. O'Doherty D, Dromey M, Loughheed J, Hannigan A, Last J, McGrath D (2018) Barriers and solutions to online learning in medical education—an integrative review. *BMC Med Educ* 18:130
 50. Atwa H, Shehata MH, Al-Ansari A, Kumar A, Jaradat A, Ahmed J, Deifalla A (2022) Online, Face-to-Face, or Blended Learning? Faculty and Medical Students' Perceptions During the COVID-

Digitalization in training and further education—Position paper of the German Cardiac Society (DGK). From the Committee for Clinical Cardiovascular Medicine

The ongoing digitalization is opening new perspectives for undergraduate and postgraduate education in cardiovascular medicine and enables innovative teaching methods and resources. In this position paper of the German Cardiac Society (DGK), we examine the use of digital technologies and innovative approaches to optimize cardiovascular education and cardiology residency training, and outline key strategic cornerstones which are indispensable for scientifically guided teaching development. Digital platforms already provide a wide range of learning tools, including interactive simulations, virtual case studies, and online courses. These formats make it possible to convey complex cardiology content in a practice-oriented manner. Modern technologies such as Virtual Reality (VR), Mixed/Augmented Reality (AR), and 3D printing also offer immersive learning experiences that deepen the understanding of complex anatomical structures and clinical scenarios. Simulations of interventions and procedures make it possible to train practical skills in a risk-free environment, thereby increasing the success rate of complex procedures and improving patient safety. eLearning platforms particularly promote flexible and individualized education and cardiology residency training that accommodate different learning needs and paces; however, their use is not widespread or, in some cases, not available at all. To foster continuous development of teaching, the integration of evidence-based concepts is necessary in order to supplement existing teaching methods in a meaningful way, make them accessible to all learners, and integrate them seamlessly into current educational and cardiology residency training structures.

The aim of this position paper of the DGK's eCardiology Section is to highlight research gaps in the field of digital education and cardiology residency training, thereby contributing in particular to the development, standardization, implementation, and evaluation of digital learning strategies as well as to the scientifically grounded investigation of their effectiveness in education and cardiology residency training. Through a fundamental structural transformation in how teaching in the context of undergraduate and cardiology residency training is perceived and designed by those responsible in academic settings, new opportunities arise for both teachers and learners.

Keywords

Digitalization · Training · Postgraduate education · Cardiology residency training · Digital teaching · E-learning

- 19 Pandemic: A Mixed-Method Study. *Front Med* 9:791352
51. Raupach T, de Temple I, Middeke A, Anders S, Morton C, Schuelper N (2021) Effectiveness of a serious game addressing guideline adherence: cohort study with 1.5-year follow-up. *BMC Med Educ* 21:189
52. Nissen L, Rother JF, Heinemann M, Reimer LM, Jonas S, Raupach T (2025) A randomised cross-over trial assessing the impact of AI-generated individual feedback on written online assignments for medical students. *Med Teach*:1–7
53. Hrynchak P, Takahashi SG, Nayer M (2014) Key-feature questions for assessment of clinical reasoning: a literature review. *Med Educ* 48:870–883
54. Wang Y-F, Hsu Y-F, Fang K-T, Kuo L-T (2024) Gamification in medical education: identifying and prioritizing key elements through Delphi method. *Med Educ Online* 29:2302231
55. Ribeiro LA, da Silva TL, Mussi AQ (2018) Gamification: a methodology to motivate engagement and participation in a higher education environment. *Inter J Educ Res*: 249–264
56. - (1998) Teaching & learning in medical practice. Manticore Europe, Rickmansworth
57. Makwana S, Sarvaiya H, Dalsaniya V (2025) A Comparative Study of Case-Based Learning (CBL) Versus the Traditional Teaching Method for Enhanced Analysis and Interpretation of Electrocardiogram (ECG) Among Medical Students. *Cureus* 17:e79587
58. Adebayo OM, Anele FC, Afolabi TK, Inofomoh FO, Ajibare AO, Aje A (2024) Improving ECG Learning And Competence Among Medical And Postgraduate Trainees: Scoping Review Of Available Evidence. *Ann Ib Postgrad Med* 22:95–105
59. - (2008) Curriculum development for medical education: A six-step approach. Johns Hopkins University Press, Baltimore
60. BEME Guides—AMEE. <https://amee.org/beme-guides/>. Zugriffen: 28. Mai 2025
61. Kirkpatrick DL, Kirkpatrick JD (2010) Evaluating training programs: The four levels, 3. Aufl. Berrett-Koehler, San Francisco
62. Breitbart P, Körber MI, Schächinger V, Hashemi D, Fister A, Schwarz M, Rudolph V, Baldus S, Werdan K, Perings CA, Billig H (2025) Positionspapier Kardiologische Weiterbildung in Deutschland

-
- vom Status quo zu bevorstehenden Herausforderungen und Lösungsvisionen. *Kardiologie* 19:7–21
63. Raupach T, Brown J, Anders S, Hasenfuss G, Harendza S (2013) Summative assessments are more powerful drivers of student learning than resource intensive teaching formats. *BMC Med* 11:61

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