



KI-Campus

Die Lernplattform
für Künstliche Intelligenz

STUDIE | SEPTEMBER 2021

Lernangebote zu Künstlicher Intelligenz in der Medizin

Charité – Universitätsmedizin Berlin, Institut für Medizinische Informatik

KI-Campus – Die Lernplattform für Künstliche Intelligenz

Inhalt

Vorwort des KI-Campus	5
Vorwort der Charité-Arbeitsgruppe	6
Zusammenfassung	7
1. Hintergrund	9
1.1. KI in der Medizin	9
1.2. Medizinische Ausbildung	11
1.3. Medizinische Weiter- und Fortbildung	12
1.4. Masterstudiengänge und Summer Schools	13
1.5. Digitale Formate	13
2. Zielsetzung und Analyseraster	15
2.1. Zielsetzung	15
2.2. Analyseraster für KI-Kompetenzen	16
3. Ergebnisse der Bestandsanalyse	17
3.1. Methodik	17
3.2. Medizinische Ausbildung	18
3.3. Medizinische Weiter- und Fortbildung	28
3.4. Masterstudiengänge und Summer Schools	33
3.5. Digitale Formate	37
4. Ergebnisse der Bedarfsanalyse	44
4.1. Methodik	44
4.2. Inhalte und Kompetenzen	44
4.3. Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote	49
4.4. Erfolgsfaktoren für den Kompetenzerwerb	60
4.5. Probleme und Herausforderungen	61
5. Diskussion	63
5.1. Überblick	63
5.2. KI-Basiskompetenzen für die gesamte Ärzt*innenschaft	63
5.3. Tiefergehende KI-Kompetenzen – Translation aus der Lehre in	65
die Forschung	65
5.5. Übergeordnete Kompetenzen	66
5.6. Formate, Qualifizierungsmodelle und Berufsbilder	67
6. Schlussfolgerungen / Handlungsempfehlungen	68
6.1. Übersicht	68
6.2. Rahmenbedingungen für die Implementierung der Lernangebote	68
6.3. Medizinische Ausbildung	69
6.4. Weiterbildung	71
6.5. Fortbildung	71
6.6. Digitale Formate: MOOCs, Micro-Credentials & Micro-Degrees	72

7.	Abkürzungsverzeichnis	74
8.	Liste der Autor*innen (alphabetisch)	75
9.	Referenzen	76
10.	Impressum	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Systematisierung digitaler Formate (Rampelt et al., 2021)	14
Tabelle 2	Übersicht über Master-Studiengänge in Deutschland mit Lerninhalten im Themenbereich KI und Medizin, die sich explizit auch an Gesundheitsberuf richten	34
Tabelle 3:	Ergebnis der Recherche zu Einträgen mit KI-Bezug auf digitale Wissensdatenbanken	38
Tabelle 4:	Ein- und Ausschlusskriterien bei der systematischen Internetrecherche von MOOCs	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ein KI-System nimmt die Umgebung über Sensoren wahr, verarbeitet und analysiert die hierdurch generierten Daten und wägt infolgedessen verschiedene Möglichkeiten in Abhängigkeit des zu lösenden Problems ab (adaptiert nach: High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019)	10
Abbildung 2:	Verteilung der Antworten auf die Frage, ob an der jeweiligen Einrichtung bereits Lernangebote mit KI-Bezug vorhanden sind, bzw. ob solche Lernangebote in Planung sind	18
Abbildung 3:	Verteilung der Antworten auf die Frage, wie der Bedarf für Lernangebote zu KI-Themen an der jeweiligen Institution festgestellt wurde	19
Abbildung 4:	Verteilung der Antworten auf die Frage, wo in der jeweiligen Institution die Verantwortlichkeit für die Koordination der Curriculumsentwicklung in Bezug auf KI-Inhalte liegt	19
Abbildung 5:	Verteilung der Antwort auf die Frage, welche Personengruppen auf die Lernangebote zu KI-Themen an den medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen Einfluss nehmen können	20
Abbildung 6:	Arten der Implementierung von KI-Inhalten ins Curriculum an den medizinischen Hochschulen bzw. Fakultäten	20
Abbildung 7:	Verschiedene Lehrformate, mit denen Inhalte mit KI-Bezug an den medizinischen Hochschulen bzw. Fakultäten unterrichtet werden	21
Abbildung 8:	Verschiedene Formate der Lernerfolgskontrolle (z. B. Prüfungen), die medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen in den Lernangeboten mit KI-Bezug einbauen	22
Abbildung 9:	Anzahl der medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen, die Lerninhalte zu den Grundlagen der künstlichen Intelligenz anbieten	23
Abbildung 10:	Anzahl der medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen, die Lerninhalte zu Themen rund um künstliche Intelligenz anbieten	24
Abbildung 11:	Jahresangaben an denen in den medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen erstmalig Lerninhalte mit KI-Bezug angeboten wurden	25

Abbildung 12:	Verteilung der Antworten auf die Frage, in welchen Kompetenzbereichen rund um die KI die medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen noch Bedarf an Lernangeboten sehen	26
Abbildung 13:	Anteile Inhaltlicher Kategorien der Summer Schools zum Thema KI in der Medizin	36
Abbildung 14:	Anbieter von MOOCs zum Thema KI in der Medizin	41
Abbildung 15:	Online-Plattformen, die MOOCs bereitstellen und kuratieren	41
Abbildung 16:	Anteile inhaltlicher Kategorien der MOOCs zum Thema KI in der Medizin	42
Abbildung 17:	Inhalte und Kompetenzen, die bzgl. KI an Mediziner*innen vermittelt werden sollte	48
Abbildung 18:	Vorschläge zur Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote zu KI in der Medizin in der medizinischen Ausbildung	55
Abbildung 19:	Vorschläge zur Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote zu KI in der Medizin in der medizinischen Weiterbildung	56
Abbildung 20:	Vorschläge zur Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote zu KI in der Medizin in der medizinischen Fortbildung	58
Abbildung 21:	KI-Basiskompetenzen für Mediziner*innen	63
Abbildung 22:	Vorschläge für Rahmenbedingungen der Implementierung von KI-Kompetenzen für Mediziner*innen sowie deren Umsetzung in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung	69

Vorwort des KI-Campus

KI-Kompetenzen durch innovative, digitale Lernangebote stärken – dies ist die Mission des KI-Campus. Seit Ende 2019 wird die Lernplattform für Künstliche Intelligenz auf Grundlage einer Empfehlung der KI-Strategie der Bundesregierung entwickelt, um den mündigen und souveränen Umgang mit Daten und KI-basierten Technologien in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern zu fördern. Die beteiligten Partner stellten dabei von Beginn an Offenheit und Kooperation als zentrale Leitprinzipien in den Vordergrund. Dies gilt ganz besonders für so komplexe Anwendungsfelder wie das Gesundheitswesen.

Die Medizin wurde direkt zu Beginn der Arbeiten am KI-Campus als ein zentraler Schwerpunktbereich identifiziert. Für den Start der Lernplattform mitten in Zeiten der Corona-Pandemie 2020 konnten unter anderem auch engagierte Kolleg*innen der Charité – Universitätsmedizin Berlin als Partner*innen für die gemeinsame Entwicklung erster einführender Lernformate („Dr. med. KI“) gewonnen werden. Aus einer pragmatisch und niedrigschwellig umgesetzten Podcast-Reihe entstand innerhalb kürzester Zeit ein kleines eigenes Lernökosystem zu KI in der Medizin.

Die sehr positiven Rückmeldungen auf diese ersten Ansätze bestätigten den KI-Campus in seiner Auseinandersetzung mit KI und Daten in unterschiedlichsten medizinischen Anwendungskontexten und zeigten gleichzeitig eine klare Notwendigkeit der Spezifizierung konkreter Bedarfe auf. Ein besonderes Interesse hat der KI-Campus darauf aufbauend aber auch an den Potenzialen digitaler Technologien nicht nur für die berufliche Praxis im Gesundheitswesen sondern auch für die Entwicklung zukunftsfähiger, digitaler und nicht-digitaler Lernangebote zu KI in der Medizin.

Der KI-Campus entwickelt seine Lernangebote stetig weiter und arbeitet gemeinsam mit starken Partnern an einem Portfolio offener Lernangebote, die möglichst konkrete Bedarfe adressieren und bestehende inhaltliche und formatbezogene Lücken zu schließen helfen.

Die Motivation für eine Ausschreibung der vorliegenden Studie lag daher in zwei zentralen Aspekten begründet: Es braucht einen Überblick zum tatsächlichen Status Quo zu Lernangeboten zu Künstlicher Intelligenz in der Medizin. Gleichzeitig braucht es darauf aufbauend eine Auseinandersetzung mit Inhalten und (digitalen) Formaten der Zukunft, die helfen können, bestehende Lücken zu schließen.

Ich bin davon überzeugt, dass die vorliegende Studie einen wichtigen Beitrag dazu leistet, diesen Informations- und Innovationsbedarf zu decken. Der KI-Campus hat diese Studie nicht nur sehr eng begleitet, sondern wird sie auch als eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung seiner digitalen Lernangebote für die Medizin und das Gesundheitswesen nutzen.

Florian Rampelt & das Team des KI-Campus

Vorwort der Charité-Arbeitsgruppe

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Digitalisierung des Gesundheitswesens – also die Voraussetzung für die Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) – schreitet so schnell voran wie noch nie, auch wenn Deutschland im internationalen Vergleich noch Aufholbedarf hat. Wir sind uns einig, dass die Digitalisierung vielfältige Chancen bietet und beispielsweise Lösungen für Probleme des demografischen Wandels mit der damit verbundenen Zunahme von chronischen Krankheiten sowie dem Fachkräftemangel bereithält. So konnten auch in Deutschland in den letzten Jahren wichtige Rahmenbedingungen zugunsten der Digitalisierung des Gesundheitswesens geschaffen werden.

Ab einem bestimmten Grad an Digitalisierung des Gesundheitswesens liegen Daten in so hoher Qualität und Quantität in maschinell nutzbarer Form vor, dass wir KI für die Verbesserung der Gesundheitsversorgung und Gesunderhaltung nutzen können. Das bietet insbesondere die Möglichkeit, personalisierte Medizin auf eine neue Stufe zu bringen. Dabei ist die KI als Hilfsmittel zu betrachten. Ärzt*innen, die Hilfsmittel in ihren klinischen Alltag integrieren und damit ihre eigenen Kompetenzen steigern, sind bessere Ärzt*innen als jene, die keine Hilfsmittel nutzen – sei es ein Stethoskop, ein Ultraschallgerät, ein Krankenhausinformationssystem oder eben ein KI-System. Um wirksam und nützlich eingesetzt werden zu können, brauchen KI-Systeme in der Medizin eine menschliche Aufsicht – die Ärztin/den Arzt. Die Entwicklungen im Bereich KI erfordern Ärzt*innen, um Entscheidungsvorschläge der KI einzustufen, Limitationen der KI aufgrund von unvollständigen Daten aufzudecken und eine nutzerzentrierte und nachhaltige klinische Implementierung zu ermöglichen.

Die vorliegende Studie basiert auf der Annahme, dass Ärzt*innen die Zukunft unseres Gesundheitswesens, des ärztlichen Handelns, mitgestalten wollen, um die Qualität der Gesundheitsversorgung mit den Patient*innen im Mittelpunkt zu verbessern. Dazu gehört die Fähigkeit, neue Technologien wie die KI einzustufen, nutzen und ihre Risiken abwägen zu können. Wie weit sind wir in Deutschland mit der Implementierung solcher Inhalte in die medizinische Aus-, Weiter- und Fortbildung? Welche KI-Kompetenzen brauchen Ärzt*innen wirklich? Und wie können wir unsere heutigen und werdenden Ärzt*innen darauf vorbereiten, eine Medizin mit möglicherweise omnipräsenter KI zu praktizieren und mitzugestalten?

Diese spannenden und notwendigen Fragen werden wir in dieser Studie angehen und bestimmt nicht vollständig beantworten. Wir möchten in der Diskussion um das Thema KI in der Medizin die Qualifizierung und Teilhabe der Ärzt*innen hervorheben. Unsere Ergebnisse zeigen, dass wir jetzt handeln müssen. Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und freuen uns auf den Austausch zu den Ergebnissen der Studie.

Ihre Arbeitsgruppe des Instituts für Medizinische Informatik

Zusammenfassung

Hintergrund und Zielsetzung

Der zunehmende Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in der Medizin wird tiefgreifende Veränderungen hervorrufen. Angesichts dessen benötigen (zukünftige) Mediziner*innen Kompetenzen, die sie zur nutzbringenden Anwendung von KI-Systemen in Praxis und Forschung befähigen. Wir erheben den Bestand an Lernangeboten zum Thema KI in der Medizin für Medizinstudierende und Ärzt*innen in Deutschland, definieren relevante KI-Kompetenzen und Formate und identifizieren Bedarfslücken und Herausforderungen der Implementierung von Lernangeboten in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung. Schließlich legen wir Lösungsstrategien bzw. Empfehlungen für die erfolgreiche KI-Qualifizierung (zukünftiger) Mediziner*innen vor.

Methodik

Im April 2021 wurden alle 39 deutschen medizinischen Ausbildungsstätten zum Bestand an KI-bezogenen Lernangeboten kontaktiert und Angaben hierzu in öffentlich zugänglichen Quellen recherchiert. Es wurden 39 Ausbildungsstätten in die Bestandsanalyse eingeschlossen. Für die medizinische Weiter- und Fortbildung wurden die (Muster-)Weiterbildungsordnungen der Bundesärztekammer (BÄK) und der 17 Landesärztekammern (LÄKn) auf das Vorhandensein von KI-Lernzielen untersucht und die BÄK sowie die LÄKn im Hinblick auf ihr Angebot an CME-Fortbildungskursen konsultiert. Für die Erhebung und Analyse weiterer Lernangebote zum Thema KI in der Medizin (Masterstudiengänge und Summer Schools sowie digitale Formate) wurde eine systematische Internetrecherche mit festgelegten Schlagwörtern angewendet. Zur Erhebung des Bedarfs an KI-Lernangeboten in der Medizin wurden Interviews mit 21 Personen geführt, die nachweislich eine Expertise im Bereich KI oder Digitalisierung in der Medizin vorweisen. Daraufhin wurden die Transkripte der geführten Interviews sowie die zweier weiterer Gespräche mit Expert*innen mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet.

Ergebnisse

Die Mehrheit (28/39) der medizinischen Ausbildungsstätten (Fakultäten, medizinische Hochschulen) in Deutschland bietet Studierenden KI-bezogene Veranstaltungen an, meist als Wahlpflichtkurse oder extracurriculare Aktivitäten. In den Weiterbildungsordnungen sind KI-Inhalte und -Kompetenzen nur im Rahmen der Zusatzbezeichnung "Medizinische Informatik" verankert. Sechs LÄKn gaben an, Fortbildungskurse mit KI-Bezug anzubieten, eine wichtige Grundlage ist das Curriculum "Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik" der BÄK. In der bundesweiten Fortbildungssuche der BÄK ließen sich im Juni 2021 aus 87.136 CME-zertifizierten Fortbildungskursen 30 Angebote identifizieren, die im Veranstaltungstitel einen Bezug zu KI aufwiesen und vor allem anwendungsspezifische Kompetenzen fokussierten. 2020 und 2021 sind in Deutschland elf Masterstudiengänge im Bereich KI und Medizin für Mediziner*innen etabliert worden. In Summer Schools lernen Mediziner*innen vor allem über anwendungsspezifische KI-Systeme und vertiefende Programmierkompetenzen. In gängigen Nachschlagewerken und Wissensdatenbanken zu klinischen Inhalten finden KI-Inhalte fachspezifisch Einzug, es sind aber weitergehende Angebote geplant. Digitalen Formaten im Allgemeinen sowie Online-Kursen im Speziellen kommt eine zunehmende Bedeutung zu. Gerade in Kombination oder als Ergänzung zu den analysierten Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen können Sie einen wichtigen Beitrag für eine zukunftsfähige Vermittlung von KI- und Digitalisierungsthemen in der Medizin leisten.

Internationale Best-Practice-Beispiele für die Vermittlung KI-bezogener Kompetenzen sind nationale Qualifizierungsprogramme für das Gesundheitssystem, z. B. in Großbritannien und Finnland. Auch hier fällt die im Vergleich zu Deutschland teils deutlich stärkere Rolle von digitalen Lernangeboten und

digitalen Plattformen auf. Aber auch in Deutschland konnten einige Beispiele guter Praxis identifiziert werden, die etwa einzelne engagierte Hochschulen oder digitale Plattformen bereits umsetzen.

Alle (zukünftigen) Ärzt*innen sollten nach Ansicht, der für die Studie befragten Expert*innen KI-Basiskompetenzen erwerben. Tiefergehende KI-Kompetenzen seien vor allem für forschende Mediziner*innen bzw. bestimmte Fachbereiche essenziell. Übergeordnete Kompetenzen (klinische Entscheidungsfindung, ärztliche Gesprächsführung, Interprofessionalität, "to learn how to learn") würden durch die Einführung von KI in die Medizin wichtiger. KI-Lernangebote sollten zeitnah, interprofessionell, vernetzt, anwendungs- und forschungsbezogen implementiert werden. Geeignete Formate für die Grundlagenvermittlung seien (Online-)Vorlesungen, Seminare und künftig immer stärker auch unterschiedliche digitale Lernangebote und Lernplattformen. Ein besonderes Potenzial wird „Blended-Learning-Formaten“ eingeräumt, die digitale Selbstlernphasen und Präsenz sinnvoll miteinander verknüpfen.

KI-Kompetenzen sollten im Pflichtteil des Medizinstudiums verankert werden: translational und holistisch in Form eines Querschnittsfachs "KI in der Medizin" oder integriert in den Bereichen Statistik oder medizinische Informatik. Vertiefungsangebote sollten interdisziplinär, forschungsnah sowie projektbasiert aufgestellt werden. Basiskompetenzen und fachspezifische Inhalte sollten in den (Muster-)Weiterbildungsordnungen der Facharztweiterbildung verankert werden, zudem könnte eine neue Facharztweiterbildung bzw. Zusatzbezeichnung erwogen werden.

Es besteht insgesamt ein hoher Bedarf an KI-Basiskompetenzen in der Ärzt*innenschaft, der durch strukturierte Fortbildungen, digitale Lernformate und auch durch neue Qualifizierungs- und Zertifizierungsmöglichkeiten wie Micro-Credentials und Micro-Degrees gedeckt werden könne. Der Anwendungsbezug, optimale Lernbedingungen, Prüfungsrelevanz, didaktische Kompetenz der Lehrenden, sowie Offenheit, Wissbegierde und die Reflektivität der Lernenden sind nach Ansicht der befragten Expert*innen Erfolgsfaktoren für den KI-Kompetenzerwerb. Probleme und Herausforderungen bei der Implementierung von KI-Lernangeboten seien der schnelle Wissenszuwachs auf dem Gebiet KI und Medizin, starre Rahmenbedingungen in der medizinischen Aus- und Weiterbildung, ein Mangel an Expert*innen, der jedoch etwa durch standortübergreifend verfügbare Online-Angebote ausgeglichen werden könne, und der oft noch fehlende direkte Anwendungsbezug.

Schlussfolgerungen

Diese Studie zeigt eine große Lücke zwischen Bestand und Bedarf an KI-Lernangeboten für Mediziner*innen auf. Basiskompetenzen im Bereich KI sind essenziell, um Ärzt*innen zur Aufsicht von KI-Systemen zu befähigen, werden jedoch nicht ansatzweise flächendeckend in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung vermittelt. Sie sollten als fester Bestandteil der Lernzielkataloge und (Muster-)Weiterbildungsordnungen verankert werden. LÄKn sollten strukturierte Fortbildungsangebote zur Basisqualifizierung und zur fach- und anwendungsbezogenen Vertiefung zertifizieren und konzipieren. Um medizinische Exzellenz in der KI-Forschung zu garantieren, sind mehr projektbezogene, interdisziplinäre Vertiefungsangebote notwendig. Interaktive Online-Angebote bzw. digitale Formate, die einer großen Zahl Lernender mit unterschiedlichen Lernbedürfnissen zur Verfügung gestellt werden können, sind zur Deckung des Qualifizierungsbedarfs in der medizinischen Fortbildung wertvoll. Ihre Einbettung, Anerkennung und Anrechnung in Studium und Fortbildung sollte realisiert werden, auch durch neue digitale Qualifizierungs- und Zertifizierungsmöglichkeiten. Ein stärkerer Anwendungsbezug sollte sowohl in Online-Formaten als auch im Rahmen von Präsenzangeboten gewährleistet werden.

1. Hintergrund

1.1. KI in der Medizin

Fortschreitende technologische Entwicklungen und die Verfügbarkeit immer größerer Datenmengen ermöglichen den nutzbringenden Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in allen Wirtschaftssektoren (Zhang et al., 2021). Auch in der Medizin entwickeln die Fortschritte, die die KI-Forschung in den letzten Jahren hervorgebracht hat, ein immenses Potential für alle Abschnitte der Gesundheitsversorgung, von der Prävention bis zur Rehabilitation (García et al., 2020).

Trotz langer Historie existiert bis heute keine einheitliche Definition zu dem, was unter KI zu verstehen ist (Buxmann & Schmidt, 2021). Die High-Level Expert Group on Artificial Intelligence der Europäischen Kommission definiert KI folgendermaßen:

“Artificial intelligence (AI) refers to systems that display intelligent behaviour by analysing their environment and taking actions – with some degree of autonomy – to achieve specific goals.”
(High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019)

Was ist unter “intelligentem Verhalten” zu verstehen? Auch hier existiert keine allgemeingültige Definition. Ein essenzieller Bestandteil der Intelligenz ist jedoch die Rationalität, also die Fähigkeit, im Hinblick auf die Lösung eines bestimmten Ziels auf Grundlage einer Abwägung der Optionen die beste Entscheidung zu treffen (High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019). Die Fähigkeit des KI-Systems (s. Abbildung 1) zur rationalen bzw. intelligenten Abwägung und Entscheidungsfindung basiert auf einer klar definierten Aufgabenstruktur und einer (strukturierten) Datengrundlage sowie Mechanismen, um diese Datengrundlage kontinuierlich zu erweitern (z. B. durch Sensoren). Ein weiterer Bestandteil der KI ist die Lernfähigkeit. Mechanismen des maschinellen Lernens (ML) erkennen Zusammenhänge in bestehenden Datensätzen und treffen darauf aufbauend Vorhersagen oder andere Entscheidungen (High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019; Murphy, 2012; Taddy, 2018). Maschinelles Lernen ist laut Taddy ein Baustein der KI, für sich allein jedoch limitiert in der Anwendbarkeit auf mehrere unterschiedliche Problem- bzw. Fragestellungen (Taddy, 2018). Nichtsdestotrotz wird ML als eine der wichtigsten Basistechnologien der heutigen Zeit bezeichnet – insbesondere aufgrund seines Potentials bei der Automatisierung repetitiver Aufgaben (Brynjolfsson & Mitchell, 2017). Eine Teilmenge des Maschinellen Lernens ist das sogenannte Deep Learning (DL), welches auf künstlichen neuronalen Netzen beruht. Diese nutzen mehrere hintereinander liegende Schichten, um Muster und Strukturen in sehr großen Datensätzen zu erkennen (Rusk, 2016). Deep Learning Methoden haben in den letzten Jahren enorme Erfolge in einer Vielzahl von Anwendungen verzeichnet, beispielsweise bei der Bilderkennung (Computer Vision) oder Sprachverarbeitung (Natural Language Processing).

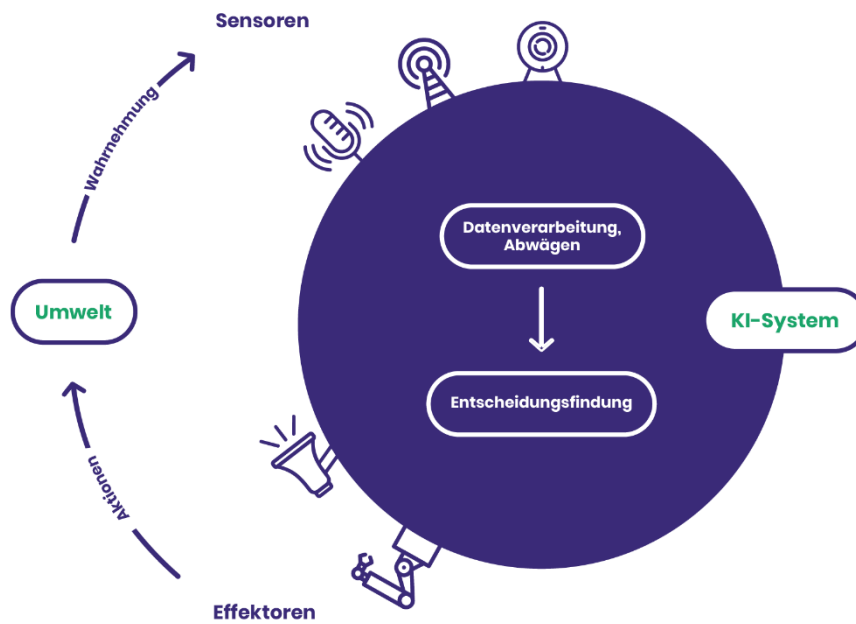


Abbildung 1: Ein KI-System nimmt die Umgebung über Sensoren wahr, verarbeitet und analysiert die hierdurch generierten Daten und wägt infolgedessen verschiedene Möglichkeiten in Abhängigkeit des zu lösenden Problems ab, um zu einer Entscheidung zu finden, die anschließend über bestimmte Effektoren realisiert wird und die Umwelt beeinflusst (adaptiert nach: High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019).

Um das Maß an Einfluss vorherzusagen, das KI auf verschiedene Tätigkeitsfelder und Professionen nehmen wird, existieren verschiedene Modelle (Brynjolfsson et al., 2018; Tolan et al., 2021; Webb, 2019). Sie legen nahe, dass Mediziner*innen und andere einkommensstarke Berufsgruppen am meisten durch die Einführung von KI-Systemen betroffen sein werden. Was bedeutet dies für die Gesundheitsversorgung, insbesondere für die medizinische Profession?

KI kann die Effizienz und Effektivität in allen Stadien der Gesundheitsversorgung stärken: Die Früherkennung und Analyse von Symptomen kann bereits präklinisch erfolgen (erleichtertes Screening) und hat eine verbesserte primäre und sekundäre Prävention zur Folge (Puaschunder et al., 2020). KI-Systeme können durch effiziente Datenverarbeitung und Vorhersagemodelle eine personalisierte Medizin und präzise Entscheidungsunterstützung in Diagnostik und Therapie ermöglichen und dadurch die Behandlungsqualität erhöhen (Choudhury & Asan, 2020). Auch Prozesse und Workflows im Gesundheitswesen werden sich durch KI-basierte Automatisierung repetitiver Aufgaben sowie Konsolidierung und Aufbereitung großer Datenmengen absehbar verändern. Insbesondere Mediziner*innen werden durch diese Veränderungen betroffen sein: KI kann kognitiven und emotionalen Freiraum von Ärzt*innen für Patient*innen ermöglichen und den Fokus weg von transaktionalen Aufgaben hin zu einer personalisierten Betreuung verschieben (García et al., 2020; Lin et al., 2019).

Um das Potential der KI für die Medizin maximal auszuschöpfen und die KI-gespeiste Transformation mitzugestalten, benötigen Mediziner*innen neue Kompetenzen (García et al., 2020). Welche Kompetenzen sind das, wie können sie effizient vermittelt werden und inwiefern müssen Aus-, Weiter- und Fortbildungskonzepte erneuert werden.

1.2. Medizinische Ausbildung

Das **Medizinstudium** befindet sich in Deutschland aktuell in einem tiefgreifenden strukturellen Wandlungsprozess. Ausgehend vom 2017 verabschiedeten „Masterplan Medizinstudium 2020“ des Bundesministeriums für Gesundheit (2017) (BMG) sowie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wird das Studium durch eine neue Ärztliche Approbationsordnung (ÄApprO), die voraussichtlich 2025 in Kraft treten soll, in vielen Facetten neu ausgerichtet. Im Vordergrund steht hierbei die Kompetenzorientierung der Studiums- und Prüfungsinhalte, angelehnt an den notwendigen Fertigkeiten für den Start in den ärztlichen Berufsalltag. Dies geht mit einer Verknüpfung von vorklinischen und klinischen Inhalten einher, wie sie bereits in einigen Modellstudiengängen umgesetzt wurde. Die bisher starre Trennung der Regelstudiengänge zwischen Vorklinik (1–4. Semester) und Klinik (5.–10. Semester) wird zugunsten einer longitudinalen Verknüpfung der Themenbereiche weiterentwickelt.

Erstmals existiert zudem eine einheitliche Zusammenstellung der verpflichtenden Lehrinhalte für alle medizinischen Fakultäten. Hierfür wurde der bereits seit 2015 in seiner ersten Version fakultative Nationale Kompetenzbasierte Lernzielkatalog Medizin (NKLM) in einem umfangreichen mehrjährigen Prozess in einen NKLM 2.0 weiterentwickelt (Charité, 2021a). Mit Inkrafttreten der neuen ÄApprO wird der NKLM nun als verpflichtende Grundlage fest in die Curricula verankert. Daher kommt dem NKLM auch im Hinblick auf die Vermittlung neuer, bisher wenig bis kaum berücksichtigter, aber für eine zukunftsfähige Medizin wesentlicher Inhalte und Kompetenzen eine zentrale Schlüsselrolle zu. Hierfür wurden auf Basis des Masterplans Medizinstudium 2020 in der Konzeption des NKLM 1.0 bereits die Grundlage für die Verankerung von beispielsweise ärztlicher Gesprächsführung, inter-professionellen sowie wissenschaftlichen Kompetenzen eingebunden. Da für die Erstellung des NKLM 2.0 der NKLM 1.0 als strukturelle Basis diente, waren digitale Kompetenzen, die damals nicht berücksichtigt wurden, zunächst nicht vorgesehen. Unter den Prozessbeteiligten wird die Bedeutung digitaler Kompetenzen jedoch für relevant erachtet, dies zeigt auch der Referentenentwurf der neuen ÄApprO. Das BMG benennt in diesem Entwurf digitale Kompetenzen als Teil der zentralen Ziele der ärztlichen Ausbildung und erwähnt diese explizit auch als prüfungsrelevant für die letzte Examensprüfung (Bundesministerium für Gesundheit, 2021). Daher konnten digitale Kompetenzen in einem Verknüpfungsprozess zumindest in die bestehende Kapitelstruktur des NKLM 2.0 integriert werden. Spezifisch zu Künstlicher Intelligenz wird von Studierenden u. a. gefordert „den Begriff der personalisierten Medizin sowie die Grundlagen und medizinischen Anwendungen von maschinellen Lernverfahren und KI-Systemen zu erläutern“ (Charité, 2021b).

Insbesondere im Bereich künstliche Intelligenz ist es von hoher Bedeutung, Lehrinhalte stets an den aktuellen Forschungsstand und die Integration in die Versorgung anzupassen. So werden Vorlesungsfolien oder Fallbesprechungen nach kurzer Zeit häufig bereits veraltet sein. Hier sind zügige Anpassungen aktueller Entwicklungen in der Medizin notwendig. Digitale Formate und digitale Lernangebote können hier eine zunehmende wichtigere Rolle einnehmen. Als Vorreiter*innen in dieser Hinsicht gelten digitale Lernplattformen wie z. B. „Amboss“ (AMBOSS, 2021) und „Via Medici“ (via medici, 2021), die mit hoher Qualität stets neue Inhalte und Leitlinien in ihre Plattform einbinden und für Studierende einen zentralen Bestandteil der Prüfungsvorbereitung darstellen (Kuhn et al., 2018). Auch im Hinblick auf die engere Verknüpfung von Lehre und Prüfungen wird interessant zu beobachten sein, inwieweit Fakultäten mit solchen Plattformen, wie etwa auch dem KI-Campus, interagieren, von deren Dynamik der Inhaltsanpassung lernen oder auch bestimmte Inhalte auslagern, um sich auf die kompetenzorientierte praktische Vermittlung zu konzentrieren. Spezifisch zu Künstlicher Intelligenz, die Grundlageninhalt für viele Bereiche der digitalen Transformation in der Medizin darstellt, kann eine übergreifende Bestandserhebung wie die vorliegende einen wichtigen Baustein für den Implementierungsprozess darstellen.

1.3. Medizinische Weiter- und Fortbildung

Das Ziel der **medizinischen Weiterbildung** ist das Erlangen der fachärztlichen Qualifikation, bzw. darauf aufbauend einer Spezialisierung in Schwerpunkten oder in einer Zusatz-Weiterbildung. Die dafür notwendige Struktur ist in den Weiterbildungsordnungen der jeweiligen Landesärztekammern festgehalten, welche in der Regel eng an die (Muster-)Weiterbildungsordnungen der Bundesärztekammer angelehnt sind (Bundesärztekammer, 2018). Die Inhalte werden in unregelmäßigen Abständen neuen Entwicklungen angepasst, zuletzt erfolgte im November 2018 mit der Umstellung auf den Nachweis von Kompetenzen eine Entwicklung weg von der reinen Erfüllung von Zeiten und Richtzahlen (Deutsches Ärzteblatt, 2021). Die Einführung von Logbüchern und zuletzt die Umstellung auf digitale Logbücher (eLogbuch), ermöglicht eine bessere Vergleichbarkeit und besseres Monitoring der Facharztweiterbildung in den unterschiedlichen Weiterbildungsstätten. Dies soll zum einen die Lehre verbessern, zum anderen soll es Ärzt*innen in Weiterbildung erleichtert werden, auch innerhalb der Weiterbildungszeit das Bundesland zu wechseln, ohne dabei Nachteile befürchten zu müssen.

Die Pflicht zur fachlichen **Fortbildung** für berufstätige Ärzt*innen ist seit 2003 im Sozialgesetzbuch vorgeschrieben (Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz & Bundesamt für Justiz, o. J.). Die Fortbildungsmaßnahmen dienen dem Erhalt und der dauerhaften Aktualisierung der fachlichen Kompetenz der Ärzt*innenschaft (Maas et al., 2004). Diese kontinuierliche berufsbegleitende Fortbildung wird auch als "Continuing Medical Education", oder kurz CME, bezeichnet. CME ist damit eine Maßnahme zur medizinischen Qualitätssicherung. Gesetzlich vorgeschrieben ist der Erwerb von 250 Punkten in einem Zeitraum von 5 Jahren, wovon mindestens 150 Punkte fachspezifisch erlangt werden müssen (Ärztliche-Fortbildung.de, o. J.). Die Umsetzung der gesetzlichen Bestimmungen obliegt dabei weitgehend den Landesärztekammern. Diese legen in ihren Fortbildungsverordnungen die Kriterien fest, welche die Anerkennung der Eignung von einzelnen Veranstaltungen zur Fortbildung regeln (Adler et al., 2008). Die Fortbildungsordnungen unterscheiden dabei 10 mögliche Veranstaltungskategorien, die klassische Vorträge samt Diskussion (Kategorie A) aber auch Kongresse, Workshops, interaktive Fortbildungen über verschiedene Medien, Selbststudium oder Hospitationen beinhalten. Basierend auf den Kategorien erfolgt eine Punktebewertung für die verschiedenen anererkennungsfähigen Fortbildungsmaßnahmen. Darüber hinaus existieren detaillierte Qualitätsanforderungen für Fortbildungsmaßnahmen, um einen Standard der Angebote gewährleisten zu können. Diese beinhalten Anforderungen an die didaktische Ausgestaltung, die Organisation und die Referent*innen. So müssen Angebote die Teilnehmenden zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt animieren oder die jeweiligen Referent*innen über eine mehrjährige Berufserfahrung im spezifischen Feld verfügen. Ebenfalls sind Kriterien für eine anschließende Lernerfolgskontrolle und Evaluation durch die Veranstaltungsteilnehmenden festgelegt (Bundesärztekammer, 2015).

Das Feld der Anbieter medizinischer Fortbildung ist äußerst heterogen. Es reicht von den regionalen Ärztekammern, Landesärztekammern und Kassenärztlichen Vereinigungen, über die medizinischen Fachgesellschaften, bis hin zu einer Fülle an kommerziellen Anbietern. Grundsätzlich können jedoch nur solche Fortbildungsveranstaltungen im Sinne der CME angerechnet werden, die zuvor von einer Ärztekammer anerkannt und mit Fortbildungspunkten bedacht worden sind. Die 17 Landesärztekammern zertifizieren sowohl CME-Angebote, konzipieren aber auch selbst Fortbildungen.

Die BÄK hat den zunehmenden Einfluss der Digitalisierung auf den medizinischen Sektor erkannt und mit ihrem „Curriculum Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik“ (Bundesärztekammer, 2019) 2019 einen wichtigen Impuls für die Notwendigkeit der Vermittlung von digitalen Kompetenzen gesetzt.

Ziel des Curriculums ist die Vermittlung von Wissen und Kompetenzen im Umgang mit digitalen Gesundheitsanwendungen, fußend auf einem Grundverständnis für die prinzipiellen Problemstellungen der Zusammenarbeit von Informationssystemen sowie die Auseinandersetzung mit Fragen der Vernetzung in Praxen und Kliniken oder zu institutionellem Wissensmanagement.

1.4. Masterstudiengänge und Summer Schools

Zusätzlich zu den "klassischen" strukturierten Angeboten der Universitäten und der Weiter- und Fortbildungseinrichtungen für Mediziner*innen existieren zusätzliche "sonstige" Lernangebote, wie beispielsweise Masterstudiengänge oder Summer Schools, in denen sich Mediziner*innen in Bezug auf medizinische Datenwissenschaften oder Künstliche Intelligenz spezialisieren können.

Ein Masterstudiengang unterscheidet sich im vorliegenden Kontext von den benannten Weiterbildungsangeboten dadurch, dass er auch mit anderen Abschlüssen als dem medizinischen Staatsexamen absolviert werden kann. Er kann in Präsenz, als Blended-Learning-Format oder digital durch eine Hochschule unter Berücksichtigung der Bologna-Bedingungen angeboten und absolviert werden.

Eine Summer School oder Sommerakademie soll in diesem Kontext als ein durch eine akademische Einrichtung angebotener Präsenz-Bildungskurs zu einer bestimmten Thematik verstanden werden, der während des Sommers durchgeführt wird (es gibt aber auch entsprechende Autumn, Spring und Winter Schools...). Die Teilnehmer*innen übernachten in der Regel an dem Ort, an dem die Sommerschule abgehalten wird. Summer Schools dienen der niedrigschwelligeren Auseinandersetzung mit neuen medizinischen Themen und verbinden dies mit dem Aufbau neuer akademischer Netzwerke.

1.5. Digitale Formate

Digitale Formate im Allgemeinen und digitale Lernangebote im Speziellen können künftig eine zunehmende Bedeutung für den Erwerb von Wissen und Kompetenzen im Bereich der Medizin erfahren. Dies gilt ganz besonders auch für digitale Lern- und Wissensplattformen, auf denen unterschiedliche Angebote zur Verfügung gestellt und Austauschprozesse zwischen Lernenden ermöglicht werden. Dabei sind auch klare Überschneidungen im Kontext der zuvor bereits benannten strukturierten und sonstigen Lernangebote zu erkennen. Die Integration digitaler Formate in etablierte Studien- oder Weiterbildungsangebote oder die Anerkennung für formale Qualifizierungs- oder Fortbildungsbedarfe ist bei den in dieser Studie diskutierten digitalen Formaten daher durchaus mitzudenken und möglich, aufgrund des, zumindest in Deutschland, sehr frühen Entwicklungsstandes jedoch noch nicht der Regelfall.

Insgesamt ist das Spektrum der möglichen digitalen Formate, wenn überhaupt vorhanden, sowohl im Bereich des Medizinstudiums als auch im Kontext der medizinischen Weiter- und Fortbildung äußerst heterogen. Sie können nach Kuhn et al. 2018 für den Medizinbereich etwa digitale Textformate, digitale Datenbanken, audio- und videobasierte Medien oder auch stärker kompetenzorientierte interaktive Lernformate umfassen. Wannemacher et al. (2016) beschreiben insgesamt 16 „digitalisierte [...] Lernelemente und -formate“ (ebd., S. 61), u. a. Augmented Reality, E-Lecture, E-Portfolio, Freie Lernmaterialien (Open Educational Resources), Online-Studiengänge, MOOCs, simulationsgestütztes Lernen, Virtual Reality und Vorlesungsaufzeichnungen (ebd. S. 61). Mah et al 2020) unterscheiden in ihrer Studie „Digitale Lernangebote zum Thema Künstliche Intelligenz“ Online- und Blended-Learning-Lernformate. Für diese Studie soll als Grundlage eine diese Ansätze zusammenführende Perspektive auf „digitale Formate“ gelten, die die mit dem Format verbundene Zielsetzung und den Grad der Didaktisierung ganz

besonders in den Mittelpunkt stellt. Dafür wird eine einfache Systematisierung digitaler Formate in drei übergreifende Zielsetzungen und Erwartungen aus Perspektive der Lernenden vorgenommen: 1) Informations- und Wissenserwerb, 2) Kompetenzerwerb sowie 3) Qualifizierung & Zertifikatserwerb (vgl. Rampelt et al., 2021). Damit verbundene digitale Formate sind in Tabelle 1 exemplarisch aufgeführt. „Digitale Formate“ als Oberbegriff umfasst entsprechend sowohl nicht-didaktisierte digitale Formate als auch didaktisierte digitale (Lern-)Formate bzw. Lernangebote.

Tabelle 1: Systematisierung digitaler Formate (Rampelt et al., 2021)

Zielsetzung	Digitale Formate (exemplarisch)
Informations- & Wissenserwerb	Digitale Wissensdatenbanken (Sammlung von Informationen bzw. Micro-Formaten) Micro-Formate (Textformate, Datensätze, Videos, Podcasts, u. a.) Nicht-didaktisierte Online-Kurse / Massive Open Online Courses (MOOCs) Online-(Informations-)Veranstaltungen
Kompetenzerwerb	Micro-Lernformate (Lernvideos, Lernpodcasts, Quiz, Übungen, Simulationen, Programmierertools, u. a.) Online-Kurse bzw. MOOCs mit didaktischem Konzept (aber ohne Credential) Blended-Learning-Formate
Qualifizierung & Zertifikatserwerb	Micro-Credentials Micro-Degrees Online- & Blended-Studiengänge

Für Lernende können gemäß dieser Systematik sowohl rein informative digitale Formate (Zielsetzung: Informations- und Wissenserwerb bei Lernenden) relevant sein als auch klar didaktisierte digitale Lernangebote (Zielsetzung: Kompetenzerwerb bei Lernenden), die in ganz unterschiedlichen Umfängen und Lernszenarien zum Einsatz kommen. Wird der Kompetenzerwerb mit einer Qualitätssicherung und entsprechenden Zertifikaten verbunden, sprechen Rampelt et al. (2021) von digitalen Formaten mit einer Zielsetzung der Qualifizierung bzw. des Zertifikatserwerbs (z. B. Micro-Credentials). Digitale Formate sind dabei unabhängig vom Grad der Didaktisierung grundsätzlich durch eine digitale Verfügbarkeit – meist auch eine Online-Verfügbarkeit – charakterisiert. Sie sind auf verschiedensten digitalen Plattformen zu finden und in unterschiedliche (intendierte und nicht intendierte bzw. formale und non-formale) Lernszenarien eingebettet.

Während digitale Wissensdatenbanken als Informationsgrundlage mittlerweile von vielen Mediziner*innen selbstverständlich im Klinikalltag genutzt werden, sind gerade MOOCs erst in den letzten Jahren im Bildungsbereich angekommen (Clark & Marks, 2020). Welche Rolle offene Online-Kurse in Deutschland bisher für den medizinischen Bereich – und insbesondere für die (Weiter-)Bildung zum Thema KI spielen, ist nicht bekannt. Insgesamt zeigt sich, dass digitale Lernangebote trotz zunehmender Akzeptanz und Relevanz noch keinen integralen und flächendeckenden Bestandteil der Lehre in der Medizin darstellen (Kuhn et al., 2018). Es bleiben Potentiale hinsichtlich der Integration digitaler Formate in Lehre und Weiterbildung im Bereich der Medizin bisher unausgeschöpft, auch wenn sich spätestens seit der COVID-19-Pandemie hier neue Dynamiken entfalten könnten, die noch zu analysieren sind.

In dieser Studie wird für eine erste Annäherung eine exemplarische Auswahl möglicher digitaler Formate zu KI in der Medizin erfasst und auf Umfang und Tiefe untersucht. Die Lerninhalte werden in inhaltliche Kategorien eingeteilt und verglichen. Weiterhin wird identifiziert, welche Kompetenzen in den Angeboten vermittelt werden sollen und welches Potential digitale Formate im Allgemeinen sowie digitale Lernangebote im Speziellen für die Ausbildung von Mediziner*innen haben können.

2. Zielsetzung und Analyseraster

2.1. Zielsetzung

2.1.1. Bestandsanalyse

Das erste übergeordnete Ziel der vorliegenden Studie ist eine Bestandsanalyse der Lernangebote zu KI in der Medizin mit der Zielgruppe Mediziner*innen (Medizinstudierende und Ärzt*innen). Dies beinhaltet eine möglichst umfassende und systematische Erhebung der aktuell in Deutschland verfügbaren Curricula sowie der entsprechenden analogen und digitalen (bzw. Blended-)Lernangebote für Mediziner*innen in Bezug auf Fragestellungen und Inhalte im Bereich KI. Unter Lernangeboten werden hierbei Formate verstanden, in denen Lernenden (Studierende, Berufstätige, lebenslang Lernende) in didaktisch aufbereiteter Form Themen und Fragestellungen der Künstlichen Intelligenz vermittelt werden. Im Fall von digitalen Wissensdatenbanken und Micro-Formaten werden darüber hinaus auch Formate berücksichtigt, die der reinen Informationsvermittlung dienen und nicht didaktisiert sind, da hier eine besondere Relevanz für das Schwerpunktthema KI in der Medizin erwartet wird.

Folgende **Forschungsfragen** wurden für die Bestandsanalyse definiert:

- Welche Initiativen, Programme, Einrichtungen bemühen sich in Deutschland bereits um die Integration von KI-Inhalten in die Aus-, Fort- und Weiterbildung für die Medizin?
- Welche Masterstudiengänge und Summer Schools vermitteln der Zielgruppe (angehender) Mediziner*innen KI-Kompetenzen mit Medizin-Bezug?
- Welche bestehenden digitalen Formate bzw. Lernangebote lassen sich identifizieren?
- Welche innovativen Beispiele zur Vermittlung von KI-Kompetenzen an Mediziner*innen gibt es?
- Wie sind entsprechende Curricula aufgebaut?

Unterteilt nach Zielgruppenausrichtung werden grundsätzlich vier Angebotsbereiche anvisiert:

- 1. Die medizinische Ausbildung**
 - a. Medizinische Fakultäten bzw. Universitäten in Deutschland
 - b. Innovative Beispiele aus der Praxis
- 2. Die medizinische Fort- und Weiterbildung**
 - a. Continuing Medical Education (CME) Fortbildungsangebote
 - b. Weiterbildungsangebote für Ärztinnen und Ärzte im Rahmen der (Muster-)Weiterbildungsordnung der Bundesärztekammer (BÄK)
 - c. Innovative Beispiele aus der Praxis
- 3. Masterstudiengänge und Summer Schools**
- 4. Digitale Formate**
 - a. Digitale Wissensdatenbanken & Micro-Formate
 - b. Micro-Lernformate
 - c. Online-Kurse & MOOCs

2.1.2. Bedarfsanalyse

Ziel war es im zweiten Schritt, den Bedarf an Lernangeboten zum Thema Künstliche Intelligenz in der Medizin zu eruieren. Dabei wurden KI-bezogene Kompetenzen für (zukünftige) Ärzt*innen identifiziert und priorisiert, Probleme und Herausforderungen klassifiziert sowie Implementierungsmodelle und geeignete Formate für deren Vermittlung analysiert. Folgende Forschungsfragen sind in die Interviewleitfäden eingeflossen:

- Welche KI-bezogenen Kompetenzen sollten Mediziner*innen besitzen?
- Wie könnte ein bestmögliches Konzept zur Vermittlung von KI-Kompetenzen an Mediziner*innen aussehen?
- Was sind Faktoren, die den Erwerb KI-bezogener Kompetenzen bei Mediziner*innen fördern?
- Welche Rolle können digitale Formate bzw. digitale Lernangebote spielen?
- Was stellt die größten Probleme und Herausforderungen bei der Implementierung von Lernangeboten zum Thema KI in der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung dar?

2.2. Analyseraster für KI-Kompetenzen

Zur Einteilung und Bewertung der Lernangebote wurde eine Kategorisierung der Kompetenzen auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) vorgenommen. Es wurde ein dreiteiliges Themencluster zur Unterteilung der KI-Kategorien gebildet:

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

1. Mathematische Grundlagen (Statistik, Stochastik)
2. Grundlegende Konzepte zu Wissensrepräsentation und Inferenz (Ontologien, Terminologien, Logik)
3. Data Science (z. B. Programmiersprachen, Datenbankmanagement)

Machine Learning (ML)

1. Arten von ML-Verfahren
2. Spezifische ML-Algorithmen
3. Programmierung von ML-Algorithmen

Themen rund um KI / KI-Assoziierte Aspekte

1. Überblick und Einführung in die Anwendungsgebiete der KI in der Medizin
2. Spezifische KI-Anwendungen, Anwendungsfelder der KI in der Medizin
3. Innovation Management (Change-Management, Design Thinking, Disruptive Technologien)
4. Mensch-Maschinen-Interaktion (Arbeitswissenschaften, Human Factors, Usability-Aspekte (UI/UX), Psychologische Aspekte von Mensch-Technik Interaktion / Automation)

Mit diesem dreiteiligen Themen-Cluster werden also nicht allein technisch-algorithmische Ansätze der KI adressiert, sondern auch die Implikationen auf ethisch-gesellschaftliche Themenkomplexe sowie Prozess- und Workflowmanagement berücksichtigt.

3. Ergebnisse der Bestandsanalyse

3.1. Methodik

Im Zeitraum vom 15. April bis zum 17. Juni 2021 wurden Ansprechpartner*innen aller 39 medizinischen Fakultäten, die Medizinstudierende gemäß der deutschen Approbationsordnung ausbilden, danach befragt, welche KI-bezogenen Lehrangebote sie ihren Studierenden anbieten oder planen anzubieten. Begleitend dazu wurden Angaben hierzu in öffentlich zugänglichen Quellen (z. B. Kursbüchern oder Beschreibungen von Lehrangeboten einzelner Institute) recherchiert. Abschließend wurden alle Dekanate gebeten, die zusammengetragenen Angaben zu validieren; 29 von 39 Einrichtungen validierten unsere Angaben oder füllten selbst den Fragebogen vollständig aus.

Für die medizinische Weiter- und Fortbildung wurden die (Muster-)Weiterbildungsordnungen der Bundesärztekammer (BÄK) und der 17 Landesärztekammern (LÄKn) auf das Vorhandensein von KI-Lernzielen untersucht und die LÄKn im Hinblick auf ihr Angebot an CME-Fortbildungskursen konsultiert. In der bundesweiten Fortbildungssuche der Bundesärztekammer wurde im Mai und Juni 2021 eine Schlagwortsuche durchgeführt. Über das Portal der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) (AWMF online, o. J.) wurden 172 medizinische Fachgesellschaften identifiziert, die Abfrage führte trotz regelmäßiger Nachfragen und Erinnerungen jedoch nur zu einem unzureichenden Rücklauf (9/172).

Für die Erhebung und Analyse von Masterstudiengängen und Summer Schools zu KI in der Medizin wurde eine systematische Internetrecherche mit festgelegten Schlagwörtern angewendet. Für die Masterstudiengänge wurden die verantwortlichen Studienberater*innen, Studiengangsleiter*innen oder Dozierende kontaktiert, um weitere Informationen zum Studium oder zum Inhalt zu erlangen. Nach Abschluss der Recherchen wurden die Ergebnisse zur Validierung an die Verantwortlichen der Studiengänge vorgelegt, ein Großteil (10/14) haben diese bestätigt.

Auch für digitale Formate wurde mit einem Schwerpunkt auf Wissensdatenbanken und Massive Open Online Courses (MOOCs) eine systematische Internetrecherche und Schlagwortsuche vorgenommen. Die Ergebnisse wurden durch direkt von Expert*innen genannte Beispiele ergänzt, sofern diese die Einschlusskriterien erfüllten.

3.2. Medizinische Ausbildung

3.2.1. Formale Aspekte

Bei etwa drei Viertel der Ausbildungsstätten (28/39) konnten wir Lernangebote mit KI-Bezug identifizieren (s. Abbildung 2). Ein kleiner Anteil (8/39) bestätigte, dass derzeit keine solchen Lernangebote vorhanden sind. Ebenso plant eine Mehrheit (31/39) der Einrichtungen (weitere) Lernangebote mit KI-Bezug. Insbesondere planen dies bereits fünf von den sieben Einrichtungen, die bisher keine Lehrveranstaltungen zu KI anbieten.

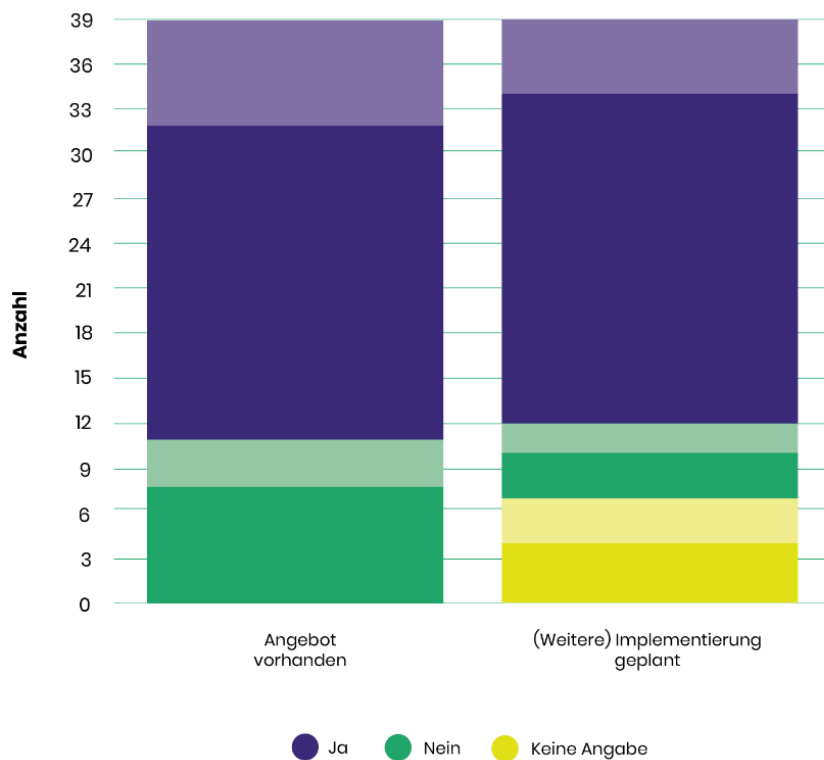


Abbildung 2: Verteilung der Antworten auf die Frage, ob an der jeweiligen Einrichtung bereits Lernangebote mit KI-Bezug vorhanden sind, bzw. ob solche Lernangebote in Planung sind. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

Der Impuls, KI-bezogene Inhalte stärker in das Curriculum einzubringen, kommt in den meisten Fällen von den Dozierenden (21 der 29 Einrichtungen, die hierzu eine Angabe machten, vgl. Abb. 3). Zu ungefähr gleichen Teilen gaben Einrichtungen an, dass seitens der Einrichtungsleitung (18/29) oder Studierenden der Bedarf für KI-Inhalte im Studium aufgezeigt wurde (15/29). Zumeist zeigten an einer Fakultät bzw. Hochschule mehr als einer dieser drei Akteure den Bedarf auf, nur in knapp einem Drittel der Fälle setzte sich nur eine dieser Gruppen für die Implementierung von KI-Inhalten in das Curriculum ein. Die Verantwortlichkeit dafür, Lehrinhalte mit KI-Bezug aufeinander abzustimmen und deren Implementierung und Durchführung zu organisieren liegt dabei in den meisten Fällen bei den Dekanaten, einige Einrichtungen haben für diese curriculare Abstimmung sogar eine dezidierte Position (vgl. Abb. 4). Auf die inhaltliche Ausgestaltung der KI-bezogenen Lehrinhalte hingegen haben überwiegend die Dozierenden (30 von 30 Einrichtungen, die hierzu Angaben machten), gefolgt von den Studierenden (24/30) Einfluss (s. Abbildung 5). Eine Einrichtung (Medizinische Hochschule Brandenburg Theodor Fontane) gab an, Patient*innen oder deren Vertreter*innen bei der Entwicklung der Lehrformate mit KI-Bezug (momentan noch keine implementiert, in Planung) zu beteiligen.

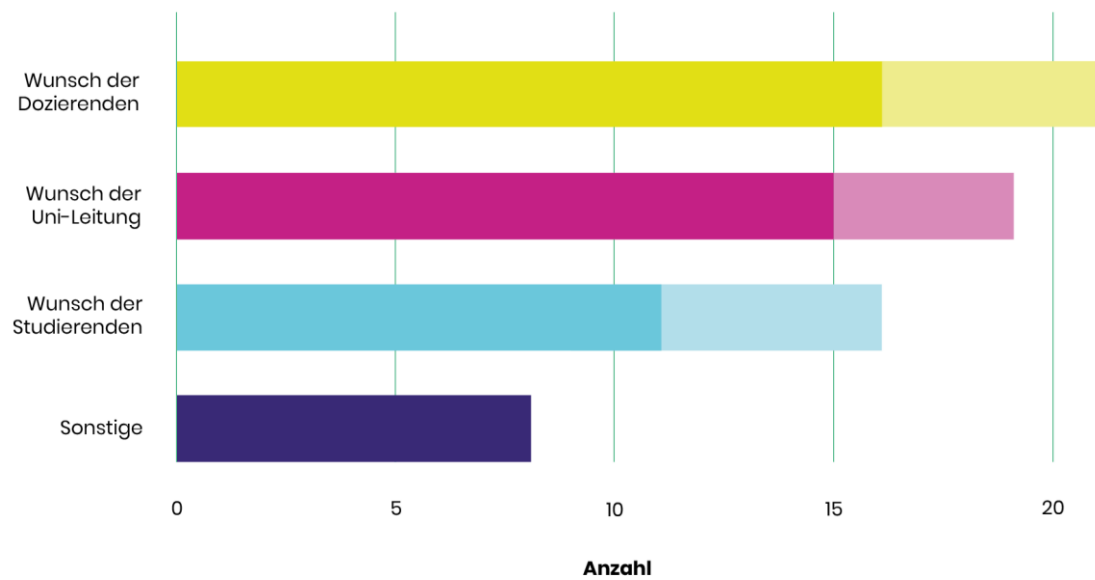


Abbildung 3: Verteilung der Antworten auf die Frage, wie der Bedarf für Lernangebote zu KI-Themen an der jeweiligen Institution festgestellt wurde. Eine Mehrfachauswahl war möglich. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

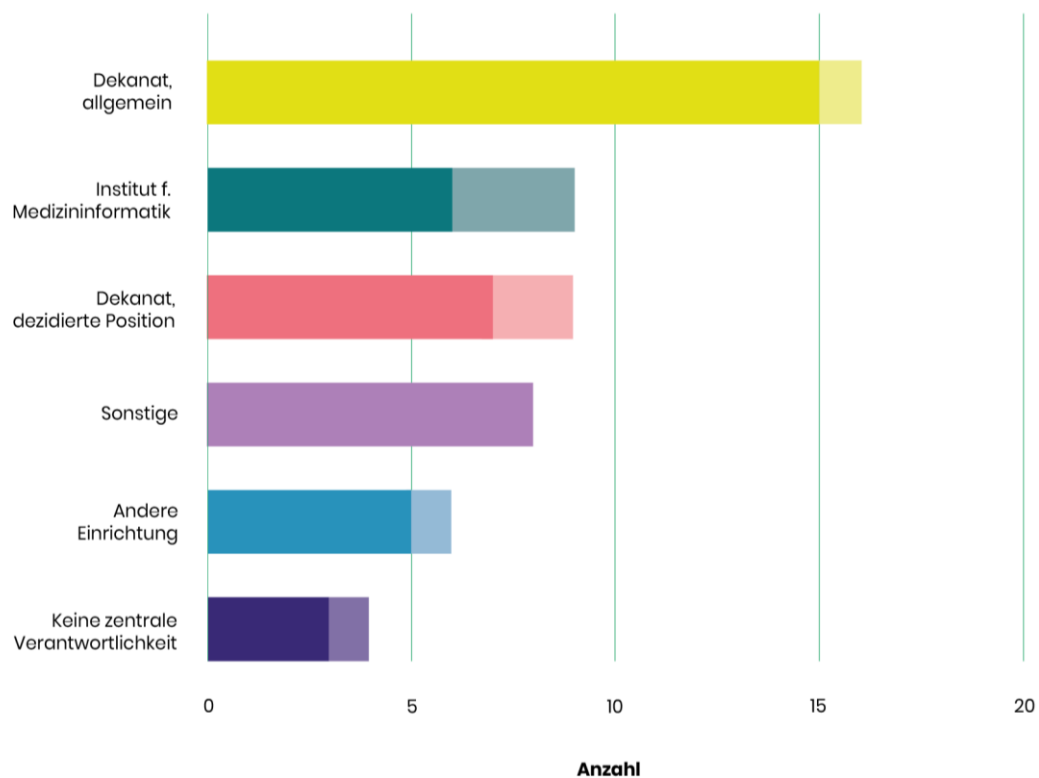


Abbildung 4: Verteilung der Antworten auf die Frage, wo in der jeweiligen Institution die Verantwortlichkeit für die Koordination der Curriculumsentwicklung in Bezug auf KI-Inhalte liegt. Eine Mehrfachauswahl war möglich. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

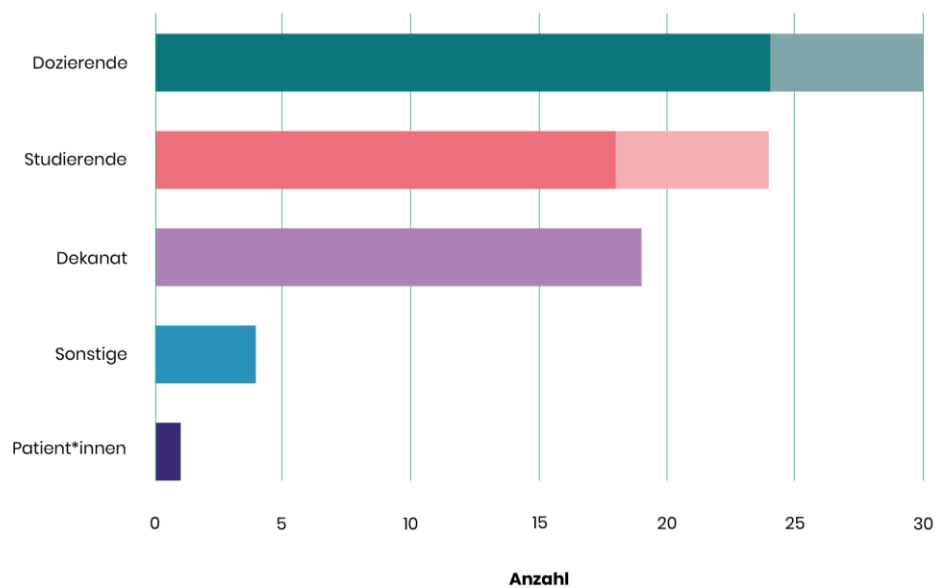


Abbildung 5: Verteilung der Antwort auf die Frage, welche Personengruppen auf die Lernangebote zu KI-Themen an den medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen Einfluss nehmen können. Eine Mehrfachauswahl war möglich. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

Die meisten Einrichtungen (16 von 26 Einrichtungen, die hierzu Angaben machten) bieten Kurse mit KI-bezogenen Lehrinhalten im Rahmen von Wahlpflichtkursen oder extracurricular (15/26) an. Nur zwei Einrichtungen gaben an, im Kerncurriculum ein eigenes Fach oder Modul spezifisch zu KI-Themen verankert zu haben. Eine weitere Einrichtung berichtete, mit einem holistischen Ansatz KI-Inhalte longitudinal im Curriculum verankert zu haben (Medizinische Fakultät Heidelberg).

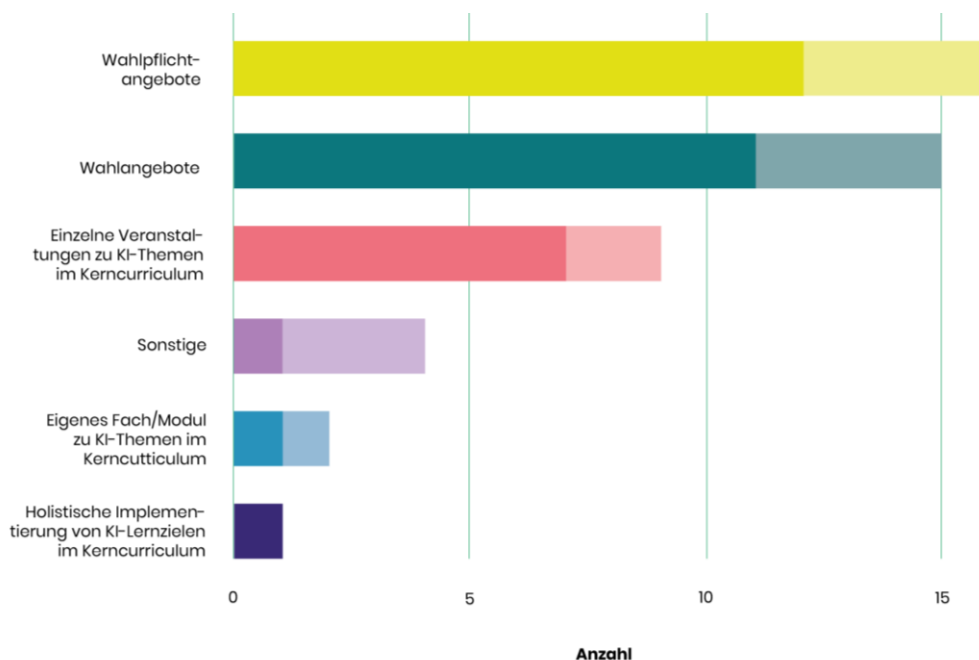


Abbildung 6: Arten der Implementierung von KI-Inhalten ins Curriculum an den medizinischen Hochschulen bzw. Fakultäten. Eine Mehrfachauswahl war möglich. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

Als Lehrformate kommen überwiegend die “klassischen” Lehrformate zum Einsatz: das Seminar, die Vorlesung und das Praktikum. Dreizehn Einrichtungen gaben an, Online-Kurse mit KI-Inhalten im Rahmen der Ausbildung einzusetzen: Elf bieten Blended-Learning-Formate zu KI-Themen an, zwei weitere Einrichtungen reines Online-Learning (in drei Einrichtungen ist beides vorhanden). Dabei wurde nicht erhoben, inwieweit die COVID-19 Pandemie das Online-Lehrangebot verändert haben könnte. An den Unikliniken von Berlin, Hamburg und Dresden konnten zudem Hackathons als Lehrformate gefunden werden.

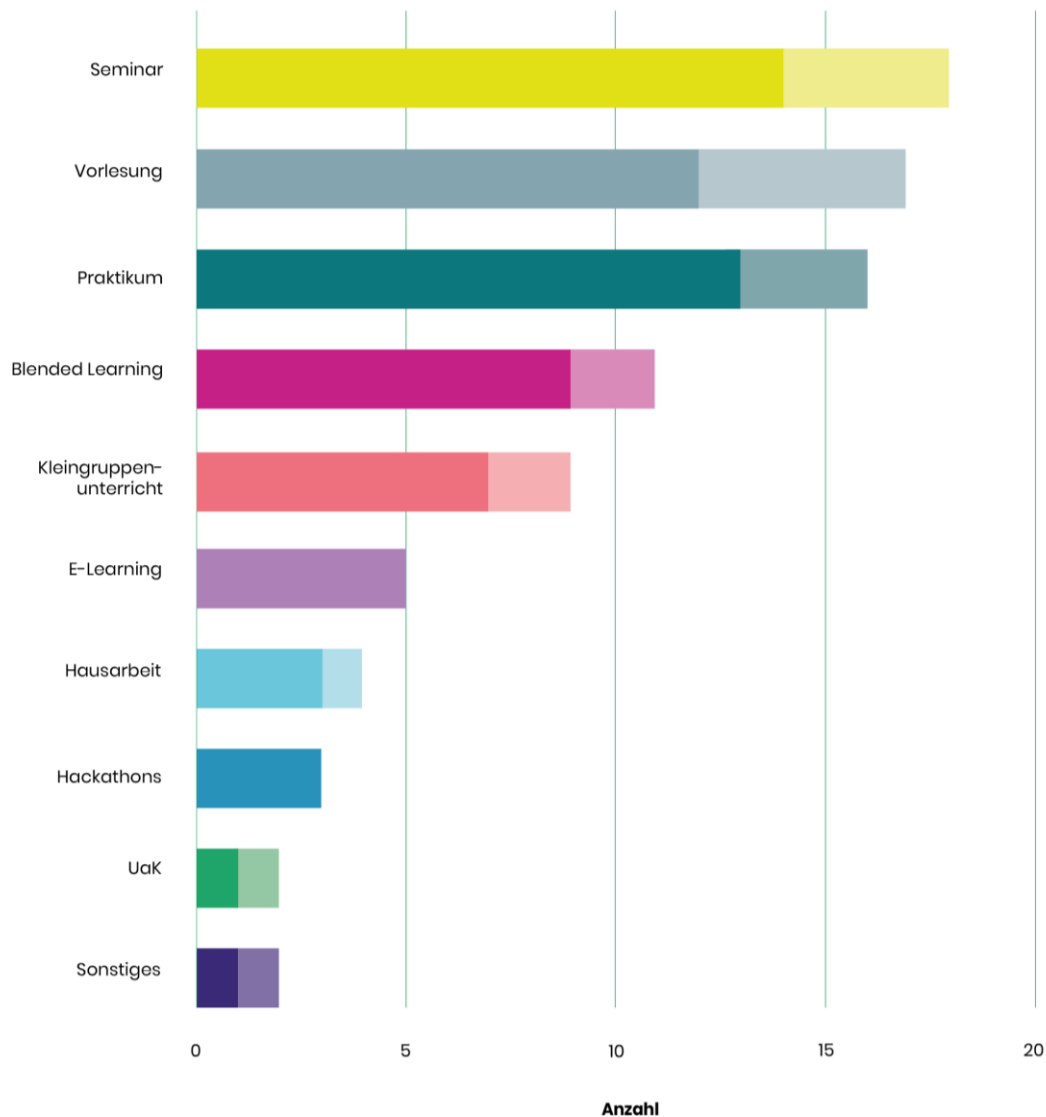


Abbildung 7: Verschiedene Lehrformate, mit denen Inhalte mit KI-Bezug an den medizinischen Hochschulen bzw. Fakultäten unterrichtet werden. Eine Mehrfachauswahl war möglich. UaK: Unterricht am Krankenbett. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

Ähnlich den in der Mehrheit “klassischen” Lehrformaten, besteht die relative Mehrzahl (13/27 Einrichtungen, bei denen hierzu Angaben vorliegen) der Lernerfolgskontrollen bei Lernangeboten mit KI-Bezug aus den für das Medizinstudium typischen Multiple-Choice (MC) Fragen (vgl. Abb. 8). Abgesehen davon gibt es eine große Bandbreite an weiteren Formaten für Lernerfolgskontrollen, von Einzelpräsentationen (n=2) zu mündlichen Prüfungen (n=3) und Online-Aufgaben (n=7).

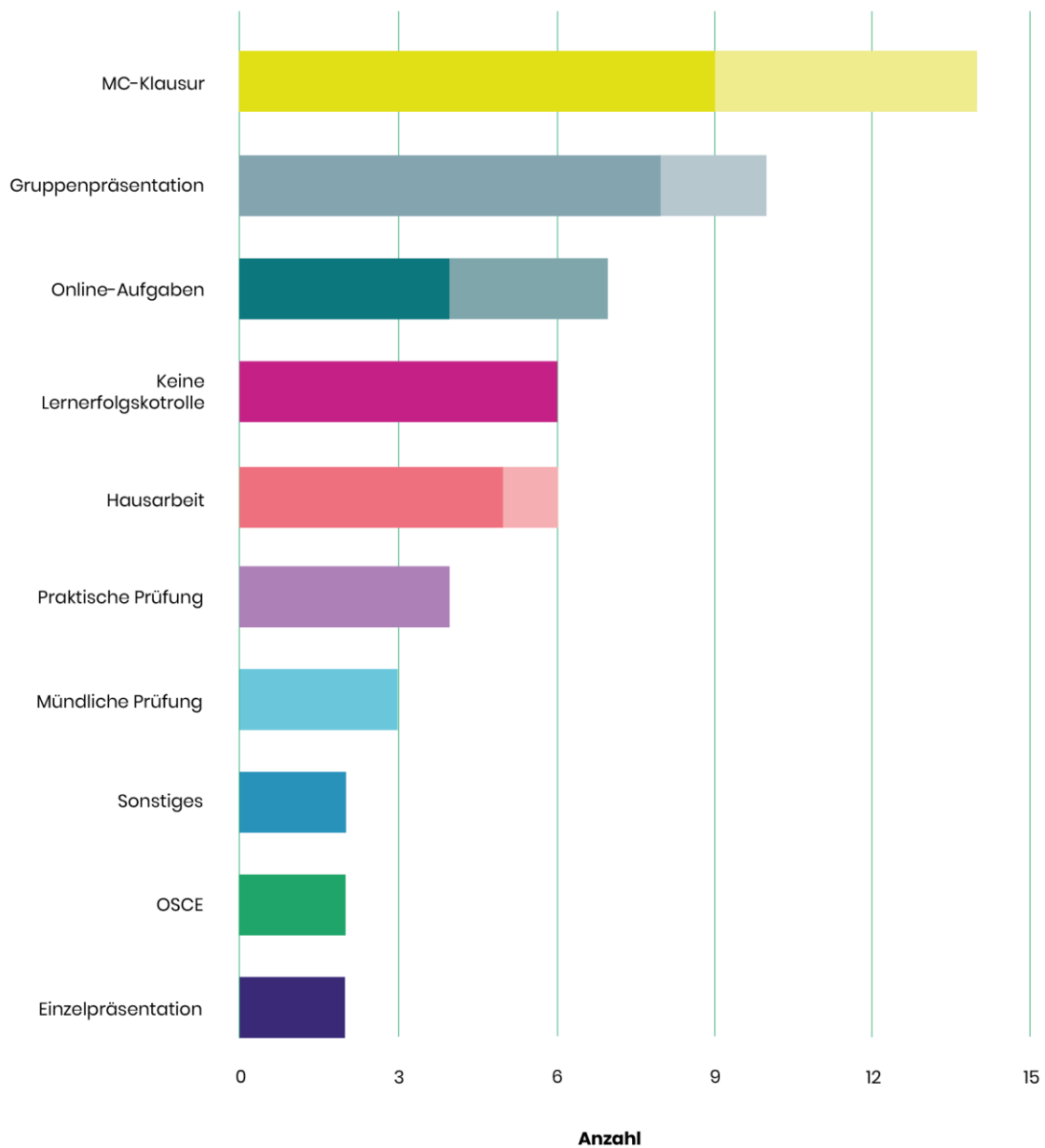


Abbildung 8: Verschiedene Formate der Lernerfolgskontrolle (z. B. Prüfungen), die medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen in den Lernangeboten mit KI-Bezug einbauen. Eine Mehrfachauswahl war möglich. OSCE: Objective Structured Clinical Evaluation. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

3.2.2. Inhalte und Kompetenzen

Alle 28 der 38 Einrichtungen, die KI-bezogene Lerninhalte anbieten, decken mit zumindest einer Lehrveranstaltung das Themengebiet "Grundlagen der KI" ab (vgl. Abb. 9). Hier findet sich auch der höchste Anteil an Lernangeboten mit Bezug zu KI im Kerncurriculum: Von den 24 Einrichtungen, in denen mathematische Grundlagen der Künstlichen Intelligenz vermittelt werden (vgl. Abb. 9) gaben 15 an, dass Teile davon im Kerncurriculum untergebracht sind.

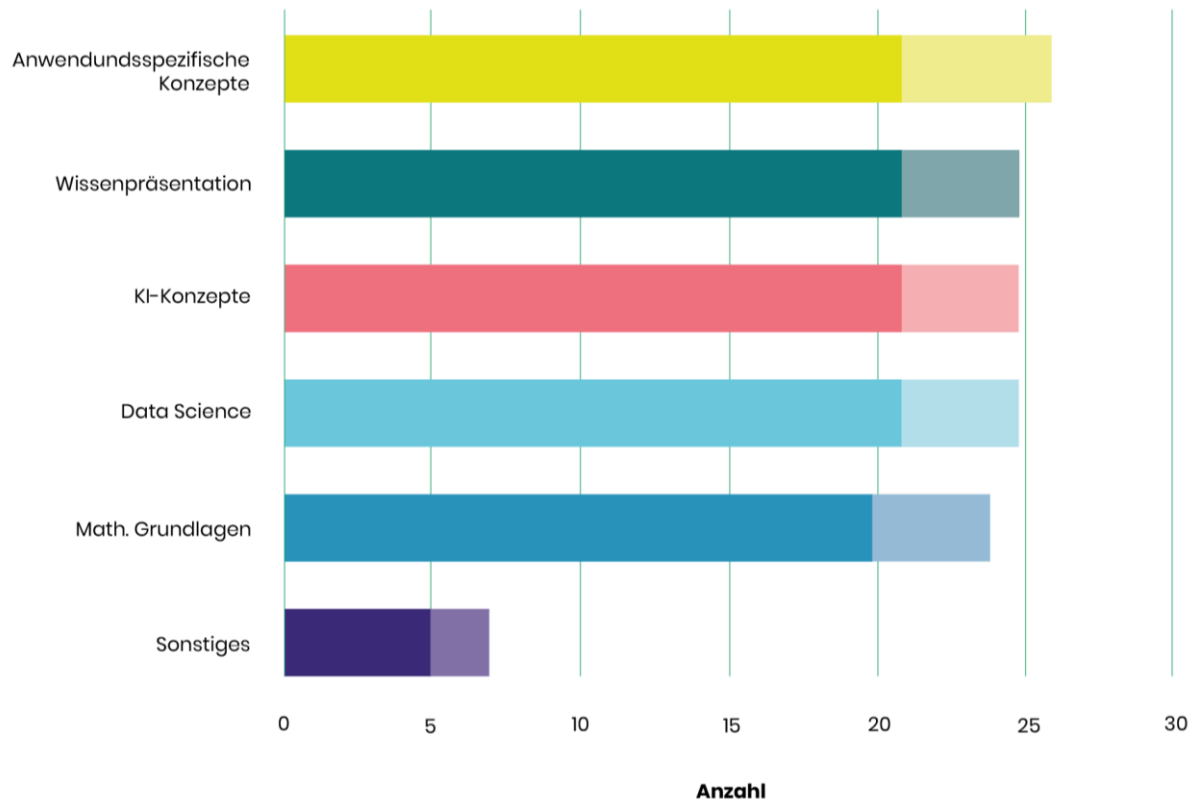


Abbildung 9: Anzahl der medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen, die Lerninhalte zu den Grundlagen der künstlichen Intelligenz anbieten. "Anwendungsspezifische Konzepte" bezieht sich dabei auf Unterricht zu den verschiedenen Einsatzgebieten von KI (Natural Language Processing, Computer Vision, Robotik, Vorhersagemodelle etc.). "Wissensrepräsentation" bezieht sich auf Konzepte der Inferenz und Abbildung komplexer Zusammenhänge. Als "Data Science" werden in diesem Kontext Kompetenzen zur Aufbereitung, Auswertung und Veranschaulichung von elektronischen Daten mittels Programmiersprachen zusammengefasst. Unter "KI-Konzepte" fallen die Definitionen grundlegender Begriffe der künstlichen Intelligenz wie beispielsweise 'intelligente Agenten' und 'Problemlösen'. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

Auch die Grundlagen des Maschinellen Lernens werden an der Mehrheit der Einrichtungen bereits thematisiert, jedoch überwiegend im extracurricularen und Wahlpflichtbereich. In fast allen (25/28) Einrichtungen, die Lehre zu KI-Themen anbieten, lassen sich Kurse finden, in denen auf unterschiedliche Arten und Verfahren des Maschinellen Lernens eingegangen wird. Dabei wird oft auch auf komplexe Methoden wie neuronale Netze und bestärkendes Lernen eingegangen (24/28).

In 23 Einrichtungen gibt es Lernangebote, die alle fünf Themenbereiche abdecken, welche wir als "Themen rund um KI" zusammengefasst haben (s. Abbildung 10). Am häufigsten sind dabei Lehrveranstaltungen, die einen Überblick und eine Einführung in die Anwendungsgebiete von KI geben. An neun Einrichtungen sind solche Kurse im Kerncurriculum verankert, an sieben wird eine solche Veranstaltung nur extracurricular angeboten. Fast alle (25/28) Einrichtungen mit KI-Lehrangeboten berücksichtigen ethische, rechtliche und soziale Fragen (ELSI) von KI-Anwendungen und die besonderen Erfordernisse der Kommunikation mit Patient*innen, die KI-Anwendungen nutzen.

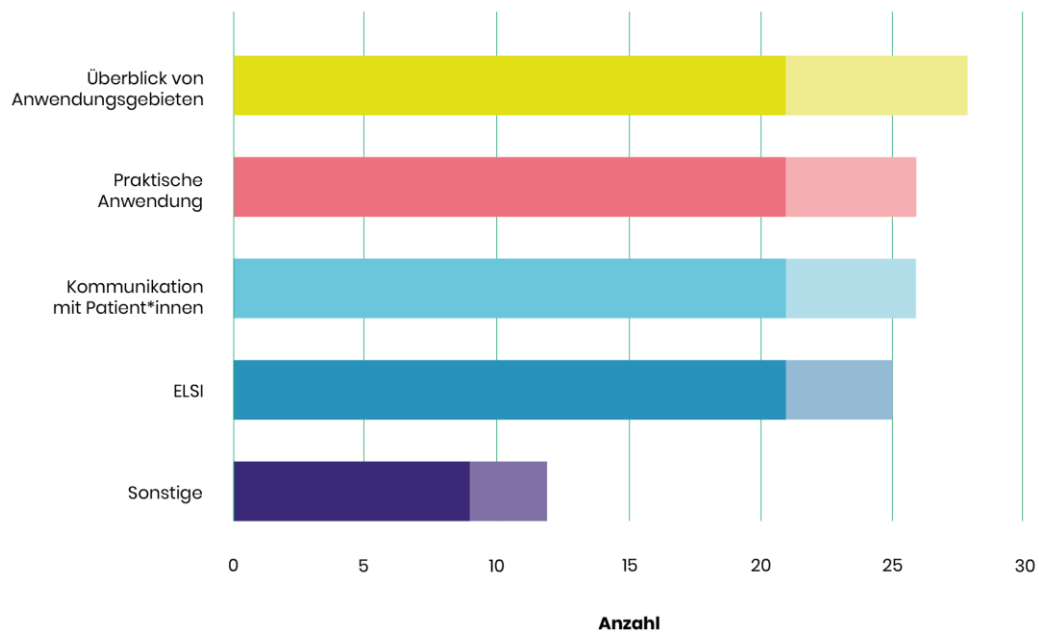


Abbildung 10: Anzahl der medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen, die Lerninhalte zu Themen rund um künstliche Intelligenz anbieten. "Praktische Anwendung" meint damit Kurse, in denen der Umgang mit klinischen KI-Applikationen (wie klinische Entscheidungsunterstützungssysteme) geübt oder kritisch beleuchtet wird. "Kommunikation mit Patient*innen" deckt Lerninhalte ab, in denen die Besonderheiten in der Kommunikation mit Patient*innen über KI-Systeme thematisiert werden. ELSI: ethische, rechtliche und soziale Fragen (in Bezug auf den Einsatz von KI-Systemen in der Medizin). Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

3.2.3. Entwicklungen

Während fünf Einrichtungen angaben, bereits vor 2017 Themen mit KI-Bezug zu unterrichten, wurde die Mehrheit solcher Lernangebote an medizinischen Ausbildungsstätten in Deutschland erst danach geschaffen (s. Abbildung 11, nächste Seite). Viele Lernangebote wurden in den letzten Jahren entwickelt: 15/38 Einrichtungen gaben an, 2020 und 2021 erstmals Kurse in diesem Themenfeld implementiert zu haben. Die Dynamik in diesem Feld scheint daher aktuell hoch.

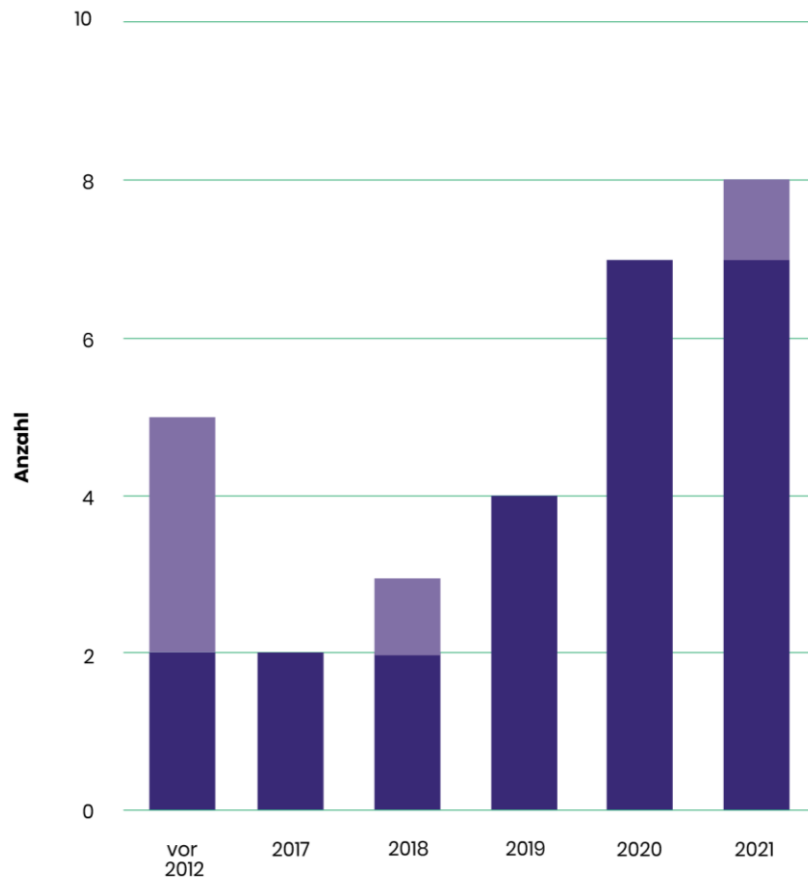


Abbildung 11: Jahresangaben an denen in den medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen erstmalig Lerninhalte mit KI-Bezug angeboten wurden. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

Gefragt nach den konkreten Kompetenzbereichen im Themenfeld der KI, in denen noch ein Bedarf an (weiteren) Lernangeboten besteht, zeigt sich, dass es kaum einen Kompetenzbereich gibt, der nicht genannt wird (vgl. Abb. 12). Dennoch wird ein deutliches Gefälle ersichtlich: am häufigsten (22 Einrichtungen) wird als Bedarf genannt, praktische Erfahrung mit KI-Anwendungen zu sammeln, spezifische Anwendungsfelder von KI näher kennenzulernen und deren Implikationen für das Arbeitsumfeld und die Gesellschaft abschätzen zu lernen. Deutlich weniger Nachfrage besteht vonseiten der Einrichtungen nach eher theorielastigen Themenbereichen wie den grundlegenden Konzepten von KI, Statistik und Inferenz.

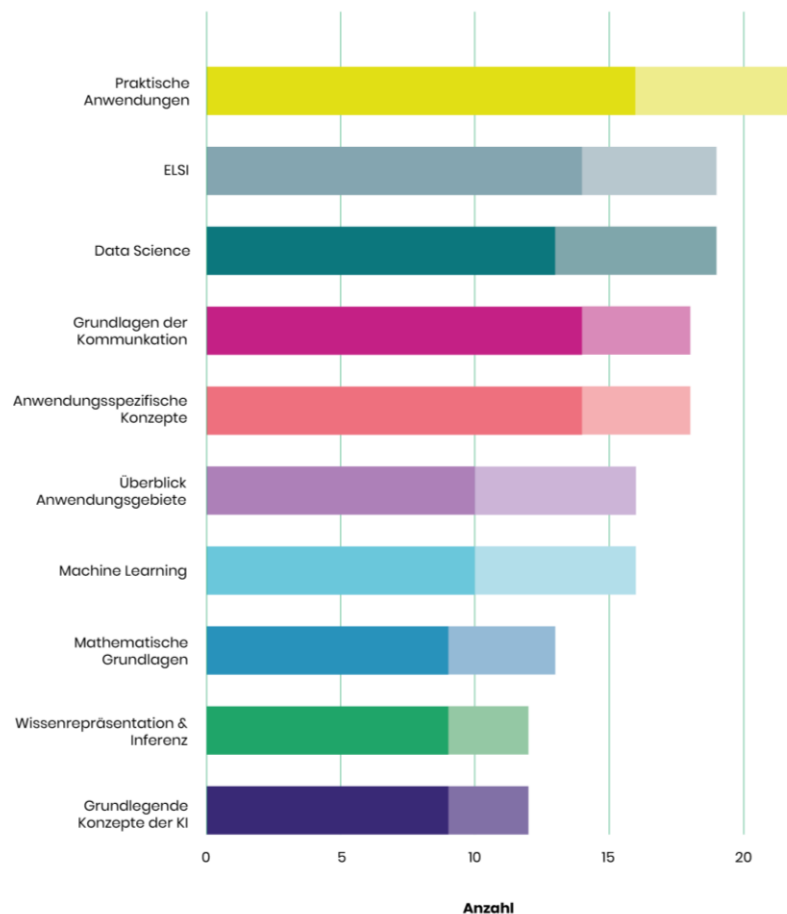


Abbildung 12: Verteilung der Antworten auf die Frage, in welchen Kompetenzbereichen rund um die KI die medizinischen Fakultäten bzw. Hochschulen noch Bedarf an Lernangeboten sehen. Hell schattiert sind Antworten, bei denen das jeweilige Dekanat die recherchierten Angaben nicht validierte.

3.2.4. Innovative Praxisbeispiele

Die Implementierung von Lernangeboten zum Thema KI in der Medizin ist an deutschen medizinischen Fakultäten und Hochschulen einer dynamischen Entwicklung unterworfen. Es lohnt sich in dem Zusammenhang ein Blick auf die internationale Ebene: es existieren umfassende Programme, die Medizinstudierenden ermöglichen, grundlegende Kompetenzen im Bereich KI und Machine Learning zu erwerben und sich als angehende Ärzt*innen in diese Richtung zu spezialisieren. Die folgenden Programme wurden ausgewählt, da ihre inhaltlichen und formalen Aspekte sowie die Gestaltung der zugehörigen Online-Lernplattformen an den deutschen medizinischen Ausbildungsstätten gut umsetzbar wären. Zudem zeigen sie ein hohes Maß an Interdisziplinarität und/oder innovative Ideen auf, die den Medizinstudierenden bei Ihrer Wahl der künftigen Spezialisierung helfen sowie umfassend zur Vermittlung von KI-Kompetenzen beitragen könnten.

Facettenreiche KI in der Klinik

Die *University of Helsinki* bietet den 9-tägigen Wahlpflichtkurs *Big Data and AI – in clinical healthcare* an. Bei diesem Kurs werden Studierenden viele verschiedene Perspektiven der KI und Digitalisierung nähergebracht. KI und Big-Data-Analysen kommen in Zusammenhang mit der Behandlung von neurologischen Erkrankungen, Diabetes, Krebserkrankungen, in der Bildgebung und -analyse sowie der Psychotherapie vor. Dozierende sind Ärzt*innen des Central University Hospitals und andere Expert*innen mit KI-Erfahrung aus der Forschung oder dem Klinikalltag.

In Finnland wird die Vermittlung digitaler Kompetenzen – nicht nur an Mediziner*innen – seit fast 10 Jahren priorisiert und in verschiedenen Programmen durchgesetzt. Der **“DigiCampus”** ist eine nationale Open Source-Lernplattform der finnischen Hochschulen, auf der gemeinsame, offene sowie auch eigene Kurse der Hochschulen angeboten werden – darunter künftig auch der o.g. Wahlpflichtkurs „Big Data and AI – in clinical healthcare“ (DigiCampus – korkeakoulujen yhteinen oppimisympäristö, o. J.).

Das Projekt **“MEDigi”** integriert Digitalisierung in die Curricula der medizinischen Ausbildung in Finnland, um die hohe digitale Kompetenz der Absolvent*innen des finnischen Gesundheitssystems zu sichern und ihre digitalen Fähigkeiten in der sich verändernden Informationsgesellschaft zu schützen. Zu den Zielen des Projekts gehören die Festlegung und Entwicklung von Kompetenzen der Mediziner*innen in Bezug auf digitale Gesundheitsanwendungen, die Bereitstellung erforderlichen Lernmaterials und digitaler Infrastruktur sowie die Schaffung eines Ausbildungsmodells für das Lehrpersonal. Inhaltliche Schwerpunkte sind Datenmanagement, ELSI, aber auch Programmieren (MEDigi – about the Project, o. J.).

Innovativer Doppelabschluss

The Technion – Israel Institute of Technology stellt einen besonderen Fall der Verknüpfung zwischen Medizin und Informatik dar. Es wird ein *Doppelabschluss* in beiden Fachrichtungen angeboten. In einem 5-Jahres-Programm (und ein zusätzliches klinisches Jahr), werden in den ersten zwei Jahren Informatikgrundlagen gelehrt. Im dritten Jahr existieren sowohl Medizin- als auch Informatikkursangebote. Letztlich wird das Programm mit ausschließlich medizinischen Kursen nach weiteren zwei Jahren beendet. Somit beschert der Doppelabschluss den Studierenden aufgrund ihrer späteren umfassenden Kenntnisse in Medizin und Informatik die Grundlage für eine Karriere in der Erforschung und Entwicklung medizinischer KI-Systeme (Medicine and Computer Science (Israel Institute of Technology, o. J.)).

In Deutschland werden Pilotprojekte zur Kompetenzbildung der Lehrenden von digitalen und KI-bezogenen Inhalten durchgeführt. Das **Multiplikatorentaining der Careum und der Robert-Bosch-Stiftung**, welches erstmals im Jahr 2020 durchgeführt wurde, bringt Führungskräfte aus dem Gesundheitssystem zusammen, um ihnen einerseits didaktische und eHealth-Kompetenzen zu vermitteln und sie andererseits zu befähigen, Transformations- und Veränderungsprozesse durch die Konzeption und Implementierung von Qualifizierungsprogrammen in Aus-, Fort- und Weiterbildung zu fördern (Careum Stiftung & Robert Bosch Stiftung, 2020).

In der Europäischen Union wurde im November 2020 das 3-Jahres Erasmus + Projekt **“AIIS – Artificial Intelligence, Innovation & Society, the future of medicine”** aufgelegt. Ziel ist es, das Angebot der europäischen Hochschulen im Bereich Medizin in den Themenbereichen KI, Innovationsmanagement und Soft Skills zu erweitern. Mit einer Gesamtfinanzierung von knapp einer Million Euro durch das Erasmus+-Programm der Europäischen Union soll hierfür eine kollaborative Lernplattform für Studierende und Lehrende kreiert werden (AIIS, o. J.; Turku University of applied science, o. J.). Am Projekt beteiligt sind fünf Universitäten aus Belgien, Finnland, Griechenland und Spanien sowie die Unternehmen *GoDataDriven* (IT und Data Science), *ciber* (biomedizinisches Forschungszentrum) und *meus* (Projektentwicklung und -management) (AIIS, o. J.). In einem ersten Arbeitspaket sollen Trainingsmethoden, KI und Soft Skills im Medizinstudium der europäischen Hochschulen erforscht, weiterer Bedarf abgeklärt und AIIS-Kompetenzleitlinien geschaffen werden. Bis September 2022 wird die Gestaltung eines innovativen Lehrprogramms mit Materialdesign und kollaborativer Lernplattform geplant. Von April 2022 bis Juli 2023 wird das Team voraussichtlich die Pilotphase des Projekts durchlaufen, mit Ergebnisanalyse im Juli 2023. Ziel ist es, das AIIS-Lernprogramm bis Oktober 2023 an den genannten europäischen Einrichtungen einzuführen (AIIS, o. J.).

Der Blick ins europäische und internationale Ausland zeigt, dass KI-Kompetenzen für Ärzt*innen und deren Vermittlung in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung momentan hoch priorisiert werden. Insbesondere digitale Lernplattformen wie in Finnland oder das EU-Projekt “AIIS – Artificial Intelligence, Innovation & Society, The Future Of Medicine” werden als effektive Mittel zur Kompetenzvermittlung gesehen. In Deutschland wird mit dem KI-Campus momentan ein sehr ähnliches Projekt aufgebaut. Die Vernetzung und der internationale Austausch erscheinen hier besonders wichtig, um das Potential der Lernplattformen für ihre Zielgruppe sowie die Reichweite der Lernangebote zu maximieren.

3.3. Medizinische Weiter- und Fortbildung

3.3.1. Facharztweiterbildungen und Zusatzbezeichnungen

Bei der beruflichen Weiterbildung für Ärzt*innen wird zwischen den Gebietsweiterbildungen, die zum Führen von Facharztbezeichnungen berechtigen (z. B. Facharzt für Allgemeinmedizin), und den Zusatzweiterbildungen unterschieden, welche teilweise eine bestehende Facharztanerkennung voraussetzen. Die (Muster-)Weiterbildungsordnung 2018 in der Fassung vom 12./13.11.2020 der Bundesärztekammer verzeichnet insgesamt 56 Zusatz-Weiterbildungen (beispielsweise “Ärztliches Qualitätsmanagement”, “Naturheilverfahren”, “Diabetologie”) (Bundesärztekammer, 2018).

Lediglich für die Facharztweiterbildung “Biochemie” und die Zusatz-Weiterbildung “Medizinische Informatik” werden dabei Kenntnisse und Kompetenzen in der Informationstechnik gefordert. In keiner Weiterbildung wird der Begriff Künstliche Intelligenz oder Maschinelles Lernen (bzw. Synonyme), der Umgang mit KI-Anwendungen oder Methoden des maschinellen Lernens explizit genannt. Die Kurzbeschreibung der Zusatz-Weiterbildung “Medizinische Informatik” (“Die Zusatz-Weiterbildung Medizinische Informatik umfasst die systematische Verarbeitung von Informationen in der Medizin durch die Modellierung und Realisierung von informationsverarbeitenden Systemen”) sowie die Themenbereiche, in denen Kenntnisse und Kompetenzen abverlangt werden, könnten implizit KI-spezifische Inhalte umfassen, wie z. B. Verfahren zur Auswertung von Bild- und Biosignaldaten und Entscheidungsunterstützung im Bereich der Präzisionsmedizin.

Insgesamt ist die Zusatz-Weiterbildung Medizinische Informatik mehr auf die Gewinnung und das Kuratieren von Datensätzen (datenschutzkonform und interoperabel) aus unterschiedlichen Quellen sowie dem Verständnis von IT-Netzwerken und Anwendungen in der klinischen Praxis und Forschung ausgerichtet, als auf potenzielle Einsatzgebiete von künstlicher Intelligenz oder Entwicklung von IT-Anwendungen (Bundesärztekammer, 2018).

Der Europäische Fachärzt*innenverband UEMS (Union Européenne des Médecins Spécialistes) teilte uns mit, dass geplant sei, im Laufe des Jahres ein Positionspapier zur möglichen Implementierung von KI-Kompetenzen in die fachärztlichen Curricula zu veröffentlichen.

3.3.2. Fortbildungen von Ärztekammern und Kassenärztlichen Vereinigungen

Alle 17 Landesärztekammern (LÄKn) wurden von uns um Auskunft gebeten, ob sie derzeit Fortbildungen mit KI-Bezug anbieten oder planen und wenn ja, welche. Hierbei wurden explizit nur von der LÄK (oder ihrer Fortbildungsakademie) selbst konzipierte Angebote berücksichtigt, nicht Angebote Dritter die lediglich durch die LÄK zertifiziert wurden. Vier LÄKn beteiligten sich nicht an der Befragung, wir konnten deren Fortbildungsangebote jedoch aus öffentlich verfügbaren Quellen recherchieren. Sieben LÄKn bieten derzeit Kurse mit KI-Bezug an (Baden-Württemberg, Berlin, Hamburg, Rheinland-Pfalz, Sachsen,

Westfalen-Lippe) (akademie für medizinische Fortbildung, o. J.; Ärztekammer Berlin, o. J.; Ärztekammer Hamburg, o. J.; Landesärztekammer Baden-Württemberg, o. J.; Landesärztekammer Rheinland-Pfalz, o. J.; Sächsische Landesärztekammer, o. J.-a). Dabei bietet nur die LÄK Westfalen-Lippe (2) mehr als einen eigenen Kurs an.

Das Curriculum "Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik" (Bundesärztekammer, 2019) der Bundesärztekammer ist ein Muster für die Erstellung von Kursen im Themenfeld der Digitalen Medizin und gibt entsprechend Lernziele für die zu erwerbenden digitalen Kompetenzen vor. Auch KI findet in diesem Curriculum explizit Erwähnung: Ärzt*innen sollten eine Haltung zum Umgang mit KI entwickeln, so die Formulierung eines Lernziels. Darüber hinaus werden beispielhafte Anwendungsfälle von KI in der Medizin erwähnt (z. B. wissensbasierte Assistenzsysteme auf Grundlage von neuronalen Netzen). Die Berliner Ärztekammer und die LÄK Baden-Württemberg setzen das Curriculum der BÄK (Ärztekammer Berlin, o. J.; Landesärztekammer Baden-Württemberg, o. J.) bereits regelmäßig um. Auch die Sächsische LÄK hat ein Angebot (Sächsische Landesärztekammer, o. J.-b) konzipiert, dass sogar über die Inhalte des BÄK Curriculums hinausgeht: die Kammer erarbeitete gemeinsam mit Studierenden der Medizin und der Informatik, sowie Lehrenden der Medizinischen Fakultät der TU Dresden ein dreiteiliges Fortbildungskonzept. Dabei steht zu Beginn die Vermittlung der technischen und theoretischen Grundlagen, gefolgt von Vertiefungen der Themenkomplexe Human Interface und Robotics sowie Machine Learning und Data Science inklusive praktischer Anwendung und interdisziplinärer Erarbeitung von Konzepten und Lösungen. Am Schluss sieht das Konzept zwei Perspektivtage vor, im Rahmen derer interdisziplinär diskutiert und die erarbeiteten Themen einander vorgestellt werden. Auch Hands-On Erfahrung mit digitalen Gesundheitstechnologien sieht das Curriculum vor. Das Angebot konnte aufgrund der COVID-19 Pandemie nicht vollständig durchgeführt werden, soll jedoch perspektivisch regelmäßig stattfinden.

Drei LÄKn planen laut unserer Erhebung derzeit weitere Angebote zur Vermittlung von KI-Kompetenzen (Baden-Württemberg, Nordrhein, Sachsen). Mehrere der LÄKn, die sich an der Befragung beteiligten (7/13), meldeten hingegen zurück, KI-bezogene Fortbildungsangebote würden derzeit nicht geplant. Wir konnten zudem keine KI-bezogene CME-Fortbildung identifizieren, welche von der Kassenärztlichen Vereinigung oder der Kassenärztlichen Bundesvereinigung angeboten wird.

3.3.3. CME-akkreditierte Kurse in der Fortbildungssuche der Bundesärztekammer

In der bundesweiten Fortbildungssuche der Bundesärztekammer, die CME-Fortbildungen in ganz Deutschland von verschiedenen Anbietern umfasst, ließen sich im Mai und Juni 2021 aus insgesamt 87.136 CME-zertifizierten Fortbildungskursen 30 identifizieren, die im Veranstaltungstitel einen Bezug zu Künstlicher Intelligenz aufwiesen. Nur bei einer Minderheit war eine Inhaltsbeschreibung vorhanden oder verlinkt, sodass sich Aussagen zu den Kursinhalten nur grob schätzen lassen.

Die überwiegende Mehrheit der CME-Kurse waren Vortragsveranstaltungen (16/30) oder Print- bzw. Digital-Print-Materialien (11/30) zum selbständigen Durcharbeiten. Die drei übrigen Angebote sind zugleich auch die einzigen Angebote mit größerem Umfang, d.h. sie werden mit mehr als 3 CME-Fortbildungspunkten angerechnet: diese waren ein Workshop zu Roboter-assistierter Ösophaguschirurgie (20 CME-Punkte), Module zur Künstlichen Intelligenz in der Gesundheitsversorgung des Masterstudiengangs Digital Health Management der SRH Fernhochschule – The Mobile University, die auch als CME-Punkte anrechenbar sind (150 Punkte), und ein Modul des Studiengangs Biomedizinische Informatik und Data Science der Hochschule Mannheim zu Künstlicher Intelligenz, welches mit 12 CME-Punkten zertifiziert ist.

Die meisten der identifizierten CME-Fortbildungen (23/30) waren dabei fachspezifisch, d.h. richteten sich an Ärzt*innen eines bestimmten Fachgebiets. Nur selten wurden Grundlagen von Künstlicher Intelligenz explizit adressiert (z. B. im CME-Kurs „Wie funktioniert künstliche Intelligenz“ der Ärztekammer Nordrhein), zumeist handelt es sich um Übersichtsvorträge über KI-Anwendungsfelder in bestimmten Gebieten („Künstliche Intelligenz in der Chirurgie“) oder Vorträge zu spezifischen KI-gestützten Anwendungen („Koloskopie und KI (Künstliche Intelligenz)“). Soweit es sich erschließen lässt, setzen bzw. setzte keines der Angebote Wissen zum Thema Künstlicher Intelligenz voraus und waren entsprechend alle auf einem „Einsteiger-Level“ gehalten.

3.3.4. Fortbildungen der Fachgesellschaften

Aufgrund der geringen Datenlage erwies sich eine empirische Analyse als nicht repräsentativ. Dennoch soll mit der Deutschen Röntgengesellschaft ein Beispiel für die erfolgreiche Implementierung von KI-Kompetenzen in die fachliche Weiterbildung herausgestellt werden. Im Rahmen der dortigen Fortbildungen wird bereits seit mehreren Jahren verstärkt auf Webinare und Live-Kurse u. a. zur praktischen Anwendung von KI-Applikationen in der Radiologie gesetzt. Auch die Vermittlung von Grundlegenden Konzepten der KI und ELSI nimmt einen hohen Stellenwert ein. Im letzten Jahr absolvierten nach Angaben der Gesellschaft 20.000 Ärzt*innen erfolgreich mindestens einen angebotenen CME-Kurs mit KI-Bezug. Der diesjährige digitale Röntgenkongress mit dem Titel „Intelligenz vernetzen“ (Röntgenkongress, 2021) stellt die Kondensation dieser Bemühungen dar. Die Röntgengesellschaft bietet nach eigenen Angaben 40 KI-bezogene Fortbildungen an – inhaltlich reichen die Angebote (v.a. Workshops und Vorträge) von der Vermittlung von Grundlagen („Künstliche Intelligenz: Von den Grundlagen zur Integrierten Diagnostik“) bis zur konkreten Anwendung in der klinischen Praxis („Praktische Anwendung der KI in der Mammadiagnostik“) und widmen sich darüber hinaus auch dem strukturellen Wandel, der durch die Einflüsse von KI entsteht („Intelligenz vernetzen – Radiologie der Zukunft in Deutschland“).

3.3.5. Innovative Praxisbeispiele

Um die ärztliche Fort- und Weiterbildung auf die Herausforderungen der Zukunft ideal vorzubereiten, bedarf es innovativer und kreativer Modelle zur Kompetenzvermittlung. Auf der Suche nach Ideen für mögliche Lösungsstrategien lohnt sich dabei ganz besonders auch ein Blick in das europäische Ausland. In einer Vielzahl der europäischen Mitgliedsstaaten wird bereits mit Nachdruck an der Verankerung von digitalen Fertigkeiten, auch in Bezug auf künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen, in der Fort- und Weiterbildung der Gesundheits- und Heilberufe gearbeitet.

Die im folgenden vorgestellten Programme zeigen dabei exemplarisch, wie sich die Vermittlung von digitalen Kompetenzen nicht nur erfolgreich in die Fort- und Weiterbildung der unterschiedlichen Gesundheitsberufe integrieren lässt, sondern wie langfristige und nachhaltige Strategien für die Implementierung von datengesteuerten Technologien (z. B. maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz) in das Gesundheitssystem aussehen können, sodass diese in der Bereitstellung von Gesundheit und Pflege zukünftig verstärkter eingesetzt werden können.

Die Auswahl beruht dabei einerseits auf dem herausragenden Ansatz des jeweiligen Programmes zur Vermittlung von Kompetenzen in Bezug auf KI und maschinelles Lernen in der ärztlichen Fort- und Weiterbildung. Zudem wurden die Programme aufgrund der besonderen inhaltlichen Ausrichtung auf künstliche Intelligenz und verwandte Themen ausgewählt.

Mit Ganzheitlichkeit zur Transformation

Das *Digital Readiness Programme* des NHS ist das Ergebnis jahrelanger Bemühungen zur Stärkung der Arbeit in einer digitalen Umgebung. Es fußt auf Bemühungen in sechs Arbeitsfeldern, mit dem Ziel der Verbesserung der digitalen Fertigkeiten, des Wissens, des Verständnisses und des Bewusstseins der Mitarbeitenden im Gesundheits- und Sozialwesen in Bezug auf Digitale Medizin. Im Mittelpunkt stehen dabei drei Elemente: Eine digitalisierungsfreundliche Organisationskultur – das Einbeziehen aller relevanten Akteure, Fähigkeiten – die Verbesserung und Ausweitung der digitalen Kompetenz für alle und Werkzeuge – unter der Leitung der Kohorte der Digitalexpert*innen des NHS. Bemerkenswert ist dabei die Bandbreite der angesprochenen Akteure: Von der obersten Führungsebene bis zur Sozialarbeiter*in sollen alle mit in den Transformationsprozess integriert werden. Mit der *NHS Digital Academy* wurde darüber hinaus noch ein zentraler Ort für eine ideale Fort- und Weiterbildung der digitalisierten Belegschaft geschaffen (Health Education England, o. J.-a).

Im Vereinigten Königreich verfolgt **Health Education England (HEE)** im Auftrag des NHS^x einen holistischen Ansatz. Das Projekt NHS^x, einer Kooperation des britischen Ministeriums für Gesundheit und Soziales, dem National Health Service (NHS) England und NHS Improvements, soll die digitale Transformation des Gesundheits- und Sozialwesens vorantreiben. Dem von HEE und NHS^x gemeinsam aufgelegten **Digital Readiness Programme** wird zugrunde gelegt, dass für eine erfolgreiche Digitalisierung des Gesundheitssystems, sowohl Einzelpersonen als auch Ökosysteme, wie z. B. Krankenhäuser, in ihrer Gesamtheit digital motiviert und digital fähig sein müssen. Zentrale Bestandteile sind dabei zum einen die Konzentrierung der digitalen Fort- und Weiterbildung in Form der *NHS Digital Academy* sowie das *Digital Fellowship Programme*.

Zeit für digitale Gesundheitstransformation und Innovationen

Die Grundlage des zwölfmonatigen *Topol Digital Fellowship Programme* ist die Finanzierung von geschützter Zeit, um den Stipendiat*innen die Forschungsarbeit an ihrem persönlichen digitalen Transformationsprojekt zu ermöglichen. Um die Gestaltung und Durchführung der Projekte bestmöglich zu unterstützen, werden Vorträge von Praktiker*innen, Community Drop-In-Sessions, Workshops zu Themen wie Design Thinking und agilen Methoden oder Onlinekurse zu Machine Learning und Datenverarbeitung angeboten. Das Programm steht allen Gesundheitsfachleuten, von Gesundheits- und Krankenpfleger*innen bis zu Pharmazeut*innen offen und besticht durch den Fokus auf die Akkumulation von eigenen Daten und der Entwicklung der Fähigkeiten, die zur Nutzbarmachung von Daten bei der Gestaltung von Dienstleistungen notwendig sind (Health Education England, o. J.-b).

Das in der Beispiel-Box benannten *Fellowship Programm* folgt einem ähnlichen Gedankengang wie die beiden deutschen **Digital Clinician Scientist Programme** (Berlin Institute of Health, o. J.; Universität Bielefeld, o. J.): Forschungsinteressierte Ärzt*innen können ihre Methodenkompetenzen v.a. in Bezug auf KI vertiefen und konsekutiv in einem innovativen (Forschungs-)Projekt anwenden. Mit der klaren Positionierung als gleichberechtigter Teil des ärztlichen Arbeitens, verzahnt mit der fachärztlichen Weiterbildung und der akademischen Karriere, verwandelt sich die Teilhabe am digitalen Wandel so in einen konkreten und planbaren Karriereweg.

Zeit für digitale Wissenschaft

Die *Digital Clinician Scientist Programme* an der Charité-Universitätsmedizin Berlin sowie der Universität Bielefeld zeigen, wie sich Interesse an innovativen Forschungsprojekten, welche sich technologischen Herausforderungen der datengesteuerten Medizin widmen, mit der Fortführung der fachärztlichen Weiterbildung sinnvoll in Einklang bringen lassen. Es besteht die Möglichkeit auf eine bis zu dreijähriger Förderung, die ein zusätzliches Mentoring und z. T. Module zum Erwerb wissenschaftlicher Kompetenzen auf den Feldern Big Data, Bioinformatik oder künstlicher Intelligenz beinhaltet. Durch die so geschaffene geschützte Forschungszeit von 50 Prozent, ergeben sich neue Handlungsräume für die effiziente und fokussierte Weiterqualifizierung exzellenter Ärzt*innen.

Auch Finnland etablierte ein **nationales Qualifizierungsprogramm** zur Vorbereitung des medizinischen Fachpersonals auf die Herausforderungen durch Digitalisierung und KI. In dem mindestens zweijährigen Programm werden Mediziner*innen die notwendigen theoretischen und praktischen Kompetenzen im Umgang mit neuen Gesundheitstechnologien vermittelt (Reponen, 2017; Terveidenhuollon tietotekniikka, o. J.).

In den USA stellt der *National Coordinator for Health Information Technology* im Rahmen des **Workforce Development Programs Health IT** ein Konzept und Materialien für digitale Kompetenzbildung und Fortbildung im Bereich der Gesundheits-IT für Lehrende zur Verfügung. Es werden Module zu allen in dieser Studie betrachteten inhaltlichen Schwerpunkten angeboten, d.h. Grundlagen der KI (z. B. *“Introduction to Health Care Data Analytics”, “Databases and SQL”*) ML-Verfahren (z. B. *“Machine Learning and Natural Language Processing”*) und Themen rund um KI (z. B. *“People and Technology, Studies of Technology”, “Patient Engagement and the ePatient”, “Software Certification and Regulation”*) angeboten (HealthIT.gov, o. J.).

Einen etwas anderen Ansatz als die bisher erwähnten Programme verfolgen sog. **Hochschulzertifikate**. Zu nennen sind hierbei die berufsbegleitenden Zertifikate der Universität Bern oder der Hochschule Mannheim, die fachspezifisches Wissen mittels Blended-Learning vermitteln. Dies ermöglicht, dass eine breite Masse an medizinischem Fachpersonal sich zu Themen der KI individuell im Umfang von Einzel- bis hin zur Kombination mehrerer Module im Sinne eines CAS (Certificate of Advanced Studies) oder DAS (Diploma of Advanced Studies) weiterbilden kann. In Mannheim kann durch den kumulativen Erwerb der Hochschulzertifikate zudem der entsprechende Masterabschluss angestrebt werden. Einzige Hürde sind hierbei die mit den Zertifikaten verbundenen Kosten.

KI-Upgrade im Beruf

Der zweisemestriges Zertifikatskurs *Artificial Intelligence in Medical Imaging* der Universität Bern führt zur Erteilung eines *Certificate of Advanced Studies* im Umfang von 15 ECTS (Universität Bern et al., o. J.). Das Programm bietet berufstätigen Radiolog*innen, die sich für KI interessieren, die Möglichkeit zur vertiefenden Weiterqualifizierung. Mittels Blended-Learning, d.h. einer Wissensvermittlung über eine E-Learning-Plattform in Kombination mit Face-to-Face-Lehrveranstaltungen, wird sowohl ein optimaler Lern- und Wissenstransfer als auch die Vereinbarung mit der Berufstätigkeit unterstützt. Besonders hervorzuheben ist hierbei, dass insbesondere umfassende theoretische Fundamente vermittelt werden, in Begleitung von Expert*innen aus Wissenschaft, Entwicklung, Industrie und der klinischen Praxis. Auch praktische Fertigkeiten im Bereich Data Science und Programmierung werden in einer 10-monatigen Projektarbeit, die durch Expert*innen begleitet wird, vermittelt (sitem-insel AG, o. J.).

3.4. Masterstudiengänge und Summer Schools

3.4.1. Masterstudiengänge

Neben den im vorherigen Abschnitt bereits aufgeführten Zertifikatskursen an Hochschulen gibt es auch die Möglichkeit, direkt einen zusätzlichen Abschluss zu erwerben. In Deutschland existieren derzeit 14 Masterstudiengänge, die sich an Mediziner*innen richten und Künstliche Intelligenz in der Medizin in ihrem Curriculum verankert haben. Deren Curricula wurden anhand der frei verfügbaren Informationen bzw. uns zur Verfügung gestellter Modulhandbücher weiter eigenständig analysiert. Allen Einrichtungen wurden die Ergebnisse unserer Recherche dargelegt. Elf von 14 Einrichtungen bestätigten unsere Ergebnisse, die übrigen meldeten sich nicht (erneut) zurück.

Der überwiegende Anteil (11/14) verleiht einen Master of Science-Abschluss, während zwei Studiengänge Master of Arts (eHealth | Hochschule Flensburg, o. J.; Master Fernstudium Digital Health Management | SRH, o. J.) und ein Studiengang einen MBA verleihen (Hochschule Fresenius, o. J.). Der Umfang der Studiengänge entspricht in den meisten Fällen 90 oder 120 ECTS Punkten, wobei z.T. abhängig von den Vorqualifikationen auch bereits ein Abschluss mit 60 ECTS zu erreichen ist. Fünf Masterstudiengänge werden von privaten Einrichtungen angeboten, zwei weitere von öffentlichen Trägern in Kooperation mit privatrechtlichen Partnern. Die Studiengebühren zwischen den Kursen fallen sehr unterschiedlich aus: während einige Einrichtungen eine Semestergebühr zwischen 62 und 400 erheben, fallen bei anderen Anbietern Studiengebühren von bis zu mehreren Tausend Euro im Semester an (s. Tabelle 2).

Der erste Studiengang wird bereits seit 2007 angeboten ("eHealth" an der Hochschule Flensburg). Allerdings lässt sich nicht nachvollziehen, ob KI bereits damals im Curriculum enthalten war. Mehr als drei Viertel (11/14) der einschlägigen Masterstudiengänge wurden hingegen 2020 oder 2021 etabliert. Sechs Studiengänge richten sich spezifisch an Personen mit einem Abschluss und Berufserfahrung im Gesundheitsbereich (Akademische Heilberufe, Medizinische Dokumentar*innen, Medizininformatiker*innen), die übrigen acht zählen auch Bewerber*innen mit Abschlüssen ohne medizinischen Bezug (Mathematik, Informatik) zu ihrer Zielgruppe.

In allen 14 Studiengängen finden sich in den Curricula Ausbildungsinhalte zum Datenmanagement und zur Analyse von Gesundheitsdaten (*Grundlagen der KI*, s.o.). Ebenfalls werden konkrete Anwendungsfälle und KI-Systeme in der Gesundheitsversorgung thematisiert. Nur ca. die Hälfte der Masterstudiengänge vertieft dabei die Methoden und Grundlagen von KI: in sieben von 14 der Studiengänge lernen die Studierenden "hands-on" das Programmieren von KI-Algorithmen und in neun von 14 erhalten sie einen vertieften Einblick in die mathematischen Grundlagen. Die Studiengänge mit einem solchen Schwerpunkt sind zumeist an öffentlichen Einrichtungen angesiedelt, während die Studiengänge der privaten Einrichtungen eher einen Management-Schwerpunkt setzen.

Der überwiegende Anteil (12/14) thematisiert ethische, rechtliche und soziale Aspekte (ELSI) von KI-Anwendungen in der Medizin. Zehn von 14 Studiengängen bieten Inhalte im Bereich des Innovationsmanagements an, beispielsweise zu Themen wie Change Management oder Implementierung neuer digitaler Technologien. Der Bereich Mensch-Maschinen-Interaktion (inkl. Usability, Human Factors) findet im Vergleich zu den anderen inhaltlichen Kategorien am wenigsten Berücksichtigung. In sechs von 14 Curricula der Masterstudiengänge konnten wir hierzu Inhalte in unserer Recherche ausfindig machen.

Tabelle 2: Übersicht über Master-Studiengänge in Deutschland mit Lerninhalten im Themenbereich KI und Medizin, die sich explizit auch an Gesundheitsberufe richten. Genaue Informationen finden sich auf den Homepages der jeweiligen Einrichtungen; die Studienkosten schätzen die Mindestkosten, die bei Absolvierung des Studiengangs in Regelstudienzeit anfallen. Diese Schätzung erfolgt ohne Gewähr.

EINRICHTUNG	STUDIENGANG	STUDIENBEDINGUNGEN	ERSTMALIGES ANGEBOT
Friedrich-Schiller-Universität Jena (in Kooperation mit Universitätsklinikum Jena)	eHealth and Communication (M.Sc.), 60 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca.: 13.000 Euro	2021
Hasso Plattner Institut an der Universität Potsdam (Digital Engineering Fakultät der öffentlichen Universität Potsdam)	Digital Health (M.Sc.), 120 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 1.300 Euro; 30 Studierende pro Jahrgang.	2018
Hochschule Flensburg	eHealth (M.A.), 120 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 800 Euro.	2007
Hochschule Fresenius	Digital Healthcare Management (MBA), 90 ECTS	Vollzeitstudium, Teilzeit möglich, Kosten ca. 11.000 Euro.	2020
Hochschule Mannheim (Kooperationspartner: Miracum, Graduate School Rhein-Neckar gGmbH)	Biomedizinische Informatik und Data Science (M.Sc.), 90 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 17.000 Euro.	2020
Medical School Berlin - University of Applied Sciences	Digital Health Management (M.Sc.), 120 ECTS	Vollzeitstudium, Teilzeit möglich, Kosten ca. 14.000-16.000 Euro.	2021
Medical School Hamburg - University of Applied Sciences and Medical University	Digital Health Management (M.Sc.), 120 ECTS	Vollzeitstudium, Teilzeit möglich, Kosten ca. 15.000-17.000 Euro	2021
Medizinische Hochschule Hannover	Biomedizinische Datenwissenschaft (M.Sc.), 120 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 1.600 Euro.	2021
Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH	Digitalisierung im Gesundheitswesen (M.Sc.), 90 ECTS (+ 30 falls 2-jährige Berufstätigkeit im Vorfeld des Studienbeginns nachgewiesen werden können)	Vollzeitstudium, Kosten ca. 15.000 Euro	2021
RWTH Aachen	Medical Data Science (M.Sc.), 90 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 28.000 Euro.	2020
SRH Fernhochschule - The Mobile University	Digital Health Management (M.A.), 60/ 90/ 120 ECTS (je nach Vorqualifikation und bereits erworbener ECTS)	Vollzeitstudium, Kosten ca. 12.000 Euro.	2021
Technische Hochschule Deggendorf/ European Campus Rottal-Inn, Pfarrkirchen	Digital Health (ehemals Medical Informatics) (M.Sc.), 90 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 200 Euro.	2021
Technische Hochschule Mittelhessen	Digitale Medizin mit Schwerpunkt "Angewandte Medizinische Wissenschaften", 120 ECTS	Vollzeitstudium, Kosten ca. 1.200 Euro.	2019
Universität Leipzig	Medizininformatik (M.Sc.), 120 ECTS	Vollzeitstudium, Teilzeit möglich, Kosten ca. 1000 Euro.	2021

3.4.2. Summer Schools

Eine Summer School oder Sommerakademie soll in diesem Kontext als ein durch eine akademische Einrichtung angebotener Präsenz-Bildungskurs zu einer bestimmten Thematik verstanden werden, der während des Sommers durchgeführt wird (es gibt aber ggf. auch entsprechende, Autumn, Spring oder Winter Schools...) und bei dem die Teilnehmer*innen in der Regel an dem Ort, an dem die Summer School abgehalten wird, übernachten (Collins Wörterbuch, o. J.). Summer Schools dienen zur Fortbildung, ohne dass dabei ein Abschluss angestrebt wird, und richten sich an Schüler*innen, Studierende oder wissenschaftliche Mitarbeiter*innen.

Bei der systematischen Internetrecherche wurden 16 Summer Schools mit dem Themenschwerpunkt KI in der Medizin innerhalb Europas identifiziert. Die Summer Schools wurden anhand der Ein- und Ausschlusskriterien beurteilt, die auch für die Auswahl der MOOCs maßgeblich waren (s. Tabelle 3, Abschnitt: Digitale Formate). Lehrformate der Summer Schools sind vor allem Vorträge, Projekt- bzw. Gruppenarbeiten, und/oder Frontalunterricht. Es wurden nur deutsch- und englischsprachige Angebote berücksichtigt. Die Dauer der Summer Schools erstreckte sich von 3 bis 20 Tagen (Median = 5). Die Summer Schools werden in ganz Europa meist regelmäßig an unterschiedlichen Orten organisiert. Aufgrund der COVID-19 Pandemie 2020 und 2021 fiel ein Großteil der Summer Schools aus, 4 von 16 berücksichtigten Summer Schools wurden online abgehalten. Um das Angebot besser einschätzen zu können, wurden auch aus den vorherigen Jahren (ab 2016) Angebote bei der Suche berücksichtigt. Die Anbieter sind öffentliche Universitäten (6/16), öffentliche Forschungsinstitute (5/16) und sonstige Anbieter, z. B. der French Health Data Hub (5/16) (AI4Health – School, o. J.). Die Angebote der Summer Schools sind in der Regel auf eine bestimmte Anzahl von Teilnehmer*innen beschränkt und kostenpflichtig.

Inhaltlich wird das Programmieren und Anwenden von Machine Learning Algorithmen gelehrt. In Abbildung 13 werden die inhaltlichen Schwerpunkte der in diese Studie eingeschlossenen Summer Schools dargestellt. Die meisten Summer Schools (15/16) lehren spezifische Verfahren des Machine Learnings, wie beispielsweise Deep Learning oder Convolutional Neural Networks. 14/16 behandeln anwendungsspezifische Aspekte von KI, 13 von 16 Kursen behandeln das Programmieren von ML-Algorithmen.

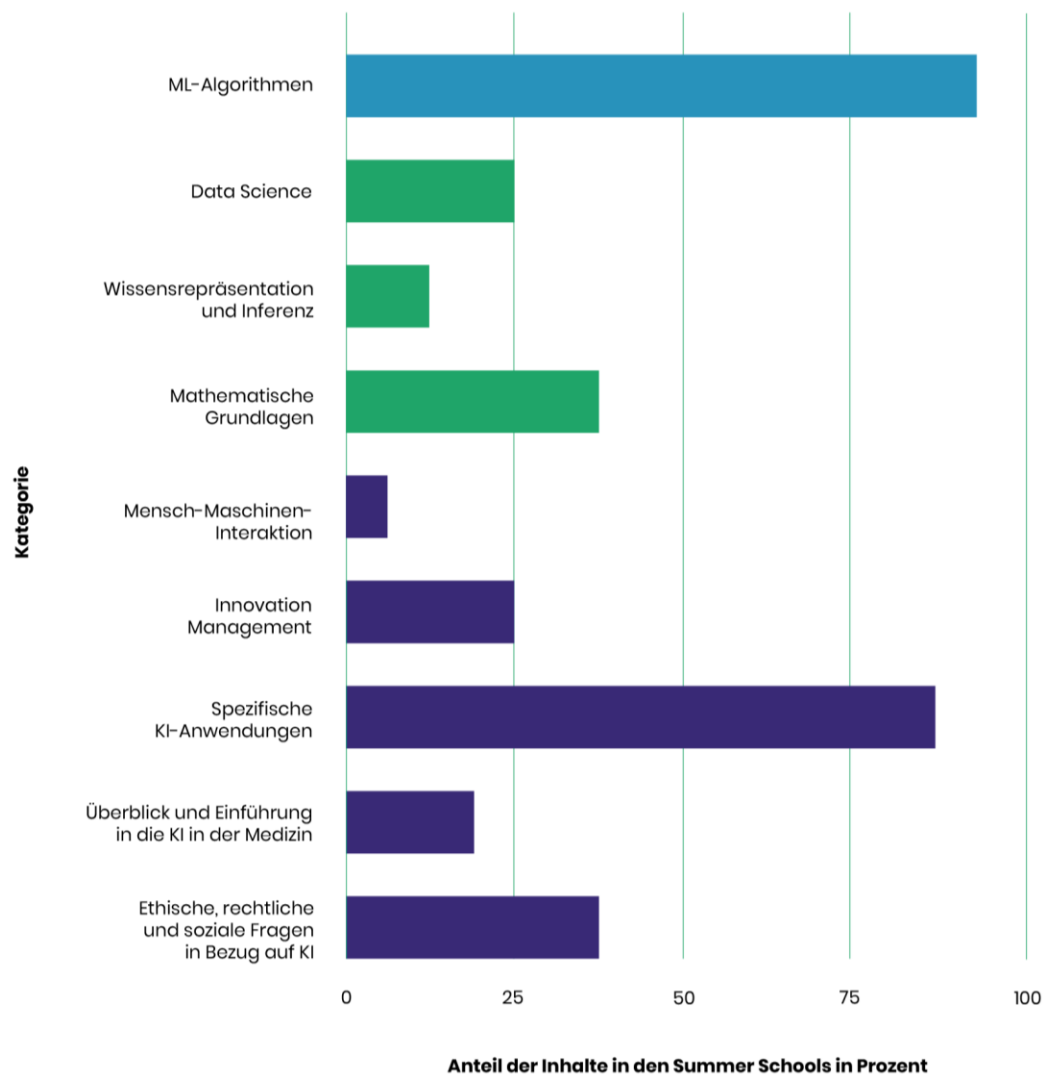


Abbildung 13: Anteile Inhaltlicher Kategorien der Summer Schools zum Thema KI in der Medizin. Die Kategorien sind aufgeschlüsselt in Machine Learning (blau); Grundlagen der KI (grün); Themen rund um KI (lila).

3.5. Digitale Formate

Die Bandbreite möglicher digitaler Formate ist im Bildungsbereich äußerst heterogen (vgl. auch S. 12ff.). Dies gilt auch für den Bereich des Medizinstudiums sowie im Kontext der medizinischen Fort- und Weiterbildung. Es gibt digitale Formate, bei denen für Lernende die Zielsetzung des Informations- und Wissenserwerbs im Vordergrund steht, didaktisierte digitale Formate mit der Zielsetzung des Kompetenzerwerbs sowie digitale Formate mit der Zielsetzung der Qualifizierung und des Zertifikatserwerbs. Die Angebote sind auf verschiedensten digitalen Plattformen zu finden und weisen einen differenten Grad der Strukturierung, Didaktisierung und des zeitlichen Umfangs auf.

3.5.1. Digitale Wissensdatenbanken & Micro-Formate

Digitale Wissensdatenbanken sind für den Kontext dieser Studie digitale Verzeichnisse, die zum gezielten Informations- und Wissensabruf (z. B. als Nachschlagewerk), aber auch zum Selbststudium konzipiert sind und eine Sammlung expliziten Wissens darstellen (Irniger, 2020). Sie enthalten Datenbankeinträge, Artikel, wissenschaftliche Publikationen sowie konsolidierte medizinische Leitlinien, um für die jeweilige Situation evidenzbasierte Handlungsempfehlungen und Fachwissen strukturiert darzustellen. Inhalte von digitalen Wissensdatenbanken sind Micro-Formate, die medial vielfältige Formen annehmen können (z. B. Texte, Bilder, Videos, Audiodateien, etc.), aber nicht didaktisiert sind. Wissensdatenbanken weisen gleichzeitig immer öfter auch bereits Überschneidungen zu Lernplattformen auf und bieten neben Informationen auch Lernangebote oder umfassende Trainings an.

Amboss, *Dynamed*, *up2date*, *ScholarRX*, *Thieme* und *Via medici* wurden in die Studie als digitale Wissensdatenbanken der klinischen Medizin eingeschlossen. In den genannten Wissensdatenbanken kommen keine Einträge vor, die Fragestellungen zu KI behandeln. Sowohl bei *Amboss* als auch bei *ScholarRX* sind auf Nachfrage laut eigener Angabe Angebote zum Thema KI lediglich in Planung (siehe Abschnitt zu Micro-Lernformaten). In den analysierten Wissensdatenbanken finden sich oft jedoch bereits Einträge, die klinische KI-Anwendungen erwähnen oder die dazugehörige Studienlage diskutieren. Beispielsweise beinhaltet der Eintrag zum Melanom (schwarzer Hautkrebs) in der Wissensdatenbank *Dynamed* mehrere Studien darüber, dass es Deep-Learning-Algorithmen konsistent zuverlässiger gelingt, Melanome zu diagnostizieren als klinischen Expert*innen. Ergänzt wurde der Eintrag durch eine Zusammenfassung dazu, welche Limitationen diese Algorithmen aber auch die entsprechenden Studien haben (Swetter & Geller, 2021).

Andere Artikel enthalten Ausführungen dazu, welche Fortschritte durch Methoden des Maschinellen Lernens zu erwarten sind, z. B. in der Vorhersage von Komplikationen auf der Intensivstation, wenn KI-Modelle Echtzeitdaten des Patientenmonitorings analysieren (Kelley, 2021). Die Anzahl der Suchergebnisse ist in Tabelle 3 zu sehen. Insbesondere die drei Datenbanken, die sich an klinische Nutzer*innen richten beinhalten Einträge mit KI-Bezug.

Tabelle 3: Ergebnis der Recherche zu Einträgen mit KI-Bezug auf digitalen Wissensdatenbanken (Anzahl der Nennungen)

	AMBOSS	DYNAMED	UPTODATE	THIEME	SCHOLARX	VIA MEDICI
BIG DATA	2	2	2	10	0	0
ARTIFICIAL INTELLIGENCE	1	10	14	20	0	1
MACHINE LEARNING	0	2	14	17	0	0
ROBOTICS	1	82	9	2	0	0

3.5.2. Micro-Lernformate

Bei Micro-Lernformaten handelt es sich um eine große Vielfalt an kleineren, oft niedrigschwelligen Lernangeboten zur flexiblen Auseinandersetzung mit bestimmten Themeninteressen (Baumgartner, 2013). Diese unterscheiden sich von einfachen Formaten wie Artikeln, Studien oder rein informativen Videos durch ihre stärkere Orientierung am Lernprozess bzw. Kompetenzerwerb (vgl. Tabelle 1). Besonders an Bedeutung gewonnen haben in den letzten Jahren etwa Lernvideos, die über Video-Plattformen einer großen Zielgruppe zur Verfügung gestellt werden können. Aber auch Podcasts haben spätestens seit der COVID-19-Pandemie zunehmend Aufmerksamkeit erhalten. Weitere relevante Formate sind etwa Simulationen, Programmieraufgaben und Quiz, die als (offene) Bildungsressourcen bedarfsspezifisch durch Lernende oder Lehrende für ihre individuellen Lehr- und Lernprozesse genutzt werden können.

Der Bereich der Micro-Lernformate weist eine hohe Vielfalt in Gestaltung und Design auf, wobei bislang ein eher geringes Maß der Standardisierung vorherrscht. Bei der Bearbeitung spielen Aspekte wie Zeit, Raum und Sozialform eine zentrale Rolle, da sie das Szenario bilden, in dem der Lernprozess stattfindet. Die Auseinandersetzung mit den Inhalten kann beispielsweise asynchron und selbstgesteuert auf einer Videoplattform oder im Ökosystem einer Lernplattform oder auch eingebettet in ein übergreifendes synchrones Lernsetting erfolgen (Baumgartner, 2013). Es kann sich um rezeptive oder interaktive/produktive Formate handeln, die individuell oder kollaborativ bearbeitet werden können. Der modulare, eigenständige Charakter der Micro-Lernformate sowie damit verbundener möglicher Bearbeitungsszenarios ermöglicht vielfach auch eine bedarfsorientierte Kombination der Elemente zu größeren, übergreifenden Lehr-/Lernszenarien.

Bei den zuvor bereits analysierten Wissensdatenbanken sind relevante Entwicklungen besonders bei zwei Plattformen zu identifizieren. *Amboss* plant neue digitale Lernangebote u. a. in Form von Podcasts, bei *ScholarRX* werden derzeit zwölf interaktive Lerneinheiten gemeinsam mit internationalen Medizinstudierenden und Expert*innen der World Health Organization (WHO) konzipiert, in denen zukünftig alle von uns definierten Themen "rund um KI", sowie Grundlagen der KI vermittelt werden sollen. Diese "Bricks" würden ab Herbst 2021 kostenlos zur Verfügung stehen (ScholarRx, o. J.).

Auch der KI-Campus legt einen besonderen Schwerpunkt auf die Vielfalt seiner Formate und die Integration von Micro-Lernformaten. Die Podcastreihe **Dr. med. KI**, die von der Charité und dem KI-Campus entwickelt wird, bildet ein Beispiel für Micro-Lernformate. Das Angebot bietet Lernenden die Möglichkeit, grundlegendes Wissen und Kompetenzen zu KI in der Medizin auf niedrigschwellige Art und

Weise im eigenen Lerntempo zu erwerben. Gleichzeitig werden einzelne Folgen auch bereits in eine Lehrveranstaltung eingebunden, pilothaft erfolgt dies an der Charité in Seminaren zu KI in der Medizin.

Neben Formaten wie Audio und Video gibt es weitere besonders interaktive Formate, anhand derer sich Lernende explorativ grundlegendes Wissen und Kompetenzen im Bereich KI aneignen können. Das Start-up Imaginary stellt auf der Webseite **I am AI** sogenannte „Explorables“ bereit. Hierbei erhalten Lernende durch kurze Interaktionen und Simulationsumgebungen unmittelbare Einblicke in die Funktionsweise von Algorithmen. Kennzeichnend sind dabei eine kurze Bearbeitungsdauer sowie die Möglichkeit, die Learning Nuggets in ein Lehr-/Lernsetting einzubinden.

3.5.3. Online-Kurse und Massive Open Online Courses (MOOCs)

Bei der Bezeichnung „Online-Kurs“ handelt es sich um keinen klar abgrenzbaren Sammelbegriff im Bereich des digitalen Lernens. Kennzeichnend für das Format, insbesondere im Vergleich zu Micro-Lernformaten (vgl. Tabelle 3), ist ein höherer Workload, der auf der vertieften Auseinandersetzung der Lernenden mit einer Thematik beruht (Rampelt et al., 2018; Schmid et al., 2018). Die inhaltliche Aufarbeitung eines Themas kann in Online-Kursen im Hinblick auf Methodik und die Verwendung von Medien und Formaten in sehr unterschiedlicher Form erfolgen. Es findet sich hierbei ein breites Spektrum an Kurstypen, die von der Sammlung kurzer Videolectures bis hin zu didaktisch ausgearbeiteten digitalen Kursen bestehend aus verschiedenen Formaten und Aufgabentypen reichen kann. Online-Kurse werden bspw. im Rahmen innerbetrieblicher Fortbildungen kleinen Gruppen zugänglich gemacht, sie können gleichzeitig durch die Bereitstellung auf öffentlichen Lernplattformen sehr hohe Lernendenzahlen erreichen. Lernangebote dieser Art können sowohl ein festes Start- und Enddatum besitzen als auch vollkommen selbstgesteuert von Lernenden absolviert werden.

Ein Massive Open Online Course (MOOC) soll eine möglichst große Anzahl an Lernenden erreichen. Es handelt sich dabei um einen „meist offen zugängliche[n] Kurs im Internet (im Regelfall ohne Teilnehmendenbeschränkung), in dem unterschiedliche Formate kombiniert werden können. Mit offen ist nicht notwendigerweise kostenfrei gemeint, sondern frei ohne Zugangsbeschränkung oder Zugangsvoraussetzung.“ (Rampelt et al., 2018; Schmid et al., 2018). Ein Beispiel für einen sehr erfolgreichen einführenden MOOC zum Thema KI stellt der von der Universität Helsinki und der Reaktor Group entwickelte Kurs **Elements of AI** dar, der seit seiner Einführung 2018 bereits mehr als 700.000 Teilnehmende erreicht hat. MOOCs können sich stark hinsichtlich zentraler Kriterien wie Instruktionsdesign, Interaktionsgrad, Workload und Qualität unterscheiden. Hierbei hat sich gezeigt, dass die ursprüngliche Unterscheidung zwischen xMOOCs (nah an klassischen Vorlesungen orientierte Formate) und cMOOCs (offene Formate mit Orientierung auf der individuellen Adaption von Inhalten) zu vereinfachend ist (Conole, 2014). Die zunehmende Diversifizierung der Inhalte, Zielgruppen sowie des Komplexitätsgrades digitaler Ökosysteme, im Rahmen derer die Lernangebote bereitgestellt werden, führt zu einer breiten Vielfalt bei Instruktionsdesign, Formaten, Workload und Qualität.

MOOCs sind eine der bedeutendsten technologischen Entwicklungen in der Hochschulbildung im letzten Jahrzehnt (Deng et al., 2019). Die Kompetenzvermittlung in MOOCs erfolgt über Videos (Video-on-Demand), Lesematerial und/oder Quiz. Oft werden Foren angeboten, in denen die Lehrenden und Lernenden interagieren und/oder zusammenarbeiten können (Technische Universität Chemnitz, o. J.).

Mit Stand Juli 2021 verzeichnet die Übersichts-Plattform Class-Central über 40.000 digitale Lernangebote (4,5 % im Bereich Health und Medicine). Davon werden 16.300 als MOOCs eingestuft (davon 7,8 % im Bereich Health und Medicine). ^{1, 2}

Insgesamt identifizierten wir 29 MOOCs im Themenbereich Künstlicher Intelligenz in der Medizin. Maßgeblich für diese Auswahl sind die in Tabelle 4 aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien. ³ Nur fünf Angebote stammen dabei aus Deutschland. Der Großteil der Formate wird in englischer Sprache angeboten (24/29), nur fünf können in deutscher Sprache abgerufen werden. Drei der deutschen Angebote werden vom KI-Campus angeboten. In Abbildung 14 sind die Anbieter aufgelistet, die die meisten Kurse erstellen, dies sind die *Stanford University*, *KI-Campus* und *DeepLearning.ai*. Weitere Anbieter, die nur mit einem Kurs vertreten waren, wurden unter "sonstige" zusammengefasst: *Taipei Medical University*, *University of Manchester*, *the Medic Portal*, *Harvard University*, *Eduonix Learning Solutions*, *MIT*, *EdX*, *John Hopkins Center*, *EIT Digital*, *edu.opencampus.sh* und das *Hasso-Plattner-Institut*. Knapp ein Drittel der Kurse (8/29) werden über die jeweiligen Webseiten der Kursanbieter selbst angeboten. 21 von 29 Kursen werden auf MOOC-Plattformen angeboten (siehe Abbildung 15). Dies sind Online-Plattformen, die MOOCs kuratieren, jedoch nicht alle der auf der Plattform bereitgestellten Kurse selbst erstellen. *Udemy* und *Coursera* sind hier führende Plattformen mit jeweils drei Kursen im Themenbereich KI in der Medizin. Während die MOOC-Plattformen teilweise bereits als eine zentrale Anlaufstelle für Lernende fungieren, ist ein beträchtlicher Teil der passenden Kurse dort nicht zu finden, sondern "verstreut" im Web.

Tabelle 4: Ein und Ausschlusskriterien bei der systematischen Internetrecherche von MOOCs

Einschlusskriterien für MOOCs	Ausschlusskriterien für MOOCs
✓ theoretische Grundlagen von KI und / oder Machine Learning (Supervised Learning, unsupervised Learning, Random Forest, k-Nearest-Neighbour-Algorithmus (kNN), Support Vector Machine (SVM), künstliche neuronale Netze) und Schnittmenge / Bezug zur Medizin ✓ grundlegende Konzepte der KI (intelligente Agenten, Problemlösen, Entscheidungsfindung, Planung) und Medizin ✓ praktische Anwendung von KI-Technologien, z. B. Klinische Entscheidungshilfen, Symptomchecker ✓ Bilderkennungsapplikationen in der Medizin ✓ ethische, rechtliche und soziale Implikationen der KI in der Medizin (ELSI) ✓ anwendungsspezifische Konzepte und Verfahren von KI in der Medizin (Natural Language Processing (NLP), Bildgebende Verfahren und Computer Vision, Robotik, Mensch-Maschine-Interaktion) ✓ Kurse und Kursmaterialien auf Deutsch oder Englisch	▪ Inhalt sind nur auf KI beziehungsweise Machine Learning oder andere Themen im KI-Bereich (Anwendung, ethische Aspekte, etc) bezogen, ohne Schnittmenge bzw. Bezug zur Medizin ▪ Kurse zielen auf sehr spezifische Inhalte ab, die nur von KI-Expert*innen genutzt werden können ▪ Kurse erfüllen keine hohen Qualitätsstandards ▪ Kurse stehen nicht auf Deutsch oder Englisch zur Verfügung

¹ <https://www.classcentral.com/subject/health> (Stand: Juli 2021)

² <https://www.classcentral.com/report/mooc-stats-2020/> Die Auswahl schließt keine Angebote aus China ein, aufgrund fehlender oder schwer validierbarer Datengrundlage.

³ Eine reine Schlagwortsuche nach „Medicine“ AND „AI“ ohne Berücksichtigung der Ausschlusskriterien würde z. B. auf Class Central auf über 70 Kurse kommen. Dies entspricht jedoch nicht der für diese Studie gewählten Methodik (vgl. Tabelle 4)

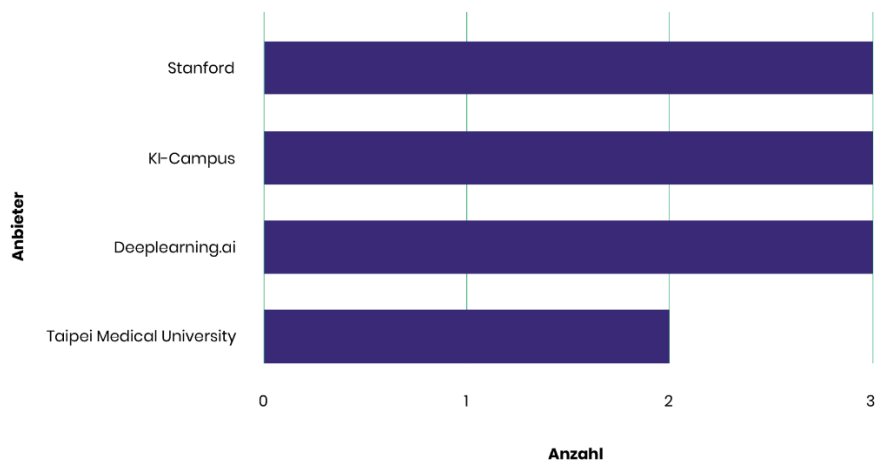


Abbildung 14: Anbieter von MOOCs zum Thema KI in der Medizin.

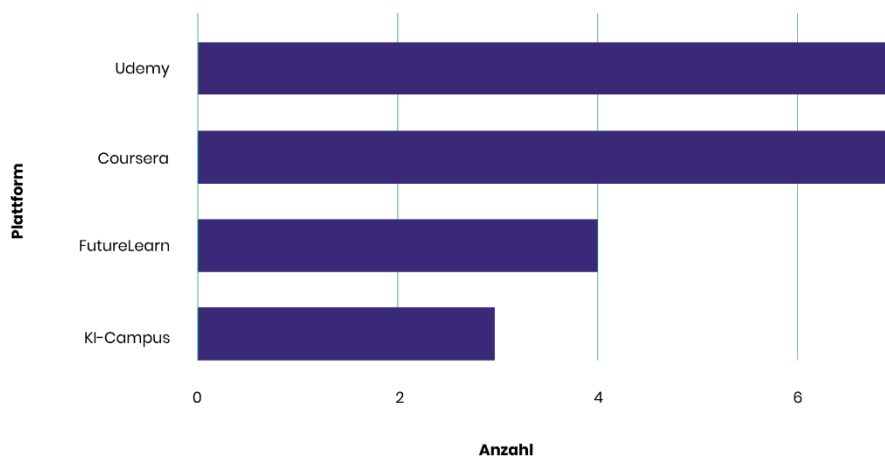


Abbildung 15: Online-Plattformen, die MOOCs bereitstellen und kuratieren

Die Länge des Videomaterials der angebotenen Kurse variiert stark, mit Kursen, die unter einer Stunde dauern, bis hin zu 240 Stunden ⁴ (Median = 10). Zwölf von 29 Kursen sind über mehrere Wochen mit festgelegten Wochenstunden konzipiert, dabei erstreckten sich die Kurse von zwei bis 16 Wochen mit durchschnittlich vier Stunden pro Woche (Median = 4). Sie sind also vereinbar mit einer Hauptbeschäftigung (Studium, ärztliche Tätigkeit). Der Großteil der Kurse (25/29) ist asynchron, d. h. das Lerntempo kann selbst bestimmt werden. Vier MOOCs haben feste Startzeitpunkte und ein vorgegebenes Lerntempo (synchrone Kurse). Nach Bestehen des Kurses kann bei 22 von 29 Kursen ein Zertifikat zum Leistungsnachweis erworben werden. Dies ist in der Regel bei Kursen möglich, die kostenpflichtig sind (24/29). Die Wissens- und Leistungskontrollen erfolgen über Multiple-Choice Tests, Programmieraufgaben oder Quiz. Bei vier von 29 Online-Kursen (alle vier Kurse von *Coursera*) ist es möglich, sich bei erfolgreichem Abschließen des Kurses durch den Accreditation Council for Continuing Medical Education (ACCME)-zertifizierte Punkte anrechnen zu lassen.

⁴ ca. 1 Stunde. *Artificial Intelligence in Healthcare, Plain & Simple*; ca. 240 Stunden: *AI for Healthcare*, Udacity

In Abbildung 16 ist der Anteil der verschiedenen Inhaltskategorien der Onlinekurse abgebildet. Fast alle (28/29) Kurse enthielten Inhalte zur Anwendung von KI oder anwendungsspezifische Verfahren der KI. 22/29 der Kurse behandelten spezifische ML-Verfahren wie beispielsweise Convolutional Neural Networks oder Support Vector Machines. In 17 von 29 Kursen werden selbst ML-Algorithmen programmiert. Ähnlich den behandelten Inhalten sind auch die benötigten Voraussetzungen zum Belegen eines Kurses sehr unterschiedlich. 13 von 29 Kursen erfordern keine Vorkenntnisse. Bei 10 von 29 Kursen werden grundlegende Programmierkenntnisse vorausgesetzt.

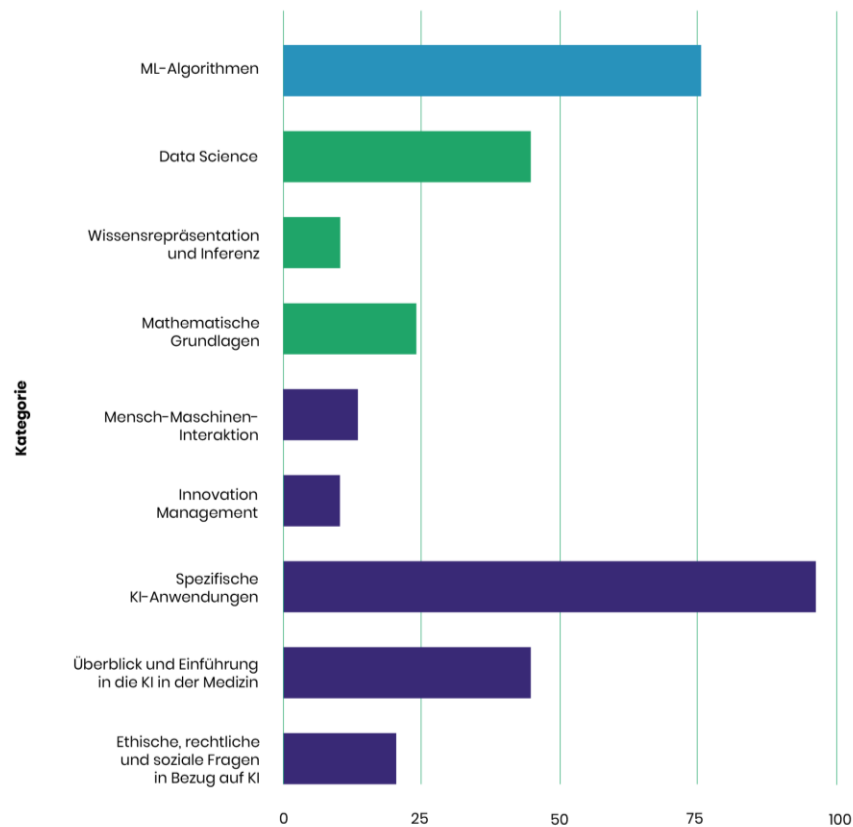


Abbildung 16: Anteile inhaltlicher Kategorien der MOOCs zum Thema KI in der Medizin. Die Kategorien sind aufgeschlüsselt in Machine Learning (blau); Grundlagen der KI (grün); Themen rund um KI (violett).

3.5.4. Blended-Learning-Szenarien

Blended-Learning-Szenarien sind in der Regel tutoriell begleitete Onlinekursformate im Rahmen derer digitale Formate, oft auch ganze Online-Kurs-Angebote, didaktisch in ein synchrones Lernsetting eingebettet sind. Im Kontext von Flipped-Classroom-Szenarien erarbeiten sich Lernende beispielsweise im Vorfeld notwendiges Wissen anhand digitaler Lernformate, das anschließend in einer Präsenzveranstaltung vertiefend angewendet wird. Der Wissenstransfer bzw. die Wissensaneignung findet somit im Selbststudium statt, während die gezielte Kompetenzentwicklung und demgemäß die höheren kognitiven Lernprozesse in der synchronen Präsenzveranstaltung stattfinden (Anderson et al., 2001). Digitale Formate können ferner im Sinne von Brückenangeboten an der Schnittstelle zwischen Präsenzveranstaltungen angesiedelt sein, um inhaltliche und konzeptuelle Verbindungen zwischen Themenfeldern bzw. Anwendungsbereichen herzustellen (Hybrid Lecture). Eine Verknüpfung mit Kompetenznachweisen ist, z. B. im Rahmen akkreditierter Studiengänge oder formaler Fortbildungen, der Regelfall.

Blended-Learning-Szenarien sind in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung in sehr unterschiedlicher Form entwickelt. Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung ist dabei u. a. die Medienkompetenz der Bildungsinstitutionen und Standorte. Insgesamt war bereits 2018 ein Trend zu hybriden Settings zu beobachten, die zu einer Integration von Micro-Lernformate und Online-Kurs-Elementen in synchrone Veranstaltungen führen (Kuhn et al. 2017). Dieser Trend dürfte mit der umfassenden Orientierung der Lehre auf digitale Formate im Zuge der COVID-19-Pandemie weiter an Dynamik gewonnen haben.

4. Ergebnisse der Bedarfsanalyse

4.1. Methodik

Zur Analyse des Bedarfs an KI-Lernangeboten in der Medizin wurden Interviews mit 21 Expert*innen im Bereich KI und Medizin, Medizininformatik, Digitale Medizin bzw. Medizinische Aus-, Fort- und Weiterbildung geführt. Daraufhin wurden die Transkripte der geführten Interviews sowie die Transkripte zweier Gespräche mit Expert*innen, die im Rahmen des Hochschulforums Digitalisierung bereits vor der Durchführung dieser Studie geführt wurden, qualitativ ausgewertet.

Die leitfadengestützten Interviews wurden über einen Zeitraum von knapp vier Wochen zwischen dem 04. Mai und dem 02. Juni 2021 durchgeführt. Der Interviewleitfaden folgte den Leitfragen der Zielsetzung für die Bedarfsanalyse (Kallio et al., 2016; Magnusson, 2015). Die Auswertung erfolgte nach dem Prinzip der qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2012; Schreier, 2014). Das Codesystem wurde konsolidiert und zusammengefasst und wird im Folgenden deskriptiv dargestellt.

Die qualitative Analyse der Transkripte ergab folgende inhaltliche Cluster:

1. Inhalte und Kompetenzen
2. Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote
3. Erfolgsfaktoren für den Kompetenzerwerb
4. Probleme und Herausforderungen

4.2. Inhalte und Kompetenzen

4.2.1. KI-Basiskompetenzen

Alle Ärzt*innen sollten in Zukunft ein Grundverständnis für KI besitzen, um befähigt zu werden mit den entsprechenden KI-Systemen zu arbeiten (s. Abbildung 16). Diese Befähigung beinhaltet, dass die Ärztin bzw. der Arzt:

- die Indikation für den Einsatz eines KI-Systems stellen,
- das System und seinen Output bewerten, interpretieren und ggf. im Rahmen der klinischen Entscheidungsfindung einordnen,
- das System in der Praxis anwenden/bedienen und Patient*innen und Kolleg*innen erläutern kann.

„Als Arzt oder Ärztin muss ich später bewerten können, ob ich diese Technik bei meinem Patienten einsetzen kann.“ (Felix Nensa, Facharzt für Radiologie)

„Wir sind heute immer noch in dem Bereich, wo es die Intuition braucht, welche Methode, welcher Ansatz für welche Art Problem funktioniert. Das muss ich einfach praktisch angewendet haben, damit ich diese Intuition entwickeln kann. Wir sind noch nicht an dem Punkt, dass man eine Liste hat und sagt: dieses Problem, diese KI-Technik, Problem gelöst.“ (Torsten Schwede, Professor für strukturelle Bioinformatik und Vizepräsident für Forschung an der Universität Basel)

Voraussetzung für diese Befähigung („Intuition für KI“) seien eine Kenntnis der theoretischen und technischen Grundlagen der KI, die regelmäßige praktische Anwendung des KI-Systems, sowie

Kompetenzen bezüglich der ethischen, rechtlichen und sozialen Fragen (ELSI) in Bezug auf KI. So würde die Ärztin/der Arzt dazu in die Lage versetzt, den "Beipackzettel" der entsprechenden KI-Technologie zu verstehen. KI-Basiskompetenzen seien auch essenziell für die Befähigung (zukünftiger) Ärzt*innen, sich an gesellschaftlichen Diskussionen, um die Implementierung von KI aktiv zu beteiligen und diese selbst mitzugestalten – in Bezug auf Forschung, Klinik sowie auf Systemebene. Ärzt*innen wird hierbei die Verantwortung zugesprochen, die Nutzbringung von KI-Verfahren für die Medizin bzw. den/die Patient*in einzuschätzen, unabhängig von deren technischer Machbarkeit.

*„Eine Frage muss ich dann immer stellen: Ist es schlicht etwas, was sich anbietet, verändert und nützlich erscheint? Oder ist es tatsächlich nützlich im Sinne einer verbesserten medizinischen Versorgung? Und gerade Letzteres muss doch unser Anspruch sein. [...] Für uns als Ärzt*innenschaft muss die Verbesserung der medizinischen Versorgung im Vordergrund stehen.“ (Peter Bobbert, Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie, Vorsitzender der Ausschüsse "Digitalisierung der Gesundheitsversorgung" und "Ärztliche Ausbildung und Universitätsmedizin" der Bundesärztekammer)*

Zu den **theoretischen und technischen Grundlagen** der KI gehören die Einführung in die Funktionsprinzipien verschiedener Arten der KI (Konzepte des maschinellen Lernens, Schlussfolgerungs- und Expertensysteme, statistische Ansätze, Bayessche Methoden), Medical Data Science, Wissensrepräsentation und Interferenz, sowie mathematische Grundlagen der KI. Diese sollten nach Meinung einiger Expert*innen als Teil der Methodenkompetenz zu Beginn des Medizinstudiums vermittelt werden.

Um die Kompetenz zu erlangen, **KI-basierte Technologien praktisch anzuwenden**, bedürfe es der Möglichkeit des Ausprobierens und der Hands-On-Erfahrungen mit entsprechenden Anwendungen im klinischen oder simulierten Umfeld. Dabei müssten Ärzt*innen insbesondere in der Lage sein, Patient*innen und Kolleg*innen über KI aufzuklären.

„Das sind Erfahrungswerte: Dass man den Umgang mit solchen KI-Systemen [...] einfach übt. Und man spielerisch damit auch Situationen erleben kann, wo diese KI-Systeme falsch lagen. Dass man diese Erfahrungen so durchspielt, wie bei einem neuen Labortest oder einer neuen Bildgebungsmethode. Das ist eigentlich nichts anderes.“ (Horst Hahn, Direktor Fraunhofer Institute for Digital Medicine MEVIS)

Zu den **ELSI-Kompetenzen** in Bezug auf medizinische KI gehören für die befragten Expert*innen:

1. ethische Fragestellungen (s. oben, Limitationen) der Anwendung von KI in verschiedenen Settings bzw. Situationen diskutieren, bewerten und einordnen können, insbesondere unter Reflektion der Rolle und Verantwortung der Ärzt*innen,
2. rechtliche Aspekte vor allem in Bezug auf Datenschutz, Datensicherheit und Haftbarkeit für KI-Technologien kennen,
3. gesamtgesellschaftliche Auswirkungen durch die Implementierung von KI im Gesundheitswesen diskutieren können.

*„Es geht über die Anwendung hinaus in Richtung Folgenabschätzung, also wirklich ein sehr reflektiertes Schauen, was bedeutet das für mich in meinem Berufsstand, aber auch für die Patient*innen. Und für die Gesellschaft, wenn wir jetzt diese oder jene Entscheidung treffen. [...] Und an diesem Diskurs müssen Ärztinnen und Ärzte mitmachen können.“ (Jan Ehlers, Vizepräsident der Universität Witten/Herdecke)*

„[Der Arzt/die Ärztin] sollte wissen, welche konkreten Use-Cases existieren, wo Patienten-Apps oder KI wirklich einen nennenswerten Benefit haben, was Patienten-Outcomes angeht. Und man sollte auch den Kontext der Medizinproduktegesetze kennen und vor allen Dingen auch DATENSCHUTZASPEKTE.“ (Julian Varghese, Professor für Medizininformatik)

Zuletzt beinhalte die beschriebene Basiskompetenz, den **Output und die Limitationen der KI beurteilen** zu können. Die Expert*innen hoben diesbezüglich die Fähigkeit zur Einschätzung der Repräsentativität von Datensätzen und zum Erkennen von möglichen Bias der KI (determiniert durch den Algorithmus oder den Trainingsdaten) hervor. Zudem müssten Ärzt*innen die Grenzen der Anwendbarkeit von KI einschätzen und diskutieren können. Dies sei besonders relevant im Kontext Verantwortung der Ärzt*innenschaft, die digitale Transformation und die Einführung von KI im Gesundheitswesen mitzugestalten.

*„Als Ärzt*innen müssen wir unsere eigenen Daten definieren, wir müssen unsere eigenen Daten besser kennen. Wir kennen die Fragestellungen, wir haben eine so hohe Fachexpertise und Fachkompetenz. Es wird tatsächlich Zeit, dass wir künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen nicht mehr stiefmütterlich behandeln. Wir müssen das nicht alles selbst programmieren oder coden. Aber wir müssen es tatsächlich wie ein Diagnostikum beherrschen, wie die Echokardiographie, Herzkathetern oder eine EPU, erst dann gelingt die Ablation einer VT. KI sollte ich genauso betrachten, als Chance, Medizin besser zu machen.“ (Enise Lauterbach, Fachärztin für Kardiologie und Gründerin LEMOA medical)*

4.2.2. Tiefergehende KI-Kompetenzen

Die **theoretischen und technischen Grundlagen** der KI könnten im Rahmen der Basiskompetenzen nicht in der Tiefe vermittelt werden, wie es für einige Fachdisziplinen bzw. im Forschungskontext notwendig wäre. Nicht alle Ärzt*innen müssten **technische Details und Funktionsprinzipien** verschiedener KI-Systeme kennen, so die Expert*innen. Auch das **Programmieren** zähle nicht zu den Basiskompetenzen für klinisch tätige Ärzt*innen, sondern sei insbesondere den Mediziner*innen in der Forschung zu vermitteln, bzw. könne in vertiefenden Wahl(pflicht)angeboten oder über Projektarbeiten im Medizinstudium erlernt werden.

*„Mediziner*innen müssen nicht im Detail wissen, wie man die Modelle programmiert. Auch bei Medikamenten oder anderen Biomarkern wissen Mediziner*innen nicht, wie sie im Detail funktionieren“ (Kerstin Ritter, Juniorprofessorin für Computational Neuroscience und Mathematikerin)*

4.2.3. Übergeordnete Kompetenzen

Das Berufsbild „Ärztin / Arzt“ im Zeitalter der Künstlichen Intelligenz würde sich nach Meinung der Expert*innen zwar in Bezug auf die Verschiebung von Tätigkeiten und die Veränderung von Arbeitsabläufen verändern, jedoch grundlegend bestehen bleiben. Die Ärztin / der Arzt werde KI in Zukunft als Werkzeug nutzen und weiterhin die finale Instanz bei der Diagnosestellung oder Therapieentscheidung sein. Dabei werde die Kompetenz der **klinischen Entscheidungsfindung** – das Abwägen verschiedener Hypothesen, die teilweise durch KI generiert werden, umso relevanter.

„Die Entscheidung wird immer die Entscheidung der Ärztin/des Arztes bleiben.“ (Nabil Alsabah, Bereichsleiter Künstliche Intelligenz & Big-Data.AI Summit, Bitkom e.V.)

Die Befähigung, die gestalterische Teilhabe an der Implementierung von KI-Lernangeboten zu erlangen, beruhe auch auf Kompetenz des **“To learn how to learn”** – lernen, zu lernen. Um den Anforderungen

gerecht zu werden, der "Filter hinter der KI" zu sein und die menschliche Aufsicht über diese Technologien kompetent zu übernehmen, brauche es neue Lernansätze. Das Problem und der Weg zur Lösung sollten die Lernenden leiten, im Gegensatz zur passiven Wissensakkumulation, die die Grundlage für das Medizinstudium heute darstellt. Ein Teilaspekt hier sei Fähigkeit zur **Reflektion**: Reflektion der eigenen ärztlichen Fähigkeiten, des Potentials von KI zur Verbesserung der Gesundheitsversorgung, der Re-Evaluation von Arbeitsabläufen und Entscheidungsprozessen sowie dem kritischen Hinterfragen von KI-Outputs.

"Somehow there has to be more investment in improving our ability to learn, see and understand patterns, analyze data, interpret the findings of the analysis. But it's all about whether you have memorized some table or figure? [...] I mean, those are useless, especially now in the age of Internet. Like, why should I care if I've memorized them, if I could look them up? And people think that, oh, you're going to be deskilling doctors with artificial intelligence, that's bullshit. We would be upskilling them if we teach them 'to learn how to learn'." (Leo Anthony Celi, Intensivmediziner und leitender Forscher am MIT Laboratory for Computational Physiology)

Ebenso würde die **ärztliche Gesprächsführung**, die sogenannte "Sprechende Medizin", zu den Kernkompetenzen der Ärzt*innen von morgen gehören. Die Fähigkeit zur Kommunikation mit Patient*innen, die selbst immer besser an ihrer eigenen Gesundheit teilhaben werden, sei ein Kompetenzfeld, das durch die KI deutlich gestärkt werde, genauso wie die interprofessionelle Zusammenarbeit.

*"KI alleine ist ein Krückstock. Am Ende muss es dem Patienten vermittelt werden. Und das ist ein ganz eigener Skill, der uns als Ärzt*innen ausmacht."* (Jens Eckstein, Chief Medical Information Officer und leitender Arzt)

Bestärkt durch die Interprofessionalität und das Potential der KI, eine Vielzahl an Dimensionen bei der Bearbeitung medizinischer Fragestellungen mit einzubeziehen, sei die Integration möglichst vieler Perspektiven auch in der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung essenziell. Die Fähigkeit zum **Perspektivwechsel** sei grundlegend für eine zielführende interprofessionelle Zusammenarbeit.

*"Mediziner*innen, Datenanalyst*innen, Informatiker*innen; wenn wir die zusammenbringen, was wäre das für ein toller Austausch. Und dieser Perspektivwechsel, wenn wir die Sichtweisen des anderen kennen, wenn wir die Fragestellungen im klinischen Alltag gemeinsam anschauen, jeder aus seiner Perspektive und dann die Perspektiven wechseln, gemeinsam erörtern, kommen wir EHER zur Lösung. Ich glaube, wir sollten diese Lösungsansätze nehmen, statt weiterhin die Hände zu ringen und verzweifelt nach Expert*innen Ausschau zu halten."* (Enise Lauterbach, Fachärztin für Kardiologie und Gründerin LEMOA medical)



Abbildung 17: Inhalte und Kompetenzen, die bzgl. KI an Mediziner*innen vermittelt werden sollten. Diese sind in die drei Bereiche "KI-Basiskompetenzen" (petrol), Tiefergehende KI-Kompetenzen (türkis), Übergeordnete Kompetenzen (grau) untergliedert (innerer Ring), und werden hinsichtlich ihrer Bereiche spezifiziert (mittlerer Ring), und teilweise noch weiter konkretisiert (äußerer Ring).

4.3. Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote

4.3.1. Prinzipien der Implementierung

In der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung müsse ein Paradigmenwechsel stattfinden, um den Veränderungen zu begegnen, die KI für das Gesundheitssystem und die Medizin im Besonderen mit sich bringt. Für einige Expert*innen sollte die Implementierung der Lernangebote **zeitnah** erfolgen, um den Kompetenzbedarf zu decken. Dabei würden **Leuchtturmmodelle** eine große Rolle spielen: an einigen medizinischen Fakultäten werde die Implementierung von KI-bezogenen Lernzielen ins Pflichtcurriculum bereits pilotiert. Andere Fakultäten könnten sich daran orientieren. Im Bereich der Weiterbildung würden einige Fachdisziplinen, beispielsweise die Diagnostik-lastigen Fächer Radiologie, Pathologie oder Labor-medicin die Vermittlung von KI-Kompetenzen früh in den Fokus stellen müssen.

„Am Anfang ist es ein Spezialwissen, was von wenigen getragen, weiterentwickelt und zur Implementierung genutzt wird. Und in dem Moment, wo dann implementiert WIRD, wird dieses Spezialwissen von einzelnen in die Allgemeinheit getragen. Und das muss schnell passieren.“ (Peter Bobbert, Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie, Vorsitzender der Ausschüsse "Digitalisierung der Gesundheitsversorgung" und "Ärztliche Ausbildung und Universitätsmedizin" der Bundesärztekammer)

Die **interprofessionelle Zusammenarbeit** wurde als ein Grundkonzept für die Vermittlung KI-bezogener Kompetenzen identifiziert. Lehrende verschiedener Professionen bzw. Disziplinen könnten sowohl in der Vermittlung praktisch-medizinischer Kompetenzen (z. B. interdisziplinäre Praktika/Vorlesungen) als auch im Bereich Forschungskompetenzen (z. B. durch interprofessionelle Betreuung bei Qualifikationsarbeiten) den Perspektivwechsel ermöglichen. Medizinstudierende sollten mit Studierenden der Informatik, Biostatistik, Sozial-, Rechts- und Geisteswissenschaften als auch mit Auszubildenden anderer Gesundheitsberufe (Pflege, Physiotherapie) gemeinsam lernen. Vor allem das projektbasierte Lernen biete sich für interprofessionelle Modelle an, da hier gemeinsam aus verschiedenen Perspektiven ein Problem angegangen werde.

Es wurde hervorgehoben, dass das noch weitgehend die Medizin prägende "Schlüssel-Schloss-Paradigma" – einheitliche Diagnostik und Therapieempfehlungen für ein uneinheitliches Patient*innen-kollektiv – perspektivisch aufgebrochen werden müsse, auch in der Bildung. Unsicherheit und medizinische Unklarheiten sollen künftigen Ärzt*innen bewusst sein und der Umgang mit ihnen gelernt werden. Neue Denkansätze und Problemlösungsstrategien im Sinne des **"To learn how to learn"** Ansatzes könnten hierbei zum Beispiel durch Zusammenarbeit mit Kunststudierenden gefördert werden.

"I'm working with some students from the Royal College of Arts in London. In art, there is no certainty. We don't know how to teach art. It's about giving them the skills to see how you can create art, appreciate or evaluate art. There are no black and whites, right or wrong answers. So being able to navigate in this environment of uncertainty, would [...] prepare you to be a good learner." (Leo Anthony Celi, Intensivmediziner und leitender Forscher am MIT Laboratory for Computational Physiology)

Ein weiteres Konzept zur Implementierung der Lernangebote sei die **standortübergreifende Vernetzung** von Lehrenden und Lernenden, um Synergien zu schaffen und Ressourcen zu schonen. Expert*innen könnten deutschlandweit hochqualitative **digitale Lernangebote** anbieten, vor allem im Grundlagenbereich der medizinischen KI. Eine Möglichkeit zum Diskurs unter den Lernenden im Sinne von Peer-Groups auf demselben Kompetenzniveau könne durch interaktive Plattform-Angebote

geschaffen werden. Die **Diskursivität** stellt ein weiteres Grundkonzept der Vermittlung von KI-Kompetenzen dar.

„Wir sollten Netzwerke bauen, die die verschiedenen Ebenen der KI-Kompetenz adressieren, so dass Menschen an unterschiedlichen Standorten sich auch in einer Peer-Group wiederfinden. Dafür ist das digitale Lernangebot ideal. Das können etwa Referenzdaten-Sammlungen sein, Algorithmen-Sammlungen und Diskussionsräume, wo ungelöste medizinische Probleme diskutiert und priorisiert werden.“ (Horst Hahn, Direktor Fraunhofer Institute for Digital Medicine MEVIS)

Für Mediziner*innen sei es besonders wichtig, einen **direkten Anwendungsbezug** der KI in der Medizin, am besten jedoch schon im eigenen Fachgebiet vermittelt zu bekommen. Dies könne realisiert werden, indem KI-Anwendungen praktisch angewendet und ausprobiert werden dürfen sowie auch durch das Training von KI-Algorithmen durch Mediziner*innen.

„Man muss unheimlich praxisnah arbeiten, auch damit das irgendwie Spaß und Freude macht. Also ich glaube, man muss KI in der Praxis – oder wenigstens in der simulierten Praxis – erleben und viel ausprobieren können und merken, es geht nicht kaputt, wenn man es falsch macht. Also wirklich Hands-on.“ (Jan Ehlers, Vizepräsident der Universität Witten/Herdecke)

Einige Expert*innen wünschten sich Lernangebote, die **visionäres Denken** fördern, zum Beispiel fachspezifische Ausblicke auf aktuelle Entwicklungen in der KI-Forschung oder eine “letzte Folie” in Vorlesungen, auf der die potentielle Entwicklung des jeweiligen Fachs in den nächsten 10 Jahren skizziert wird.

„Da sind natürlich die Lehrenden der Fächer gefragt, ihre innovativen Projekte mal vorzustellen. So eine Standard-letzte-Folie von jeder Vorlesung oder jedem Seminar. Wie sieht mein Thema aus in zehn Jahren?“ (Jeremy Schmidt, Arzt und Bundeskoordinator für Medizinische Ausbildung 2018/2019, Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland [bvmd] e.V.)

Ein weiterer Weg, um ein tiefergehendes Verständnis der Inhalte zu erreichen, sei es, Lernangebote zu KI-Themen **forschungsbezogen** zu gestalten. Dies könne geschehen über die Integration von KI-Lernzielen in Veranstaltungen zur guten wissenschaftlichen Praxis oder, analog zu den bereits vielerorts existierenden Clinician-Scientist Programmen, die Implementierung eines Digital Clinician Scientist Programms für forschende Ärzt*innen an Universitätskliniken. Arbeitsgruppen und -Labore, in denen an KI-Themen in der Medizin geforscht werde, sollten auch und vor allem interessierten Mediziner*innen offenstehen. Besonders wichtig sei bei der Verzahnung von Lehre und Forschung, dass Lehrprojekte, auch skalierbar und übertragbar in die “echte” Forschungswelt seien. Auch die Nutzung von **webbasierten Lern- oder Programmierungsumgebungen** sei ein wichtiger Beitrag für einen stärkeren Forschungs- und Anwendungsbezug.

„Wenn man an Dinge denkt wie JupyterHubs, Jupyter Notebooks: In einem Webbrowser kann man mit einer funktionierenden Anwendung fast spielerisch anfangen, auszuprobieren, Parameter zu verändern, andere Datensätze einzulesen. Damit habe ich es geschafft, mit einer sehr niedrigen Eingangsschwelle einen Studierenden oder angehenden Ärztinnen und Ärzten ein Tool an die Hand zu geben, wo man modernste AI-Methoden spielerisch ausprobieren kann, ABER in einer Forschungsumgebung, die skaliert.“ (Torsten Schwede, Professor für strukturelle Bioinformatik und Vizepräsident für Forschung an der Universität Basel)

4.3.2. Lehrende

Das Grundkonzept der Interprofessionalität solle laut den Expert*innen vor allem erfüllt sein in Bezug auf die Lehrenden. Grundlagen der KI könnten am besten durch KI-Expert*innen vermittelt werden. Das

Schnittstellenfach Medizininformatik wurde hervorgehoben, da hier das Verständnis für medizinische Fragestellungen und der Anwendungsbezug gegeben seien.

„Wenn ich über die nächsten zehn Jahre spreche, dann sehe ich die medizinischen Informatiker als prädestiniert, die sich ja schon fokussiert haben in ihrer Forschung und ihrer Lehre auf die medizinische Anwendung. Und die neuerdings [...] durch die Bank auch KI-Entwicklungen vorantreiben. Und ich denke, das wären die richtigen Vermittler zwischen diesen beiden Welten – KI und Medizin.“ (Heinz Handels, Direktor des Instituts für medizinische Informatik der Universität Lübeck)

Einige Expert*innen hoben hervor, dass in der Medizin die Vermittlung von Kompetenzen durch Eminenzen erfolgen solle. Deshalb wäre es von Interesse, entsprechende Lehrstühle für Digitale Medizin oder Künstliche Intelligenz in der Medizin einzurichten. Auch erfahrene Fachärzt*innen aus den verschiedenen Fachdisziplinen, die KI-Verfahren nutzen oder erforschen, seien gut geeignet, um anwendungsspezifische Kompetenzen zu vermitteln.

„Ich glaube, dass müssten Anpassungen von Lehrformaten im Kerncurriculum sein, auch wenn diese von den gleichen weisen Eminenzen unterrichtet werden wie bisher auch. Das macht es nicht unbedingt leichter. Aber ich glaube eben, es ist nicht zielführend, irgend so einen Jungspund da hinzusetzen, der ein bisschen KI in der Medizin als Orchideenfach unterrichtet.“ (Lars Roemheld, Director AI & Data, Health Innovation Hub)

Andererseits wurde angeführt, dass für Kleingruppenformate mit interaktiver Komponente die fachliche Expertise der Lehrenden im Bereich KI eher zweitrangig sei. Es gehe vielmehr um die Qualifikation als Moderator*in bzw. Coach, der/die die Diskussion lenkt und die Gruppendynamik austariert. Auch Patient*innen, die selbst KI-gestützte Gesundheitsanwendungen nutzen, wurden durch die Expert*innen als wichtige Lehrende benannt, sowie die Lernenden selbst im Sinne eines Flipped-Classroom-Konzeptes. Besonders wichtig sei jedoch die Qualifizierung der Lehrenden, die durch das Bereitstellen von Ressourcen und Qualifizierungsangeboten (z. B. Multiplikatorenschulung) gewährleistet werden könne. Vor allem die didaktischen Kompetenzen, ein offenes Mindset der Lehrenden, sowie das Sammeln von Hands-On Erfahrung.

„Die Qualifizierung von den Lehrenden, im Sinne von Multiplikatoren, ist ganz zentral. [...] In dem Kontext habe ich das Multiplikatorentraining „Digital Health & Education“ initiiert, was 2020/21 erstmalig durchgeführt wurde und zukünftig auch weitergeführt wird. [...] KI war ein zentraler Aspekt davon.“ (Sebastian Kuhn, Professor für Digitale Medizin und Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie)

4.3.3. Lehr- und Lernformate

Welche Formate eignen sich besonders für die Vermittlung KI-bezogener Kompetenzen? Dies sei laut den interviewten Expert*innen abhängig von dem zu vermittelnden Inhalt, der Kompetenztiefe (Faktenwissen, Handlungs- und Begründungswissen, Handlungskompetenz) und der Zielgruppe (Medizinstudierende, Ärzt*innen in Weiterbildung, Fachärzt*innen oder forschende Ärzt*innen). Die meisten der im Folgenden beschriebenen Lehr- und Lernformate sind grundsätzlich **in digitaler Form** sowie in **Präsenz** möglich, wobei sich einige Formate besser bzw. schlechter für die digitale Durchführung eignen. Einige Formate und Lernangebote sind nur digital möglich bzw. sinnvoll, diese wurden gesondert betrachtet.

Prinzipiell erwähnten die Expert*innen Beispiele für Lehr- und Lernformate in drei Kategorien: Frontalunterricht, interaktive Formate und Selbstlernphasen. Dabei könne die Einführung in die Grundlagen der

KI im Studium durch (digitalen) **Frontalunterricht** vermittelt werden, d.h. beispielsweise über (Online-) Vorlesungen und Seminare.

*„Ich könnte mir zusätzlich eine Vorlesung vorstellen, in der Grundkonzepte von KI und maschinellem Lernen vermittelt werden und in der Kliniker*innen zeigen, wie sie KI-Systeme in ihrer Arbeit einsetzen.“ (Gespräche KI – Kerstin Ritter, Juniorprofessorin für Computational Neuroscience und Mathematikerin)*

Das Festigen der Kompetenzen durch eine besonders anwendungsbezogene Vermittlung und das Schaffen von Aha-Momenten geschehe vor allem in **interaktiven Formaten** (insbesondere Kleingruppen). Hier fanden Praktika und das Konzept des Problemorientierten Lernens (POL) Erwähnung, aber auch Simulationen und Unterricht am Krankenbett würden das Ausprobieren der KI-Anwendungen ermöglichen. Hier biete sich insbesondere auch das Konzept des Flipped-Classrooms mit **digitalen Selbstlernphasen** an.

“Ich glaube, Kleingruppen, die miteinander diskutieren sind einfach ganz großartig, um eine heterogene Gruppe zusammenzubringen und aus der Heterogenität Kraft schöpfen zu können. Und dann viel Selbstlernphasen zwischendurch, die dann komplett online-gestützt sein könnten” (Jan Ehlers, Vizepräsident der Universität Witten/Herdecke)

In Selbstlernphasen könnten vor allem praktische Programmierkompetenzen gefestigt werden, beispielsweise in Form von Video-On-Demand Formaten, digitalen Programmieranwendungen (z. B. unter Nutzung von Jupyter Notebooks) oder Online-Kursen mit nachfolgender praktischer Anwendung der vermittelten Inhalte. Dies sei laut den Expert*innen vor allem als Vertiefungsangebot für forschende Ärzt*innen und interessierte Medizinstudierende relevant.

*„Programmieren lernt man meist nicht in einer Vorlesung. Sondern gerade beim Programmieren hat sich das Konzept des ‘Learning by Doing’ bewährt. Als Informatiker*innen haben wir sehr viel Übung darin, uns die Inhalte online über Eigenrecherche selbst anzueignen.“ (Sandy Engelhardt, Informatikerin)*

Eine besondere Form der Selbstlernphasen, aber auch der interaktiven (Kleingruppen-)Formate ist das (Forschungs-)projektbasierte Lernen. Für forschende Mediziner*innen, aber auch im Rahmen der Weiterbildung, sei dies ein vielversprechender Ansatz, der die Reflektion der Indikation von KI und ihren Limitationen ermögliche – die Lernenden entwickelten eine “Intuition für KI”. Auch tiefergehende theoretische und technische Grundlagen der KI könnten hier vermittelt werden. Die drei Säulen der Universitätsmedizin – Lehre, Forschung und Klinik – würden verzahnt, Projekte optimalerweise hochskaliert und könnten in Forschung und Klinik nutzbringend translatiert werden. In diesem Zusammenhang wurde der Ansatz des “Village Mentoring” durch einen Experten vorgestellt: Studierende arbeiten in interdisziplinären Kleingruppen an “echten” Forschungsthemen und können dabei auf ein großes Netzwerk interprofessioneller Expert*innen zurückgreifen, die Feedback geben und bei Problemen unterstützend zur Seite stehen. Das Vernetzen von Forschenden, Lehrenden und Studierenden mit unterschiedlichen Perspektiven und ähnlichen Zielen sei ein maßgeblicher Treiber der Innovation in Forschung und Lehre.

“We have a rich network of people with various expertise who the students consult. Most of the learning actually happens between the students. We emphasize that even an undergraduate student has something to contribute to the team. This is the concept of village mentoring and hive learning, where we move away from a model of one professor in the lab with students and postdocs all in one field. We consolidate labs so that a project creates a melting pot of different talents and skill sets. Being able to leverage such an environment – this is what ‘learning how to learn’ is all about.” (Leo Anthony Celi, Intensivmediziner und leitender Forscher am MIT Laboratory for Computational Physiology)

Für alle beschriebenen Lehr- und Lernformate seien Interdisziplinarität, Anwendungsbezug sowie das Schaffen von Aha-Momenten maßgeblich für eine erfolgreiche Kompetenzvermittlung (siehe unten, *Erfolgsfaktoren für den Kompetenzerwerb*).

Digitale Lernangebote in unterschiedlichen Formaten seien insbesondere für die Einführung in das Thema KI in der Medizin bzw. zur Vermittlung von Grundlagenwissen, aber auch für die Verfestigung von Programmierkenntnissen gut geeignet. Formate wie Blended Learning oder Video-On-Demand böten die Vorteile der Skalierbarkeit. Aber auch als Bestandteil des Pflichtcurriculums und der Fortbildungsprogramme seien Online-Angebote gut geeignet, insbesondere auch zur Vorbereitung auf Hands-On Formate oder komplementär zum projektbasierten Lernen bzw. zu Flipped-Classroom Konzepten. Die Interaktion und der Diskurs unter den Lernenden solle jedoch gewährleistet sein – zum Beispiel über eine digitale Lernplattform, die Foren und Chats zum Austausch beinhalte. So könnten herausragende Expertise und hochqualitative Angebote ressourcenschonend vielen Lernenden zugänglich gemacht werden.

*„Für meine eigene Arbeit habe ich intensiv auf Massive Open Online Courses zurückgegriffen. Ich war sehr begeistert von der hohen Qualität dieser Angebote, weil einzelne Lehrende hochmotiviert waren, um die Inhalte wirklich gut rüberzubringen. Aus dem Alltag in der klinischen Lehre bin ich das so gewohnt, dass einzelne Dozent*innen manchmal [...] gar nicht vorbereitet waren, gar nicht die Zeit und die Kapazität hatten.“ (Michael Schmitt, Medizinstudent)*

4.3.4. Implementierung in die medizinische Aus-, Fort- und Weiterbildung

Umfangreicher Qualifizierungsbedarf

Eine grundlegende digitale Gesundheitskompetenz solle bereits in der Schule vermittelt werden. Diese sei auch die Voraussetzung für den Erwerb von KI-bezogenen Kompetenzen. Aufgrund des massiven Qualifizierungsbedarfs innerhalb der Ärzt*innenschaft bestände der Bedarf nach einer Basisqualifizierung für Digitale Medizin bzw. KI: Ein einheitliches Qualifikationsniveau, welches alle Ärzt*innen erreichen müssten. Dieses müsse in der medizinische Aus- Fort- und Weiterbildung Eingang finden.

„Ich glaube, dass eine Basisqualifizierung als Teil von einem Pflichtcurriculum für KI, aber auch digitalen Kompetenzen im Allgemeinen, in alle Curricula hineingehört. Und darüber hinaus müssen wir spezifische Vertiefungsmöglichkeiten bieten für Personen, die ein besonderes Interesse an diesem Feld haben oder halt auch im Rahmen von ihrer beruflichen Tätigkeit diese Systeme eine große Relevanz entwickeln.“ (Sebastian Kuhn, Professor für Digitale Medizin und Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie)

Medizinische Ausbildung

Sollten KI-bezogene Kompetenzen im **Pflichtcurriculum** des Medizinstudiums vermittelt werden? Unter den Expert*innen, die für die vorliegende Studie interviewt wurden, herrscht Einigkeit: Basiskompetenzen in Bezug auf KI müssen im medizinischen Kerncurriculum verankert werden.

„Wir kommen nicht drum herum, dass es ein Grundverständnis dafür gibt, wo die Stärken und Schwächen der verschiedenen Methoden sind, was der Hintergrund ist. Wie kann ich nachschauen, ob eine Methode einen Bias im Trainingsdatensatz hat? Das muss in die Grundausbildung rein, damit man solche Methoden nicht völlig als Blackbox verwendet und, ich sage mal, den Beipackzettel der Methode lesen kann.“ (Torsten Schwede, Professor für strukturelle Bioinformatik und Vizepräsident für Forschung an der Universität Basel)

Dabei stellten sich einige Expert*innen eine longitudinale Implementierung des neuen Querschnittsfachs "KI in der Medizin" in Form einer KI-bezogenen Lernspirale über den gesamten Verlauf des Studiums vor. Dabei könne zu Beginn des Studiums mit Ausblicken auf KI-Anwendungen in der Medizin und Ausblicken auf die Entwicklungen in dem Bereich das Interesse der Studierenden geweckt sowie in den ersten Semestern die theoretischen Grundlagen der KI im Rahmen der medizinischen Methodenkompetenz vermittelt werden.

„Ich würde mir schon wünschen, dass Grundkompetenzen für alle von Anfang an mitgedacht werden, in einem gewissen Umfang ab dem ersten Semester. Dass das einfach in die Methodenkompetenz mit reingehört.“ (Jan Ehlers, Vizepräsident der Universität Witten/Herdecke)

In höheren Semestern solle schließlich der Anwendungsbezug hergestellt werden.

„Für die Ausbildung ist es wesentlich, so früh wie möglich anzufangen. Ich sehe das parallel zu den anderen Grundlagenfächern. [...] Und dann eben longitudinal und interdisziplinär aufgebaut. Immer wieder. Je mehr man auch klinisch mitbekommt, je interaktiver und praxisnäher man das machen kann, desto real klinischer kann man werden und mit den anderen Fächern verknüpfen.“ (Jeremy Schmidt, Arzt und NOME 2018/2019, bvmd)

Ein anderer Vorschlag war die Integration in Veranstaltungen und Lernzielen der Medizinischen Informatik oder der Medizinischen Statistik. Auch Online Formate sollten für das Studium anrechenbar sein, denn sie stellten (noch) die beste Lösung für die Vermittlung der grundlegenden KI-Kompetenzen dar, vor allem wenn an medizinischen Fakultäten noch keine entsprechenden Ressourcen geschaffen wurden (Lehrstühle für Digitale Medizin, qualifizierte KI-Expert*innen).

„Es gibt wenig Leute, die das kompetent vermitteln können. Dann kann man solche [Online Formate] als Lernmaterial kennzeichnen. Man muss das vorher peer-reviewen lassen und sagen: Okay, das ist fachlich richtig.“ (Jens Eckstein, Chief Medical Information Officer und leitender Arzt)

Für interessierte Studierende, die sich auch in der Forschung mit dem Thema KI in der Medizin auseinandersetzen möchten, sollten **vertiefende Wahl(pflicht)angebote** gemacht werden. Insbesondere praktische Programmierkompetenzen sowie vertiefende Data Science Inhalte könnten hier projekt- und forschungsbasiert sowie interdisziplinär vermittelt werden. Dies könne im Rahmen (klinischer) Wahlpflichtfächer geschehen oder in Form eines Wahlpflicht-Tracks über mehrere Semester, der eine frühe Spezialisierung auf das Fachgebiet Digitale Medizin / KI in der Medizin zuließe.

Um dem Paradigmenwechsel in der medizinischen Bildungslandschaft und dem Bedarf nach mehr Kompetenztiefe gerecht zu werden, sollten laut einigen Expert*innen auch die **Prüfungsformate** der medizinischen Ausbildung angepasst werden. Das monotone Abfragen von Faktenwissen in Form von "Kreuzen" dürfe in Zukunft nicht mehr die Grundlage des zweiten medizinischen Staatsexamens bilden.

„Wir müssen relativ bald aufhören mit dem Kreuzen im Medizinstudium. Weil, kreuzen kann KI besser. Kreuzen hat auch nicht so WAHNSINNIG viel zu tun mit einem tiefen Verständnis von Zusammenhängen. Aber da müssen wir hinkommen.“ (Lars Roemheld, Director AI & Data, Health Innovation Hub)

Für die medizinische Ausbildung wurden als verantwortlich für die Implementierung der KI-Lernangebote zunächst die **medizinischen Fakultäten bzw. Universitäten** genannt (s. Abbildung 18). Hier trage das Fachgebiet der Medizinischen Informatik eine besondere Verantwortung, wobei laut der Expert*innen zusätzliche Lehrstühle für Digitale Medizin und KI in der Medizin eingerichtet werden sollten. Um die Rahmenbedingungen für die Implementierung zu schaffen, müssten KI-bezogene Kompetenzen

in den Nationalen Kompetenzbasierten Lernzielkatalog Medizin (NKLM) eingearbeitet werden. Verantwortliche Akteure seien der **Medizinische Fakultätentag (MFT)** sowie, für die Umsetzung in Prüfungsfragen, das **Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen (IMPP)**.



Abbildung 18: Vorschläge zur Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote zu KI in der Medizin in der medizinischen Ausbildung. Im inneren Ring dargestellt sind mögliche Umsetzungskonzepte (blau) sowie verantwortliche Akteure (rot). Den jeweiligen Konzepten und Akteuren sind konkrete Implementierungskonzepte bzw. Zuständigkeiten (mittlerer Ring) zugeordnet, die weiter spezifiziert werden (äußerer Ring). MFT: Medizinischer Fakultätentag, IMPP: Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen, NKLM: Nationaler Kompetenzbasierter Lernzielkatalog Medizin.

Medizinische Weiterbildung

Die Gestaltung der medizinischen Weiterbildung liegt in den Händen der **Ärztékammern**, die die Weiterbildungsordnungen für die verschiedenen Facharztweiterbildungen und Zusatzbezeichnungen beschließen. Somit läge bei den Ärztekammern auch die Verantwortung, die Vermittlung KI-bezogener Kompetenzen in der Weiterbildung zu gestalten (s. Abbildung 19). Dies könne über die **Verankerung von KI-Lernzielen in den (Muster-)Weiterbildungsordnungen** der Facharztweiterbildungen geschehen – einerseits im Sinne der übergeordneten Basisqualifizierung, andererseits als fachspezifische Vertiefung.



Abbildung 19: Vorschläge zur Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote zu KI in der Medizin in der medizinischen Weiterbildung. Die im Rahmen der Bedarfsanalyse festgestellten Themen umfassen Verantwortlichkeit (grau), Umsetzungskonzepte (gelb), Inhalte (blau) sowie Bedenken bei Zuständigkeiten (rot) (Innerer Ring). Mögliche verantwortliche Akteure, Umsetzungskonzepte, Inhalte sowie Bedenken bei Zuständigkeiten sind im mittleren Ring dargestellt und werden im äußeren Ring ggf. spezifiziert.

Auch **Kliniken** trügen eine Verantwortung im Bereich Weiterbildung, seien sie doch verantwortlich für die tatsächliche Vermittlung der Inhalte der Weiterbildungsordnungen, so die Expert*innen. Zudem würden Kliniken durch die Finanzierung und Bereitstellung von KI-Technologien und digitaler Infrastruktur die Voraussetzungen schaffen für das praktische Anwenden der KI-Verfahren und Vertiefen der erworbenen Kompetenzen.

„Wir machen einmal wöchentlich eine interne Weiterbildungsveranstaltung, bei der wir KI Algorithmen testen und die Resultate unserer „konventionellen“ Überlegungen mit den Vorschlägen der KI vergleichen. Wenn wir sehen, dass die Vorschläge der KI einen Mehrwert bringen, müssen die Kliniken unseren Mitarbeitern die entsprechenden Tools zur Verfügung stellen.“ (Jens Eckstein, Chief Medical Information Officer und leitender Arzt)

Neben der Implementierung von KI-Lernzielen in bestehende Weiterbildungsordnungen als Umsetzungskonzept schlugen einige Expert*innen vor, eine neue **Facharztweiterbildung** „Digitale Medizin“ oder eine **Zusatzbezeichnung** „KI in der Medizin“ zu implementieren.

„Ich würde mir wünschen, dass wir eine Zusatzausbildung oder Zusatzbezeichnung ‘digitale Medizin’ erschaffen könnten. Und in der Zukunft denke ich, dass es sogar noch weitergehen könnte, dass es sogar einen Facharzt für ‘digitale Medizin’ wird.“ (Ewelina Türk, VP Medical Products bei ADA Health)

In Abgrenzung zur Zusatzbezeichnung Medizinische Informatik solle es hier mehr um den **Anwendungsbezug** gehen. Einige Expert*innen gaben jedoch zu **bedenken**, der Bereich sei noch zu dynamisch und es wäre angesichts dessen ungünstig, jetzt Zuständigkeiten zu verteilen und damit die Möglichkeiten zur Gestaltung einzuengen.

„Wir sollten tunlichst vermeiden uns jetzt einzuengen und zu sagen: Nur diejenigen sind für die Entwicklung digitaler Möglichkeiten zuständig und nur die DÜRFEN und KÖNNEN. Sondern um mitzugestalten, sollten wir sehr, sehr offen sein und gucken, wer alles eine Rolle spielen will und kann.“ (Peter Bobbert, Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie, Vorsitzender der Ausschüsse “Digitalisierung der Gesundheitsversorgung” und “Ärztliche Ausbildung und Universitätsmedizin” der Bundesärztekammer)

Medizinische Fortbildung

Die medizinische Fortbildung sei essenziell, um das Thema KI in der Medizin in die Breite der Ärzt*innenschaft zu tragen und insbesondere niedergelassene Allgemein- und Fachärzt*innen mit einer Basisqualifizierung im Bereich KI und digitaler Medizin zu versorgen.

Verantwortlich für die ärztliche Fortbildung sei in erster Linie ebenfalls die ärztliche Standesvertretung, d.h. **Ärztkeammern** und **Kassenärztliche Vereinigungen** (s. Abbildung 20). Eine Empfehlung aus dem Expert*innenkreis an die Ärztekammern war es, für den Bereich KI in der Medizin strukturierte Angebote zu zertifizieren bzw. zu schaffen. Hierbei könne auch auf etablierte Formate aus der medizinischen Ausbildung zurückgegriffen werden.

„Die Mechanismen sind ganz ähnlich, wenn man in Zusammenarbeit mit den Ärztekammern und den wissenschaftlichen Fachgesellschaften entsprechende Fortbildungsangebote machen würde. Und hier würde sich meiner Ansicht nach auch wieder die Online-Variante oder die digitale Variante anbieten.“ (Thorsten Schäfer, Vorstandsvorsitzender Gesellschaft für medizinische Ausbildung)

Die **medizinischen Fachgesellschaften**, die ebenfalls ein breites Fortbildungsangebot besitzen, trügen ebenfalls Verantwortung bei der Implementierung von Lernangeboten zu medizinischer KI in der medizinischen Fortbildung. Sie könnten insbesondere die dynamische Wissenstranslation von der Forschung in die medizinische Praxis und Lehre erleichtern.

Aufgrund des hohen **Qualifizierungsbedarfs** sei es im Bereich Fortbildung besonders wichtig, die verschiedenen Akteure im Rahmen der Umsetzung zu vernetzen und bestehende qualitativ hochwertige (Online-)Angebote CME-zertifizieren zu lassen, um sie dann hochskalieren und einer breiten Zielgruppe zur Verfügung stellen zu können. Dafür eignen sich einigen Expert*innen zufolge Online Lernplattformen.

„Also ich glaube, dieser Qualifizierungsbedarf hat eine ausgeprägte und heterogene Spannweite – von kompakten Basisangeboten hin zu umfassenderen Kursen und Kursen, die sehr in die Tiefe gehen.“ (Sebastian Kuhn, Professor für Digitale Medizin und Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie)

Um den Bedarf zu decken, benötige man sowohl **Basisangebote** (für die Vermittlung der KI-Basiskompetenzen) als auch **Vertiefungsangebote** für spezifische Fachdisziplinen. In der Fortbildung sei der **fachspezifische Anwendungsbezug** besonders essenziell für die erfolgreiche Kompetenzvermittlung. Es wurde außerdem vorgeschlagen, Mediziner*innen fokussierte Fort- und Weiterbildung im Bereich KI und digitale Medizin zu ermöglichen, indem sie dafür Arbeitszeit freigestellt bekommen.

„Ich glaube, wir müssten darüber nachdenken, ob man nicht Ärzt*innen zum Beispiel zehn Prozent ihrer Arbeitszeit für tatsächlich fokussierte Weiterbildung in diesen Bereichen einfach freistellen müsste. Nicht auf Dauer, nicht für immer, aber dass man jetzt zumindest merkt, da kommt doch was Enormes auf uns zu. Und wir müssen das in unseren Fortbildungen und auch Weiterbildungen mit abbilden können. Es geht eben fast nicht während der Arbeitszeit, dafür ist es jetzt vielleicht zu viel und zu fachfremd.“ (David Capper, Professor für Molekulare Neuropathologie)



Abbildung 20: Vorschläge zur Vermittlung der Kompetenzen und Implementierung der Lernangebote zu KI in der Medizin in der medizinischen Fortbildung. Die im Rahmen der Bedarfsanalyse festgestellten Themen umfassen im inneren Ring dargestellte zuordenbare Verantwortlichkeiten (hellblau), den festgestellter hohen Qualifizierungsbedarf (hellgrün) und mögliche Umsetzungskonzepte (violett). Die jeweiligen Kategorien werden im mittleren und äußeren Ring weiter konkretisiert. KVen: Kassenärztliche Vereinigungen, LÄKn: Landesärztekammern.

Rahmenwerke und Lernzielkataloge

In der medizinischen Ausbildung sollten konkrete Lernziele und Kompetenzen in Bezug auf medizinische KI im NKLM abgebildet werden, so Expert*innen. Dabei müssten die Kompetenztiefe und konkrete Inhalte definiert werden sowie eine Lernspirale erkennbar sein.

„Der NKLM ist ja gerade rausgekommen. Es gibt ein Lernziel, das die KI dort sehr global adressiert. Hier müsste man sich über die Details klar werden, was man im Studium erwartet und was da gemacht werden soll. [...] Dass man sich unter Experten einigt, was sind die Lernziele für dieses Projekt „KI-Unterricht“ hinsichtlich des Wissens, hinsichtlich der Fertigkeiten und der Professionalität im Umgang damit?“ (Thorsten Schäfer, Vorstandsvorsitzender Gesellschaft für medizinische Ausbildung)

Eine Forderung im Zusammenhang mit Rahmenwerken und Lernzielkatalogen in der Aus-, Fort-, und Weiterbildung war mehr Flexibilität. Im Kontext eines immer höheren Tempos der Wissensvermehrung und eines bereits überfüllten Medizinstudiums stellten sich neue Anforderungen an die Translation von Evidenz aus der Forschung in die Curricula und Weiterbildungsordnungen. Die Zyklen ihrer Aktualisierung seien deutlich zu lang, um "from bench to bedside" praktizieren und lernen zu können. Den Expert*innen zufolge werden neue Modelle zur Aktualisierung der Curricula und Rahmenwerke in Aus- und Weiterbildung benötigt, sowie flexiblere Möglichkeiten der Curriculum-Gestaltung, um dem Bedarf nachzukommen. Diesbezüglich wurden zum Beispiel Formate, in denen aktuelle und potentiell spannende neue Forschungsthemen oder Produktentwicklungen diskutiert werden, genannt.

„Die Grundvoraussetzung ist, dass man das, was man jetzt realisiert, auch schnell umsetzt, da der Prozess dynamisch und die Wissensentwicklung rasant ist.“ (Peter Bobbert, Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie, Vorsitzender der Ausschüsse "Digitalisierung der Gesundheitsversorgung" und "Ärztliche Ausbildung und Universitätsmedizin" der Bundesärztekammer)

Die Einführung von **Micro-Credentials bzw. Micro-Degrees** für KI-Kompetenzen im Rahmen der ärztlichen Aus-, Fort- und Weiterbildung wäre für einige Expert*innen wünschenswert, um die Qualifizierung der Ärzt*innenschaft attraktiv und quantifizierbar zu machen.

Das Curriculum müsse entlastet und Platz für die benötigten neuen Kompetenzen und Inhalte geschaffen werden. Dazu sollte **das Medizinstudium um einige "veraltete" Inhalte erleichtert werden**. Dabei ginge es vor allem um Fakten- und Detailwissen, das heutzutage noch auswendig gelernt, aber überflüssig werde im Zeitalter von Online-Wissensdatenbanken und mit dem Potential der KI, Evidenz und Wissen sinnvoll und schnell zu konsolidieren und klassifizieren.

„So I could argue that there are other skills that are much more important than knowing all those theoretical anatomy and physiology lessons that we were made to swallow and regurgitate. I think a lot of it was a waste of time, a waste of our talent, and failed to utilize what our brains can do.“ (Leo Anthony Celi, Intensivmediziner und leitender Forscher am MIT Laboratory for Computational Physiology)

4.4. Erfolgsfaktoren für den Kompetenzerwerb

Welche Bedingungen müssen gegeben sein, um den Kompetenzerwerb im Bereich KI für Mediziner*innen so leicht wie möglich zu gestalten? Was müssen Lernende selbst mitbringen? Welche Anforderungen gibt es diesbezüglich an Lehrende?

In diesem Kontext hoben die Expert*innen erneut den **Anwendungsbezug** der KI-Lernangebote als essenziell zur erfolgreichen Vermittlung der KI-Kompetenzen hervor. Das Potential der KI müsse erlebbar sein, fachspezifische Anwendungen müssen ausprobiert werden können. Eine Voraussetzung hierfür sei die tatsächliche Implementierung von KI im klinischen Umfeld, z. B. durch Patient*innen, in der Routineversorgung als Medizinprodukt aber auch im Rahmen von klinischen Studien. Um dies zu ermöglichen und auch mehr Zulassungen von medizinischer KI in Deutschland zu erreichen, sehen Expert*innen die Politik in der Verantwortung, mit entsprechenden Ausschreibungen die Durchführung klinischer Studien mit KI zu ermöglichen.

„Ein ganz wichtiger Punkt ist, dass man selber Erfahrungen mit Coden macht und dass diese Erfahrungen sehr praktisch sind. Beim Programmieren Lernen ist es wichtig, dass die allerersten Schritte super eng begleitet werden. Ansonsten ist das nur ein frustrierendes Erlebnis.“ (Dr. med. Bahman Afzali, Weiterbildungsassistent in der Allgemeinmedizin und Gründer von docport)

Ein weiterer Erfolgsfaktor der Kompetenzvermittlung seien **optimale Lernbedingungen**. Hierunter fielen in Bezug auf KI insbesondere das Entmystifizieren der abstrakten “KI” und die engmaschige Unterstützung beim Programmieren, so die Expert*innen. In der medizinischen Ausbildung müssten vermittelte Kompetenzen auch **geprüft** werden, um den Kompetenzerwerb durch die Studierenden zu sichern.

„Das Zauberwort ist Prüfungsrelevanz, ganz einfach.“ (Thorsten Schäfer, Vorstandsvorsitzender Gesellschaft für medizinische Ausbildung)

Die Lernenden selbst sollten wissbegierig, offen gegenüber KI-Themen sein sowie die Fähigkeit zur kritischen Reflektion besitzen.

*„Von der Ärzt*innen-, von der Medizinstudierendenseite braucht es einfach Wissbegierde, Offenheit aber auch Offenheit zur Kritik, sowohl positiv als auch negativ.“ (Ewelina Türk, VP Medical Products bei ADA Health)*

Zuletzt stünde aufseiten der Lehrenden die **didaktische Kompetenz** im Vordergrund. Sie ständen in der Verantwortung, “Aha-Momente” in der Lehre zu schaffen, die essenziell seien, um die Motivation und das Interesse der Mediziner*innen für das Aneignen der KI-Kompetenzen zu wecken.

„Ich glaube, dass manche verstehen müssen oder sollten, was sich verändert. Dann wird auch Interesse geweckt; diese Wow-Momente, die haben wir ja auch sonst in anderen Veranstaltungen zu anderen Themen. Und das kann, glaube ich, super leicht erzeugt werden. Seien es auch Warnungen, völlig legitim. Dieses “Oh, krass, puh.” (Jeremy Schmidt, Arzt und NOME 2018/2019, bvmd)

4.5. Probleme und Herausforderungen

In der Implementierung von KI-Lernangeboten in der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung identifizieren Expert*innen einige Probleme und Herausforderungen. Dabei betrachten wir hier spezifisch die Herausforderungen im Bereich der medizinischen Bildung und gehen nicht allgemein auf Implementierungshürden für digitale Medizin ein.

4.5.1. Abschnittsübergreifende Probleme und Herausforderungen

Die systemische Hürde für die Implementierung von KI-Lernangeboten in die medizinische Bildung sei zunächst der **schnelle Wissenszuwachs auf dem Gebiet der KI**, der eine Translation aktueller Evidenz in Curricula und Rahmenwerke schwierig mache. Die Erneuerungszyklen des NKLM und der Musterweiterbildungsordnungen seien zu lang, um eine Lehre zu ermöglichen, die auf den neuesten Forschungserkenntnissen basiere.

„Heute ist es die Digitalisierung bzw. KI, in der Zukunft werden andere Themen kommen, die die Medizin beeinflussen. Wir müssen schneller auf solche Themen reagieren. Das Thema NKLM hat jetzt ordentlich Zeit gebraucht in der Diskussion. Und das ist zum Teil echt zu langsam.“ (Sven Meister, Informatiker, Lehrstuhlinhaber für Gesundheitsinformatik)

Zudem wird ein **Mangel an Expert*innen** zu beobachten, die KI-Kompetenzen vermitteln könnten – zum Teil wurde angemerkt, dass andere Sektoren für KI-Expert*innen deutlich attraktivere Bedingungen böten als die Medizin. Durch die nur langsam voranschreitende Digitalisierung des Gesundheitswesens und dementsprechend **limitierte tatsächliche Implementierung** im klinischen Arbeitsalltag sei die so wichtige Möglichkeit der Anwendung von KI-Technologien meist nicht gegeben. Schließlich finde sich die **KI nicht im Pflichtteil** der Rahmenwerke und Lernzielkataloge für die medizinische Aus- und Weiterbildung wieder.

„Die Herausforderung ist, dass wirklich verpflichtend in das Curriculum zu integrieren. Und dann müssen auch an den wenigen Standorten, wo diese Kompetenzen noch nicht da sind, entsprechende neue Professuren eingerichtet werden. Die Online-Angebote sehe ich als [...] eine Art Übergangslösung aber natürlich auch für Weiterbildungszwecke. Die sind ja sehr flexibel nutzbar für verschiedene Zielgruppen.“ (Heinz Handels, Direktor des Instituts für medizinische Informatik der Universität Lübeck)

Auch innerhalb der Strukturen der Bildungseinheiten gäbe es Probleme: an Universitätskliniken werde die **Lehre und Weiterbildung nicht ausreichend priorisiert**. Es finde außerdem **wenig Vernetzung** der Akteure im Bereich der einzelnen Bildungsabschnitte statt, was im Fall der medizinischen Fakultäten oft durch Konkurrenz um (Forschungs-)Finanzierung begründet sei. Die oft **zu theorielastige Gestaltung** der Angebote sei ein weiteres Problem bei der Vermittlung von KI-Kompetenzen. KI-Grundlagen würden manchmal zu didaktischen Zwecken zu stark vereinfacht und nur in der Theorie vorgestellt, was die Translation in die “echte Welt” der Forschung bzw. Praxis erschwere.

„Man muss aufpassen, dass man realitäts- und forschungsnahe Systeme verwendet und nicht den Fehler macht, den wir in der Vergangenheit häufig gemacht haben: Dass man mit zu vereinfachten Textbook-Geschichten arbeitet.“ (Torsten Schwede, Professor für strukturelle Bioinformatik und Vizepräsident für Forschung an der Universität Basel)

4.5.2. Probleme und Herausforderungen – Medizinische Ausbildung

Eine große Herausforderung bei der Implementierung von KI-Lernangeboten in die medizinische Ausbildung sei das bereits **überfrachtete Curriculum**. Das Medizinstudium sei sehr **starr** und biete wenig Möglichkeiten für die Implementierung neuer Inhalte. Es fehle an Flexibilität und Innovationsgeist für die Gestaltung neuer Lernangebote. Das Studium solle zudem forschungsnäher gestaltet werden und in dem Zusammenhang mehr Möglichkeiten zum problemorientierten und kreativen Lernen bieten.

“The way we’ve been trained, we were told that there is a correct answer that you should choose, when in fact, that correct answer is probably going to be correct with certain confidence intervals. We’re very uncomfortable with uncertainty.” (Leo Anthony Celi, Intensivmediziner und leitender Forscher am MIT Laboratory for Computational Physiology)

4.5.3. Probleme und Herausforderungen – Medizinische Fort- und Weiterbildung

Die Expert*innen sahen eine Herausforderung der Vermittlung von KI-Kompetenzen an Ärzt*innen in einem **sehr hohen und heterogenen Qualifizierungsbedarf** innerhalb der Ärzt*innenschaft, der innerhalb der nächsten Jahre gedeckt werden müsse. Zudem seien Fort- und Weiterbildung **schlecht zu überblicken**, da die Bildungslandschaft sehr unübersichtlich sei (viele Akteure, föderales System), zudem in die klinikinternen Fort- und Weiterbildungskonzepte nur schwer Einblick zu bekommen sei und noch schwerer darauf Einfluss genommen werden könne.

*„Die Weiterbildung an sich ist eine ganze harte Nuss zu knacken, weil diese Weiterbildungsordnungen nur in langen Iterationszyklen weiterentwickelt werden und auch in der praktischen Umsetzung nicht bei allen Akteur*innen Beachtung finden.“ (Sebastian Kuhn, Professor für Digitale Medizin und Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie)*

5. Diskussion

5.1. Überblick

Die Notwendigkeit der Vermittlung neuer Kompetenzen im Bereich der Künstlichen Intelligenz und der digitalen Medizin sowie eine Anpassung der medizinischen Aus-, Fort-, und Weiterbildung wird durch die vorliegende Analyse unterstrichen. Die Ergebnisse dieser Erhebung zeigen, dass Bestand und Bedarf an KI-Lernangeboten und Kompetenzvermittlung für Mediziner*innen momentan noch weit auseinanderliegen. Im Folgenden werden, die in der Bedarfsanalyse identifizierten notwendigen Kompetenzen und Konzepte für deren Vermittlung im Zusammenhang mit dem Bestand an KI-Lernangeboten für Mediziner*innen in Deutschland diskutiert.

5.2. KI-Basiskompetenzen für die gesamte Ärzt*innenschaft

Die vorliegenden Studienergebnisse ordnen KI-Basiskompetenzen als essenziell ein, um Ärzt*innen zu befähigen mit KI-Systemen routiniert zu arbeiten. Diese Basiskompetenzen umfassen die Kompetenzen a) zur Indikationsstellung für den Einsatz eines KI-Systems, b) der Bewertung, Interpretation und ggf. Einordnung des Systems und seines Outputs im Rahmen der klinischen Entscheidungsfindung und c) der praktischen Anwendung inklusive der Kommunikation gegenüber Patient*innen und Kolleg*innen im Klinikalltag. Oder, in anderen Worten: “use it, interpret it, explain it” (McCoy et al., 2020). Konkret beinhalten Basiskompetenzen ELSI-Kompetenzen, eine oberflächliche Kenntnis der theoretischen Grundlagen von KI-Systemen sowie der (regelmäßigen) praktischen Anwendung eines KI-Systems. Diese Basiskompetenzen sollten laut den Expert*innen schnellstmöglich an (zukünftige) Ärzt*innen vermittelt werden.

“Auf einer theoretischen Ebene würde ich ein vertiefendes Pflichtseminar anbieten, und zwar Medical Reasoning. Ein Praktikum zum menschlichen Denken, in dem das Denken des Menschen und der Kliniker reflektiert wird, und in dem die Limitierungen des Denkens durch Mengen-, Logik- und Komplexitätsgrenzen, Ermüdung, Hunger, emotionale Erregung etc. aufgezeigt werden. Und um dann gemeinsam zu reflektieren, ob und wie in diesen Grenzbereichen des Arztes oder der Ärztin eine künstliche Intelligenz unterstützend helfen kann.” (Martin Hirsch, Professor für KI in der Medizin und Gründer ADA Health)



Abbildung 21: KI-Basiskompetenzen für Mediziner*innen.

Digitale Kompetenzen des Gesundheitspersonals werden als eine wichtige Voraussetzung für die effektive digitale Transformation im Gesundheitswesen angesehen und priorisiert (EIT Health & McKinsey & Company, 2020; E. Topol, 2019b; World Health Organization, 2019). Die Europäische Kommission legte am 21. April 2021 den ersten Vorschlag für eine Verordnung zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für KI vor, in der auch die Anforderungen an Personen, die die Aufsicht über ein Hochrisiko-KI-System übernehmen, definiert werden. Die Verantwortung der menschlichen Aufsicht über KI-gestützte Medizinprodukte (welche laut Gesetzentwurf im Hinblick auf die Einordnung als hochriskant zu prüfen sind) wird mehrheitlich Ärzt*innen übertragen werden. Kompetenzen, die die EU-Kommission für die Übernahme dieser Verantwortung voraussetzt, entsprechen weitgehend den in dieser Studie definierten Basiskompetenzen: Aufsichtspersonen sollen zur Reflektion der Limitationen von KI-Systemen und zur Interpretation ihrer Ergebnisse in der Lage sein. Auch ein Bewusstsein über den sogenannten "Automatisierungsbias" – d.h. die Neigung, den Ergebnissen eines KI-Systems automatisch oder übermäßig zu vertrauen – wird in dem Gesetzentwurf von Personen gefordert, die die menschliche Aufsicht eines Hochrisiko-KI-Systems übernehmen.

Insbesondere müsse gewährleistet sein, dass *"die natürlichen Personen, denen die menschliche Aufsicht übertragen wurde, über die erforderliche Kompetenz, Ausbildung und Befugnis verfügen, um diese Aufgabe wahrzunehmen."* (Europäische Kommission, 2021). Die Qualifizierung von Ärzt*innen mit KI-Basiskompetenzen könnte demnach bald europaweit gesetzlich vorgeschrieben sein. Inwieweit sind Basiskompetenzen in Bezug auf KI nun in der medizinischen Aus-, Fort und Weiterbildung implementiert?

„Nicht jede*r muss KI-Expert*in am Ende sein. Aber genauso, wie wir Ärzt*innen im Studium ein Grundverständnis für Erkrankungen jedes Faches oder für die Auswertung einer wissenschaftlichen Studie erlangen sollten, benötigen wir ein Grundverständnis der Anwendung künstlicher Intelligenz.“ (Max Tischler, Facharzt für Dermatologie)

An zehn von insgesamt 38 in dieser Studie betrachteten medizinischen Ausbildungsstätten sind keine Lernangebote zum Thema KI vorhanden. Dort, wo es Angebote gibt, sind diese hauptsächlich im Wahl(pflicht)bereich angesiedelt, nur eine Universität gab an, KI-Lernziele holistisch im Kerncurriculum implementiert zu haben.

Inhaltlich werden die Basiskompetenzen folgendermaßen abgedeckt: Ethische, rechtliche und soziale Fragen werden von fast allen (25/28) medizinischen Ausbildungsstätten mit KI-Lernangeboten berücksichtigt. An fast allen Einrichtungen (26/28) werden Themen, die wir zu den Grundlagen der KI in der Medizin zählen, mit mindestens einem Kurs behandelt. Für den dritten Bestandteil der Basiskompetenzen, die praktische Anwendung der KI-Systeme, gibt es an 26 Einrichtungen der medizinischen Ausbildung entsprechende Angebote.

Auch in den wenigen Fortbildungsangeboten, die wir identifizieren konnten (insgesamt sieben Angebote der Ärztekammern, 30/87.136 Angebote in der bundesweiten Fortbildungssuche der BÄK), sind ELSI ein wichtiges Kompetenzfeld, insbesondere in den vereinzelt vorhandenen strukturierten Fortbildungen basierend auf dem BÄK-Curriculum Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik (z. B. "Kompetent in die Medizin im digitalen Zeitalter" der Berliner Ärztekammer). Zudem finden sich im Bereich der Fortbildung zwar vor allem anwendungsbezogene KI-Lernangebote, jedoch legen die Formate (hauptsächlich Vorträge oder Online-/Print-Medien) nahe, dass die tatsächliche praktische Anwendung hier zu kurz kommt. Wünschenswert wäre im Sinne der Bedarfsanalyse, dass die routinierte Nutzung der KI-Systeme auch an konkreten Beispielen erprobt wird. Die Sächsische LÄK hat dies in ihrem

interdisziplinären und anwendungsbezogenen Konzept beispielhaft umgesetzt – wenn auch aufgrund der COVID-19 Pandemie nicht vollständig durchführen können (Sächsische Landesärztekammer, o. J.-a).

In der medizinischen Weiterbildung sind KI-Basiskompetenzen nur in der Zusatzbezeichnung Medizinische Informatik abgebildet. Die Breite der Ärzt*innen in Weiterbildung wird nicht erreicht. Das Vorhaben des europäischen Facharztverbands (UEMS), die Verankerung von KI-bezogenen Lernzielen in Facharztcurricula zu diskutieren, bietet die Möglichkeit, standardisierte KI-Kompetenzen für Mediziner*innen zu definieren und infolgedessen Best Practices in die nationalen Weiterbildungsordnungen zu übernehmen.

Die internationalen Beispiele aus Großbritannien (Health Education England, o. J.-a) und Finnland (MEDigi, o. J.) können mit ihrem Ansatz, eine umfassende Qualifizierung des Gesundheitspersonals mit digitalen (und KI-) Kompetenzen zu erreichen, als Vorbilder dienen. Aktuell stellt auch der erschwerte Zugang zu konkreten Lernangeboten eine Hürde für den Erwerb von KI-Basiskompetenzen dar. Eine zentrale Plattform wie die „NHS Digital Academy“ in Großbritannien, kann dabei helfen, dieses Problem zu lösen (National Health Service, o. J.).

Um den Bedarf an KI-kompetenten Ärzt*innen in Zukunft zu decken, muss die Basisqualifizierung in allen Abschnitten der medizinischen Bildung – insbesondere in der ärztlichen Fort- und Weiterbildung – mit konkreten, skalierbaren und zielgruppenorientierten Konzepten angegangen werden (E. Topol, 2019b).

5.3. Tiefergehende KI-Kompetenzen – Translation aus der Lehre in die Forschung

In der Forschung kann KI dazu beitragen, große Datenmengen schnell und mehrdimensional auszuwerten. Dies legt den Grundstein für die personalisierte Medizin, deren Umsetzung immense Verbesserungen für die Effizienz und Genauigkeit medizinischer Diagnostik und Therapie, aber auch für die sekundäre Prävention verspricht (Khoury, 2019; PricewaterhouseCoopers, 2017). Die effektive Translation von KI in die klinische Praxis ist erschwert durch methodisch schwache Publikationen und mangelnde klinische Evaluation der KI-Modelle einhergehend mit einem Mangel an Interpretierbarkeit, Reproduzierbarkeit und Generalisierbarkeit (Kelly et al., 2019; Olczak et al., 2021). Um diese Probleme zu lösen und den klinischen Nutzen zu erhöhen, sollten wissenschaftliche Fragestellungen und medizinische Nutzbarkeit in Bezug auf KI-Modelle durch Mediziner*innen eingeordnet werden, so die Ergebnisse der Bedarfsanalyse. Die forschenden Ärzt*innen benötigen dementsprechend ein tiefergehendes Verständnis der theoretischen und technischen Grundlagen von KI. Dieser Themenkomplex umfasst mathematische Grundlagen der KI, Grundlagen der Wissensrepräsentation und Inferenz, der Datenwissenschaft sowie die Einführung in die Funktionsprinzipien verschiedener Arten der KI (Konzepte des maschinellen Lernens, Schlussfolgerungs- und Expertensysteme, statistische Ansätze, Bayessche Methoden).

Unsere Ergebnisse legen nahe, dass diese tiefergehenden KI-Kompetenzen in der medizinischen Ausbildung als Wahl(pflicht)angebote oder im Rahmen von Projektarbeiten repräsentiert sein müssen. Eng mit der Forschung verzahnte, interdisziplinäre Angebote sollten interessierten Studierenden zur Verfügung gestellt werden. Dies wird zum Teil an deutschen medizinischen Fakultäten schon realisiert: in Heidelberg wird beispielsweise ein interdisziplinärer Kurs zum Thema medizinische KI angeboten, in dem Studierende der Informatik und der Medizin gemeinsam eine wissenschaftliche Fragestellung lösen. Die

Verzahnung von Lehre, Forschung und Klinik mit der Schwerpunktsetzung digitale Medizin bzw. KI findet beispielhaft in Digital Clinician Scientist Programmen statt, wie sie in Berlin und Bielefeld bereits implementiert sind (Berlin Institute of Health, o. J.; Universität Bielefeld, o. J.).

Für die Schnittstelle Lehre – Forschung – Klinik bietet sich projektbasiertes, interprofessionelles Lernen in interaktiven Kleingruppen anhand von “Real-Life” Szenarien an. Optimalerweise sind diese übertragbar, reproduzierbar und skalierbar für die Forschung. Dafür können beispielsweise öffentlich verfügbare Datenbanken wie die MIMIC database oder die eICU Collaborative Research Database genutzt werden (Johnson et al., 2016; Pollard et al., 2018). Hackathons oder Datathons sind Formate, die diesen Ansatz verfolgen und zusätzlich dazu beitragen können, Soft Skills wie interdisziplinäre Kommunikation, Teamfähigkeit, Zeitmanagement und Präsentationsfertigkeiten zu erwerben (Butt et al., 2021; Poncette et al., 2020). Auch das Konzept des “Village Mentoring”, bei dem Lernende ein umfassendes Netzwerk von Expert*innen zu ihrem Projekt konsultieren können (Cosgriff et al., 2021), kann in diesem Setting ein großes Potential entfalten.

Der Bezug zur Forschung einschließlich der Vermittlung guter wissenschaftlicher Praxis wird mit dem zunehmenden Einzug von KI in die Medizin für die medizinische Ausbildung und Praxis immer wichtiger. Um medizinische Exzellenz für die KI-Forschung zu schaffen, sollten vertiefende Kompetenzen projektbasiert und interdisziplinär vermittelt werden. Beispiele für in die Forschung übertragbare Angebote in Aus- und Weiterbildung sind Hackathons, interdisziplinäre Semesterarbeiten oder Digital Clinician Scientist Programme.

5.4. Übergeordnete Kompetenzen

Prozesse und Workflows im gesamten Gesundheitswesen – z. B. in der Prävention, Forschung oder Gesundheitsversorgung, im stationären wie auch im ambulanten Bereich – entwickeln sich durch KI weiter. So kann KI als erste Ansprechpartnerin oder Anlaufstelle von Patient*innen bei einem gesundheitlichen Problem genutzt werden, bevor eine Ärztin/ein Arzt kontaktiert wird (Loder & Nicholas, 2018). Patient*innendaten aus digitalen Anamnesebögen oder Symptomcheckerapps werden durch KI-Modelle strukturiert und zur Vor- oder Nachbereitung eines Arztbesuchs, zur Triage in der Notaufnahme oder als Entscheidungshilfe für Diagnostik- und Therapieeinleitung verwendet (Ryan et al., 2019; Schlupeck, 2021). Dabei sollten die Bedürfnisse der Patient*innen im Mittelpunkt stehen, insbesondere müssen ihre Bedenken und Ängste durch Ärzt*innen adressiert und bei Bedarf über die verwendeten KI-Systeme aufgeklärt werden (Budde et al., 2020; Schulz & Nakamoto, 2013). Durch die Übernahme von Routineaufgaben und Automatisierungsprozessen ermöglichen KI-Systeme eine Entlastung der Ärzt*innen, führen jedoch auch zu einer Verschiebung der Tätigkeiten mit Fokus auf höherwertige Tätigkeiten (García et al., 2020). Dies erfordert zum einen Konzepte zur Gestaltung der Workflow-Integration von KI, zum anderen ein gefestigtes ärztliches Selbstverständnis sowie eine Rückbesinnung und Stärkung übergeordneter ärztlicher Kompetenzen. Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen: Um das Potential der KI zur Verbesserung der Arzt/Ärztin-Patient*in-Beziehung zu realisieren und wieder mehr Menschlichkeit in der Medizin zu ermöglichen, stellen klinische Entscheidungsfindung, Interprofessionelle Zusammenarbeit und die ärztliche Gesprächsführung essenzielle Qualifikationen der (zukünftigen) Ärzt*innen dar (Baalen et al., 2021; Pinnock et al., 2020; E. Topol, 2019a; E. J. Topol, 2019). Diese übergeordneten Kompetenzen sollten in den Bildungskonzepten noch stärker abgebildet werden: Insbesondere sind neue Lernansätze (“learn, how to learn”), ein Fokus auf Interprofessionalität bereits im Studium und neue Prüfungsformate (weg vom “Kreuzen”) erforderlich, um Ärzt*innen auf die Veränderungen durch KI vorzubereiten.

5.5. Formate, Qualifizierungsmodelle und Berufsbilder

Die Verlagerung von Tätigkeitsfeldern durch den vermehrten Einsatz von KI führt zur Veränderung der Workforce: Neue Kompetenzprofile "alter" Berufe entstehen, neue Professionen entstehen bzw. werden im Gesundheitssektor integriert, zudem benötigen Umsetzer*innen und Gestalter*innen des digitalen Wandels neue Qualifikationen, die die oben diskutierten, neuen Kompetenzen abbilden (García et al., 2020). Diesbezüglich zeigt sich eine deutliche Entwicklung, nicht nur im Medizinsektor – in Deutschland werden im EU27-Vergleich die meisten Qualifikationsprogramme zur KI-Spezialisierung angeboten (Zhang et al., 2021). Dieser Trend spiegelt sich im Gesundheitsbereich wider: Im Jahr 2020 und 2021 wurden neun Masterstudiengänge im Bereich KI und Medizin für Mediziner*innen etabliert. Inhaltlich werden o.g. Forschungskompetenzen in Bezug auf KI, aber auch Innovation Management und ELSI Aspekte vermittelt. Als Qualifizierungsnachweis ist der Abschluss eines Masterstudienganges aus diesem Feld auch laut den befragten Expert*innen eine gangbare Alternative zur sehr theorielastigen und wenig anwendungsbezogenen Zusatzbezeichnung Medizinische Informatik.

Zudem geht der Trend in Richtung Micro-Credentials und Micro Degrees, wie auch die Bedarfsanalyse ergab. Diese Qualifikationen bzw. Zertifikate weisen Lernergebnisse nach, die in kurzen, transparent bewerteten Kursen oder Modulen erworben werden, wobei das Grundprinzip die größtmögliche Modularisierung und Aggregationsfähigkeit der Inhalte darstellt (Europäische Kommission, 2020; Hochschulrektorenkonferenz, 2020; Rampelt et al., 2019). Die Europäische Kommission hebt das Potential dieser Qualifikationsmodelle zur flexiblen, dynamischen Qualifizierung (Upskilling und Reskilling) von Fachkräften in Anpassung an die sich verändernden Anforderungen des Arbeitsmarkts (Europäische Kommission, 2020) hervor. Micro-Credentials für KI-Kompetenzen könnten beispielsweise im Rahmen von vertiefenden Wahl(pflicht)angeboten in der medizinischen Ausbildung oder über Abschlusszertifikate von Online-Lernangeboten auf digitalen Plattformen vergeben bzw. erworben werden.

Bildungskonzepte müssen die Vermittlung übergeordneter ärztlicher Kompetenzen priorisieren. Statt passiver Wissensakkumulation braucht es im Medizinstudium mehr problemorientierte, diskursive Lernangebote, mehr Fokus auf Interprofessionalität, ärztliche Gesprächsführung und klinische Entscheidungsfindung sowie neue Prüfungsformate. Um dem immensen und heterogenen Qualifizierungsbedarf innerhalb der Ärzt*innenschaft beizukommen, können neue Masterstudiengänge aber auch Micro-Credentials bzw. Micro Degrees sinnvolle Beiträge zur flexiblen Qualifizierung von Mediziner*innen leisten. Es entsteht so die Chance, auf die dynamischen Veränderungen der Arbeitsmarktanforderungen schneller zu reagieren aber auch die rasanten Veränderungen, die gerade mit Blick auf das Themenfeld KI aktuell stattfinden, rechtzeitig in der Lehre zu reflektieren.

6. Schlussfolgerungen / Handlungsempfehlungen

6.1. Übersicht

Die Erhebung zeigt eine große Lücke zwischen Bestand und Bedarf an KI-Lernangeboten in der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung, wobei die Ausbildungsstätten bereits größtenteils daran arbeiten, diese Lücke zu schließen. Es besteht Handlungsbedarf, insbesondere in der medizinischen Fort- und Weiterbildung.

Angesichts der schnellen und dynamischen Entwicklung ist die Ausformulierung sehr spezifischer Lernziele für die KI nicht der Weg, den es zu gehen gilt. Vielmehr sollten allgemeine Kompetenzen identifiziert werden, deren Vermittlung und konkrete Definition nach der aktuellen Forschungslage und dem Berufsalltag (zukünftiger) Ärzt*innen ausgerichtet werden kann. Insbesondere sind flexible, interaktive Lernformate notwendig, wobei digitale Angebote wichtige Pfeiler bei der Vermittlung von KI-Kompetenzen darstellen können.

Wir legen mit diesem Bericht Vorschläge und Empfehlungen für die Implementierung von KI-Basiskompetenzen in allen Abschnitten der Mediziner*innenbildung vor. Diese Basiskompetenzen wurden auf Grundlage der Analyse von Expert*inneninterviews und unter Berücksichtigung der aktuellen wissenschaftlichen Literatur hierzu definiert. Basiskompetenzen bezüglich medizinischer KI müssen im Medizinstudium vermittelt und über die ärztliche Fort- und Weiterbildung fachbezogen erprobt, spezialisiert und aktualisiert werden.

6.2. Rahmenbedingungen für die Implementierung der Lernangebote

Mediziner*innen müssen den Wandel der Medizin durch Digitalisierung und KI im Speziellen mitgestalten – dazu müssen sie umfassend befähigt werden. Um Ärzt*innen für einen kompetenten, verantwortungsbewussten Umgang mit KI-Systemen zu qualifizieren, der die Patient*innen in den Mittelpunkt stellt, sollten alle relevanten Akteure beteiligt sein und gemeinsam an einem Strang ziehen (s. Abbildung 22). In diesem Sinne sollte die Zusammenarbeit und Vernetzung der Stakeholder in den verschiedenen Bildungsabschnitten sowie mit den Handlungsbefugten der Politik weiter forciert werden.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen: Ein maßgeblicher Erfolgsfaktor für den KI-Kompetenzerwerb ist der Anwendungsbezug der Lehr- und Lernformate zu KI in der Medizin. Die Voraussetzung für anwendungsbezogene Lernangebote ist die Zulassung und nachfolgend die tatsächliche Implementierung von KI-Technologien in der klinischen Praxis. Hier ist die Politik in der Verantwortung, die rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen zu schaffen. Auf europäischer Ebene wurde mit dem Vorschlag für eine Verordnung zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für KI ein wichtiger Schritt in Richtung einer KI-Gesetzgebung getan. Finanziell sollte die Exekutive (speziell die Ministerien für Gesundheit [BMG], sowie für Bildung und Forschung [BMBF]) durch die Incentivierung klinischer Studien die Erprobung, Zulassung und damit Implementierung von KI-Verfahren in der Medizin fördern.



Abbildung 22: Vorschläge für Rahmenbedingungen der Implementierung von KI-Kompetenzen für Mediziner*innen sowie deren Umsetzung in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung. BMG: Bundesministerium für Gesundheit, ÄApprO: Ärztliche Approbationsordnung, MFT: Medizinischer Fakultätentag, IMPP: Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen, NKLM: Nationaler Kompetenzbasierter Lernzielkatalog Medizin, (M)WBO: (Muster-)Weiterbildungsordnung.

6.3. Medizinische Ausbildung

KI-bezogene Basiskompetenzen sollten im Pflichtcurriculum des Medizinstudiums verankert werden, sind sich die für diese Studie befragten Expert*innen einig. Zudem sollten vertiefende KI-Kompetenzen im Rahmen von Wahlpflichtveranstaltungen erworben werden können. Der aktuelle Reformprozess des Medizinstudiums bietet die Chance einer zügigen Implementierung neuer Lehrinhalte und -konzepte wie KI-Kompetenzen.

Die Deutsche Hochschulmedizin e.V., bestehend aus dem Verband der Universitätsklinika Deutschlands sowie dem MFT, hebt in ihrem Kommentar zum Referentenentwurf der neuen ÄApprO die Notwendigkeit von mehr Freiräumen und Flexibilität in NKLM/GK und medizinischen Curricula für Weiterentwicklungen und Innovationen hervor und begrüßt die Bestrebungen, mehr digitale Lehrformate einzusetzen sowie

die Verankerung von digitalen Kompetenzen im Medizinstudium (Deutsche Hochschulmedizin et al., 2021). Jedoch: Dem rechtlich vorgesehenen Inkrafttreten der Approbationsordnung für Ärzte (ÄApprO) folgend, würden die ersten Mediziner*innen einen Studienabschluss mit flächendeckender Pflichtlehre und Prüfung von digitalen Kompetenzen erst 2031 erlangen. Dies erscheint hinsichtlich des disruptiven Wandels inklusive der fortschreitenden Implementierung künstlicher Intelligenz in die Versorgung deutlich zu spät: Bereits jetzt fühlen sich Medizinstudierende nicht ausreichend auf die digitale Transformation vorbereitet (Kassenärztliche Bundesvereinigung, 2019; Machleid et al., 2020). Lernangebote hierzu finden nur an einem Bruchteil der Fakultäten und dort zumeist im Wahlpflichtbereich für wenige Studierende statt (Aulenkamp et al., 2021). Diese Studie bestätigt dies für KI-bezogene Kompetenzen: Lernangebote der medizinischen Ausbildungsstätten finden sich zum Großteil im Wahl(pflicht)teil des Medizinstudiums wieder.

Einige Fakultäten bezeichnen digitale Kompetenzen als einen der ersten neuen Inhalte, die bereits vor Inkrafttreten der ÄApprO in 2025 umgesetzt, gelehrt sowie im netzwerkübergreifenden Austausch adaptiert und vervielfältigt werden sollen. Dieser Ansatz sollte nach den Ergebnissen dieser Studie auch für KI-Kompetenzen verfolgt werden: Sogenannte „Leuchtturm-Fakultäten“ gehen anderen Einrichtungen wegweisend voraus und bringen ihre Erfahrung z. B. in der Einrichtung dedizierter Lehrstühle für digitale Medizin und/oder Künstliche Intelligenz in den bildungspolitischen Diskurs ein. Die Entwicklung zeichnet sich bereits ab – in den letzten Jahren ist die Zahl implementierter KI-bezogener Lernangebote an medizinischen Ausbildungsstätten in Deutschland jedes Jahr gewachsen.

Die Bestandsanalyse zeigt, dass medizinische Fakultäten und Hochschulen vertiefende Lernangebote im Bereich der Grundlagen von KI bereits weitgehend im Rahmen von Wahlpflichtveranstaltungen implementiert haben. Es gilt hier, den Forschungsbezug dieser Angebote zu stärken und projektbasierte, interdisziplinäre Kleingruppenformate für interessierte Studierende zu schaffen, leicht skalier- und übertragbar in reale Forschungssettings und begleitet durch ein Village-Mentoring Konzept.

Der Bedarf nach Flexibilität und neuen Kompetenzen wird auch im Bildungsangebot sichtbar, wie unsere Bestandsanalyse nahelegt: während in der „traditionellen“ medizinischen Weiter- und Fortbildung keine bzw. nur geringfügige Veränderungen zu beobachten sind, wurden in Deutschland in 2021 und 2020 neun Masterstudiengänge für Mediziner*innen aufgelegt, die KI-bezogene Kompetenzen vermitteln.

Implementierung digitaler und KI-bezogener Kompetenzen ins Medizinstudium

Mit der neuen ÄApprO sowie der Reform des NKLM und GK existieren die national übergreifenden inhaltlichen und regulatorischen Grundlagen für die Implementierung digitaler und KI-bezogener Kompetenzen ins Medizinstudium. Damit ist für die kommenden Jahre die Möglichkeit für eine zügige lokale Umsetzung an jeder einzelnen Fakultät gegeben. Es ist notwendig, dass an *Leuchtturm-Fakultäten* bereits bestehende Lernzielkataloge und Pilotprojekte weiter evaluiert und mit anderen Fakultäten geteilt werden, um dort in lokalen Gremien das Bewusstsein zu schärfen und die Implementierung in die Pflichtlehre und -prüfung voranzutreiben. Nicht nur neue Kompetenzen, sondern auch neue Formate sind notwendig: Digitale Lernangebote können insbesondere, aber nicht nur für die Grundlagenvermittlung und als Vorbereitung auf Hands-On-Vertiefungen ein wichtiger Grundbaustein für die schnelle Implementierung in der Breite sein. Wesentlich wird sein, die Inhalte kompetenzorientiert und dynamisch am stetigen Wandel des voraussichtlichen Berufsalltags der Studierenden auszurichten.

6.4. Weiterbildung

KI-bezogene Kompetenzen sollten in der medizinischen Weiterbildung ausgebaut und insbesondere fachspezifisch vertieft werden. Indes hat die Vermittlung digitaler und KI-bezogener Kompetenzen bislang keinen Einzug in die (Muster-)Weiterbildungsordnungen der Facharztweiterbildungen gefunden. Lediglich die Zusatz-Weiterbildung „Medizinische Informatik“ integriert entsprechende Inhalte. Eine Herausforderung stellt die seltene Überarbeitung der (Muster-)Weiterbildungsordnung der Bundesärztekammer in Kombination mit der rasanten Entwicklung in der KI-Forschung dar: eine schnelle Wissenstranslation in den Alltag der Facharztweiterbildungen ist so unmöglich. Dennoch sollte eine Integration von Lernzielen mit KI-Bezug, ähnlich wie für den NKLM 2.0 vorgesehen, durch die Landesärztekammern (LÄKn) umgesetzt werden – die Ausgestaltung der Kompetenzvermittlung könnte dann orientiert an den zukünftigen Veränderungen des Berufsalltags der Ärzt*innen in Weiterbildung flexibel und dynamisch angepasst werden.

Um *klinische* Expert*innen für KI in der Medizin zu schaffen, wird als Ergebnis der Bedarfsanalyse die Implementierung einer Facharztweiterbildung „Digitale Medizin“ bzw. einer Zusatzbezeichnung „KI in der Medizin“ zur Diskussion gestellt.

Um *wissenschaftliche* Exzellenz zu schaffen und die medizinische Perspektive in der KI-Forschung nicht zu verlieren, sollten Mediziner*innen in Weiterbildung Karrierewege im Bereich KI und Medizin aufgezeigt werden. Die Digital Clinician Scientist Programme in Berlin und Bielefeld, aber auch die vielen neu entstehenden Masterstudiengänge tragen dazu bei.

Eine weitere Herausforderung stellt die eingeschränkte Überwachbarkeit bei der Umsetzung der Kompetenzvermittlung in der Weiterbildung dar. Klinikinterne Weiterbildungskonzepte variieren stark und sind nur schlecht einsehbar. Deshalb sind hier die Kliniken, welche Fachärzt*innen ausbilden, mit in der Verantwortung – auch in Bezug auf die Bereitstellung der digitalen Infrastruktur. Besonderer Fokus sollte in der Weiterbildung auf die angewandte Erfahrung in der klinischen Praxis sowie die fachspezifische Vertiefung mit KI-Systemen gelegt werden.

Verankerung von KI in der Weiterbildung

Ärztekammern in Deutschland sollten für eine fachspezifische Kompetenzbildung im Bereich KI entsprechende Lernziele in der (Muster-)Weiterbildungsordnung verankern und die Einführung eines Facharztes für digitale Medizin oder einer Zusatzbezeichnung erwägen. Weiterbildungsinstitutionen sollten die Basiskompetenzen für KI in der Medizin in ihrem Weiterbildungskonzept berücksichtigen sowie eine anwendungsorientierte Kompetenzvermittlung ermöglichen.

6.5. Fortbildung

Fortbildungsangebote sind essenziell, um KI-(Basis-)Kompetenzen in die Breite der Ärzt*innenschaft zu tragen – aufgrund der Pflicht zur fachlichen Fortbildung werden potentiell auch niedergelassene (Fach-)Ärzt*innen erreicht werden. Dies geschieht jedoch aktuell noch nicht. Es besteht ein breiter und heterogener Bedarf an Qualifizierung. Um dem gerecht zu werden, sollten sowohl Basis- als auch Vertiefungsangebote durch die LÄKn zertifiziert bzw. konzipiert werden. Die Fachgesellschaften können als Bindeglied zwischen Forschung, Lehre und Praxis agieren und so strukturierte Fortbildungsangebote mitgestalten, die durch die LÄKn zertifiziert werden. Unseren Ergebnissen zu Folge weisen jedoch lediglich drei der 87.136 CME-zertifizierten Fortbildungskurse mit größerem Umfang (d.h. mit mehr als 3 CME-

Fortbildungspunkten) im Veranstaltungstitel einen Bezug zu künstlicher Intelligenz auf. Nur sechs von 17 LÄKn bieten eigene Fortbildungskurse mit KI-Bezug an, nur drei richten sich dabei nach dem BÄK-Curriculum "Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik" und nur eine von 17 LÄKn bietet selbst mehr als einen Fortbildungskurs an. Sieben LÄKn gaben an, dass die Entwicklung KI-bezogener Fortbildungskurse derzeit nicht geplant bzw. priorisiert wird. Eine Einschränkung der Vorgehensweise ist der fehlende Einblick in klinikinterne Fortbildungen sowie die lückenhafte Erfassung der Angebote privater Anbieter und der Fachgesellschaften. Das Beispiel der Deutschen Röntgengesellschaft zeigt jedoch, dass Jahreskongresse und Fachtagungen der Fachgesellschaften den notwendigen Rahmen für eine effektive Verzahnung der aktuellen Forschung mit der Implementierung in die Praxis der Fortbildungen darstellen können.

Zur breitflächigen, ortsunabhängigen Dissemination der Inhalte (v.a. in Form von Online-Kursen) können digitale Infrastrukturen genutzt werden. Bei optimaler Vernetzung der jeweiligen Akteure könnte so ein leicht skalierbares Fortbildungsnetzwerk geschaffen werden, das vor allem der umfassenden KI-Basisqualifizierung der (niedergelassenen) Ärzt*innenschaft dienen kann.

Zertifizierung von KI-Fortbildungsangeboten

Die Ärztekammern sollten die Zertifizierung und Konzeption strukturierter Fortbildungsangebote zur Vermittlung von KI-Basiskompetenzen und zur fach- und anwendungsbezogenen Vertiefung priorisieren. Fachgesellschaften können auf ihren Jahreskongressen die Wissenstranslation von der Forschung in die Praxis fokussieren. Zur breitflächigen KI-Basisqualifizierung sollten CME-zertifizierte Online-Angebote an die Ärzt*innenschaft herangetragen werden.

6.6. Digitale Formate: MOOCs, Micro-Credentials & Micro-Degrees

Neue Workflows, neue Berufsbilder und ein schneller und sehr dynamischer Wandlungsprozess der Medizin durch die Digitalisierung und die Einführung von KI erfordern neue Konzepte zur Qualifikation von Fachkräften – auch von Ärzt*innen. Die Curricula der medizinischen Bildung können nicht Schritt halten mit dem rasanten Wachstum an Evidenz und Wissen, eine adäquate Wissenstranslation in Lehre und Praxis ist momentan mit starren Rahmenwerken und Formaten oft nicht schnell genug möglich.

Online-Lernangebote und neue, digitale Zertifikate werden laut den Expert*innen, die für diese Studie befragt wurden, bei der flächendeckenden Kompetenzvermittlung eine essenzielle Rolle spielen. Bereits heute existieren zahlreiche MOOCs, mit denen sich Mediziner*innen fortbilden können, aber auch evidenzbasierte Empfehlungen für digitales Lehren und Lernen an Hochschulen (Schultz-Pernice et al., 2020). Dreizehn der 38 in die Studie eingeschlossenen medizinischen Fakultäten setzen bereits Blended- oder Online-Lernangebote für die Vermittlung von KI-Kompetenzen ein. Hier besteht laut den für diese Studie befragten Expert*innen ein noch deutlich größeres Potential. Im Sinne von flexiblen Möglichkeiten zur Qualifizierung und zum Zertifikatserwerb sowie eines agilen, modularen Lernzielmanagements sollten sie in Form von Micro-Credentials für das Medizinstudium und die Weiterbildung anerkannt bzw. angerechnet werden können (Rampelt et al., 2018; Schemmann et al., 2020).

Expert*innen betonten in dem Zusammenhang aber auch ganz besonders die Wichtigkeit von diskursiven und interaktiven Lernmodellen vor allem im Onlinebereich. Dies könne auf digitalen Plattformen mit verschiedenen integrierten digitalen Formaten und zusätzlichen Chatfunktionen bzw. Foren und Diskussionsräumen ermöglicht werden (Kuhn et al., 2019). In Deutschland existiert mit dem KI-Campus eine digitale Plattform mit Lernangeboten zu KI in der Medizin, die das Potential hat,

maßgeblich zur KI-Kompetenzentwicklung von Mediziner*innen beizutragen und ein digitales Lernökosystem für KI in der Medizin aufzubauen. Vernetzung und Austausch der Akteure ist hierbei essenziell – um die verfügbaren Ressourcen zu schonen, sollten bestehende Konzepte, Angebote und Materialien noch häufiger übertragen, nachgenutzt und adaptiert werden.

International wird der Bedarf an neuen Qualifikationskonzepten, gerade auf nationaler Ebene, oft sehr proaktiv angegangen: das MEDigi Projekt in Finnland stellt über eine Online-Plattform ein breitflächiges Angebot zur Vermittlung von digitalen Kompetenzen für die Gesundheits- und Heilberufe zur Verfügung (MEDigi, o. J.). In Großbritannien wird das Upskilling des gesamten Personals im Gesundheitswesen hoch auf die Agenda gesetzt: mit dem *Digital Readiness Programme* sollen alle mit in den digitalen Transformationsprozess integriert und für diese Teilhabe qualifiziert werden (Health Education England, o. J.-a).

Um dem immensen und heterogenen Qualifizierungsbedarf innerhalb der Ärzt*innenschaft zu begegnen, können Online-Kurse mit Zertifikaten in Form von Micro-Credentials und übergreifende digitale Qualifizierungsangebote bzw. Module in Form von Micro-Degrees sinnvolle Beiträge zur flexiblen, zertifizierten Qualifizierung von Mediziner*innen leisten, angepasst an die dynamischen Veränderungen der Arbeitsmarktanforderungen.

Dafür muss sich aber auch die "traditionelle" medizinische Bildungslandschaft verändern. So mangelt es bislang an Impulsen der verantwortlichen Akteure, insbesondere innerhalb der Ärzt*innenschaft, um solche digitalen Formate in der medizinischen Aus-, Weiter- und Fortbildung zu institutionalisieren. Ein erster Schritt in diese Richtung ist das wachsende Angebot digitaler Formate im Bereich der CME-Fortbildungen. Die übergreifende Zukunft der Vermittlung von KI-bezogenen Kompetenzen über jeweils passende digitale Formate muss gerade für Deutschland aber erst noch gestaltet werden.

Integration von digitalen Formaten und digitalen Lernangeboten in die Aus-, Fort- und Weiterbildung

Der Medizinbereich sollte auch in Deutschland die dynamische Entwicklung von digitalen Lernangeboten stärker proaktiv mitgestalten. Digitale Formate und digitale Lernangebote sollten dabei noch gezielter in die Aus-, Fort- und Weiterbildung integriert werden. Neue Anerkennungs- und Qualifizierungswege sollten geschaffen und mit der gemeinsamen Nutzung digitaler Plattformen verknüpft werden.

7. Abkürzungsverzeichnis

(M)WBO: (Muster-)Weiterbildungsordnung
ACCME: Accreditation council for continuing medical education
AI: Artificial intelligence
AIIS: Artificial Intelligence, Innovation & Society
ÄApprO: Ärztliche Approbationsordnung
AWMF: Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BÄK: Bundesärztekammer
BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMG: Bundesministerium für Gesundheit
bvmd: Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland
bzw.: beziehungsweise
CAS: Certificate of Advanced Studies
CDSS: Clinical decision support system
CME: Continuing medical education
DAS: Diploma of Advanced Studies
DCSP: Digital Clinician Scientist Programm
ECTS: European Credit Transfer and Accumulation System
eICU: electronic intensive care unit
ELSI: Ethical, legal and social implications; Deutsch: Ethische, rechtliche und soziale Fragen
GK: Gegenstandskatalog
HEE: Health Education England
IMPP: Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen
KI: Künstliche Intelligenz
kNN: k-Nearest-Neighbour-Algorithmus
LÄK: Landesärztekammer
MC: Multiple Choice
MFT: Medizinischer Fakultätentag
MIMIC: Medical Information Mart for Intensive Care
MMI: Mensch-Maschine-Interaktion
ML: Machine Learning
MOOC: Massive Open Online Course
MSc: Master of Science
NHS: National Health Service
NLP: Natural language processing
NKLM: Nationaler Kompetenzbasierter Lernzielkatalog Medizin
OSCE: Objective Structured Clinical Evaluation
POL: Problemorientiertes Lernen
SVM: Support vector machine
UaK: Unterricht am Krankenbett
UE: Unterrichtseinheit
UEMS: European Union of Medical Specialists
UI: User interface; Deutsch: Benutzeroberfläche oder -Schnittstelle
UX: User experience; Deutsch: Benutzerfreundlichkeit oder -Erfahrung

8. Liste der Autor*innen (alphabetisch)

PD Dr. med. David-Alexander Back

Dieter Scheffner Fachzentrum für medizinische Hochschullehre und evidenzbasierte Ausbildungsforschung; Charité – Universitätsmedizin Berlin

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Felix Balzer

Chief Medical Information Officer
Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Mike Bernd

KI-Campus, Stifterverband

Jenny Brandt

Universitätsmedizin Mainz,
Projekt Digitale Medizin
Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland e.V.

Sebastian Erkens

Universität Witten/Herdecke
Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Nicolas Frey

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Arman Ghanaat

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Projekt Digitale Medizin
Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland e.V.

Daniel Leon Glauert

Charité – Universitätsmedizin Berlin

Stefan Göllner

KI-Campus, Stifterverband

Joscha Hofferbert

Initiative for Innovation and Collaboration in Healthcare (INCH) e.V.

Sophie Anne Ines Klopfenstein

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin,
Berlin Institute of Health at Charité –
Universitätsmedizin Berlin,
Core Unit eHealth and Interoperability

Philippa Lantwin

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
European Medical Students' Association

Dr. Dana-Kristin Mah

KI-Campus, Stifterverband

Lina Mosch

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Gürcan Mustafa Özden

Goethe Universität Frankfurt am Main,
Projekt Digitale Medizin
Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland e.V.

Dr. med. Akira-Sebastian Poncette

Institut für Medizinische Informatik
Klinik für Anästhesiologie m.S. operative Intensivmedizin; Charité – Universitätsmedizin Berlin,
Berlin Institute of Health at Charité –
Universitätsmedizin Berlin,
Initiative for Innovation and Collaboration in Healthcare (INCH) e.V.

Florian Rampelt

KI-Campus, Stifterverband

Merve M. Sarica

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Malte Schmieding

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Jeremy Schmidt

Projekt Digitale Medizin
Bundesvertretung der Medizinstudierenden in Deutschland e.V.

Jasper Wagnitz

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Maximilian Wunderlich

Institut für Medizinische Informatik
Charité – Universitätsmedizin Berlin

9. Referenzen

- Adler, G., Knesebeck, J. von dem, & Martin Hänle, M. (2008). Qualität der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 102(4), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.jzefq.2008.04.004>.
- AIIS. (o. J.). *About the project*. <https://aiis.usa.es/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- akademie für medizinische Fortbildung. (o. J.). *Fortbildungskatalog der Akademie für medizinische Fortbildung der ÄKWL und der KVWL*. akademie für medizinische Fortbildung. <https://www.akademie-wl.de/fortbildungskatalog/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- AMBOSS. (2021, Juni 17). AMBOSS. <https://next.amboss.com/de/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman. <https://www.uky.edu/~rsandl/china2018/texts/Anderson-Krathwohl%20-%20A%20taxonomy%20for%20learning%20teaching%20and%20assessing.pdf>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Ärzttekammer Berlin. (o. J.). *Kompetent für die Medizin im digitalen Zeitalter*. Ärztekammer Berlin. https://www.aerztekammer-berlin.de/10arzt/25_Aerztl_Fb/12_Fortbildungen_AEKB/02_InterdisziplinaereVeranstaltungen/Digitalkompetenz/index.shtml. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Ärzttekammer Hamburg. (o. J.). *Ärztliche Fortbildung| Fortbildungen der Akademie—Ärzttekammer Hamburg*. <https://www.aerztekammer-hamburg.org/akademieveranstaltungen.html?urlparameter=kathaup%3A11%3Bknr:21V0021>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Ärztliche-Fortbildung.de. (o. J.). *Was ist Online-CME*. Ärztliche-Fortbildung.de. <https://www.xn--rztliche-fortbildung-9yb.de/%C3%A4rzte-fortbildung.php>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Aulenkamp, J., Mikuteit, M., Löffler, T., & Schmidt, J. (2021). Overview of digital health teaching courses in medical education in Germany in 2020. *GMS Journal for Medical Education*, 38(4), Doc80. <https://doi.org/10.3205/zma001476>.
- AWMF online. (o. J.). *Mitgliedsgesellschaften in der AWMF*. AWMF online – Das Portal der wissenschaftlichen Medizin. <https://www.awmf.org/fachgesellschaften/mitgliedsgesellschaften.html>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Baalen, S. van, Boon, M., & Verhoef, P. (2021). From clinical decision support to clinical reasoning support systems. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 27(3), 520–528. <https://doi.org/10.1111/jep.13541>.
- Baumgartner, P. (2013). Educational Dimensions of MicroLearning – Towards a Taxonomy for MicroLearning. In M. Roth, P. A. Bruck, & M. Sedlaczek (Hrsg.), *Designing MicroLearning Experiences – Building up knowledge in organisations and companies*. Innsbruck University Press. <https://peter.baumgartner.name/publikationen/liste-abstracts/abstracts-2013/educational-dimensions-of-microlearning-towards-a-taxonomy-for-microlearning/>. Zugegriffen: 07.09.2021.

- Berlin Institute of Health. (o. J.). *Digital Clinician Scientist Program*. Berlin Institute of Health. <https://www.bihealth.org/de/translation/innovationstreiber/akademie/digital-clinician-scientist-program>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Brynjolfsson, E., & Mitchell, T. (2017). What can machine learning do? Workforce implications. *Science*, 358(6370), 1530–1534. <https://doi.org/10.1126/science.aap8062>.
- Brynjolfsson, E., Mitchell, T., & Rock, D. (2018). What Can Machines Learn and What Does It Mean for Occupations and the Economy? *AEA Papers and Proceedings*, 108, 43–47. <https://doi.org/10.1257/pandp.20181019>.
- Budde, K., Dasch, T., Kirchner, E., Ohliger, U., Schapranow, M., Schmidt, T., Schwerk, A., Thoms, J., Zahn, T., & Hiltawsky, K. (2020, Dezember 4). *Künstliche Intelligenz: Patienten im Fokus*. Deutsches Ärzteblatt. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/216998/Kuenstliche-Intelligenz-Patienten-im-Fokus>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Bundesärztekammer. (2015). *Empfehlungen zur ärztlichen Fortbildung* (4. überarbeitete). https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Fortbildung/EmpfFortb_20150424.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Bundesärztekammer. (2018). *(Muster-)Weiterbildungsordnung 2018 in der Fassung vom 26.06.2021*. <https://www.bundesaerztekammer.de/aerzte/aus-weiter-fortbildung/weiterbildung/muster-weiterbildungsordnung/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Bundesärztekammer (Hrsg.). (2019). *Curriculum Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik*. https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Fortbildung/Curr_Digitalisierung.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Bundesministerium für Gesundheit. (2017, März 31). *Masterplan Medizinstudium 2020*. Bundesministerium für Gesundheit. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/ministerium/meldungen/2017/maerz/masterplan-medizinstudium-2020.html>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Bundesministerium für Gesundheit. (2021). *Referentenentwurf des Bundesministeriums für Gesundheit. Verordnung zur Neuregelung der ärztlichen Ausbildung*. https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/GuV/A/Referentenentwurf_AEApprO.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz & Bundesamt für Justiz. (o. J.). *Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V)—Gesetzliche Krankenversicherung—(Artikel 1 des Gesetzes v. 20. Dezember 1988, BGBl. I S. 2477) § 95d Pflicht zur fachlichen Fortbildung*. Gesetze im Internet. https://www.gesetze-im-internet.de/sgeb_5/_95d.html. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Butt, W. A., Shahood, Q., Farooqi, W. H., Ghias, K., Sabzwari, S., & Mian, A. (2021). Healthcare hackathons: Fostering medical education through innovation in a developing country: A case study from Pakistan. *BMJ Innovations*, 7, 103–108. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjinnov-2019-000400>.
- Buxmann, P., & Schmidt, H. (Hrsg.). (2021). *Künstliche Intelligenz: Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61794-6>.

- Careum Stiftung & Robert Bosch Stiftung. (2020). *Digital Health & Education Multiplikatoren-Programm*. https://www.careum.ch/documents/2018/56162/200210_Flyer_Multiplikatoren-Training.pdf. Zugriffen: 07.09.2021.
- Charité. (2021a, Juni 14). *Nationaler Kompetenzbasierter Lernzielkatalog Medizin*. NKLM – medizinischer fakultätentag. <https://preview.nklm.de/zend/menu/index>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Charité. (2021b, Juni 14). *VII.2–13.1: Umgang mit Digitalisierung*. NKLM – medizinischer fakultätentag. <https://preview.nklm.de/zend/objective/list/orderBy/@objectivePosition/lve/212188>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Choudhury, A., & Asan, O. (2020). Role of Artificial Intelligence in Patient Safety Outcomes: Systematic Literature Review. *JMIR Medical Informatics*, 8(7), e18599. <https://doi.org/10.2196/18599>.
- Clark, R., & Marks, L. (2020). MOOCs and Medical Education: Hope or Hype? *MedEdPublish*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.15694/mep.2020.000124.1>.
- Collins Wörterbuch. (o. J.). *Definition von summer school*. Collins Wörterbuch. <https://www.collinsdictionary.com/de/worterbuch/englisch/summer-school>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Conole, G. (2014). A new classification schema for MOOCs. *INNOQUAL – International Journal for Innovation and Quality in Learning*, 2(3), 65–77.
- Cosgriff, C. V., Charpignon, M., Moukheiber, D., Lough, M. E., Gichoya, J., Stone, D. J., & Celi, L. A. (2021). Village mentoring and hive learning: The MIT Critical Data experience. *IScience*, 24(6), Article 6. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102656>.
- Deng, R., Benckendorff, P., & Gannaway, D. (2019). Progress and new directions for teaching and learning in MOOCs. *Computers & Education*, 129, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.019>.
- Deutsche Hochschulmedizin, MFT – Medizinischer Fakultätentag e.V., & Verband der Universitätsklinika Deutschlands (Hrsg.). (2021). *Kommentar der Deutschen Hochschulmedizin e.V. zum Referentenentwurf einer geänderten Approbationsordnung für Ärzte und Ärztinnen*.
- Deutsches Ärzteblatt. (2021, Mai 5). *Neue (Muster-)Weiterbildungsordnung in fast allen Ärztekammern umgesetzt*. Deutsches Ärzteblatt. [https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/123538/Neue-\(Muster-\)Weiterbildungs-ordnung-in-fast-allen-Aerztekammern-umgesetzt](https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/123538/Neue-(Muster-)Weiterbildungs-ordnung-in-fast-allen-Aerztekammern-umgesetzt). Zugriffen: 07.09.2021.
- EIT Health & McKinsey & Company (Hrsg.). (2020). *Transforming Healthcare with AI – The impact on the workforce and organisations*. https://eithealth.eu/wp-content/uploads/2020/03/EIT-Health-and-McKinsey_Transforming-Healthcare-with-AI.pdf. Zugriffen: 07.09.2021.
- Europäische Kommission. (2020, Dezember 11). *A European approach to micro-credentials* [Text]. Education and Training – European Commission. https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/european-education-area/a-european-approach-to-micro-credentials_en. Zugriffen: 07.09.2021.

- Europäische Kommission. (2021). *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für Künstliche Intelligenz (Gesetz über Künstliche Intelligenz) und zur Änderung bestimmter Rechtsakte der Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0206&from=EN>. Zugriffen: 07.09.2021.
- García, J. F., Hieronimus, S., Spatharou, A., Beck, J.-P., & Jenkins, J. (2020). *Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organisations*. EIT Health and McKinsey & Company. https://eithealth.eu/wp-content/uploads/2020/03/EIT-Health-and-McKinsey_Transforming-Healthcare-with-AI.pdf. Zugriffen: 07.09.2021.
- Health Education England. (o. J.-a). *Digital Readiness*. Health Education England. <https://www.hee.nhs.uk/our-work/digital-readiness>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Health Education England. (o. J.-b). *Topol Digital Fellowships*. Health Education England. <https://topol.hee.nhs.uk/digital-fellowships/>. Zugriffen: 07.09.2021.
- HealthIT.gov. (o. J.). *Workforce Development Programs*. HealthIT.gov. <https://www.healthit.gov/topic/onc-programs/workforce-development-programs>. Zugriffen: 07.09.2021.
- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. (2019). *A definition of Artificial Intelligence: Main capabilities and scientific disciplines | Shaping Europe's digital future*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/definition-artificial-intelligence-main-capabilities-and-scientific-disciplines>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Hochschule Fresenius. (o. J.). *Digital Healthcare Management (MBA) Fernstudium*. Hochschule Fresenius. <https://www.hs-fresenius.de/studium/digital-healthcare-management-master-fernstudium/>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Hochschulrektorenkonferenz. (2020). *Micro-Degrees und Badges als Formate digitaler Zusatzqualifikation*. <https://www.hrk.de/positionen/beschluss/detail/micro-degrees-und-badges-als-formate-digitaler-zusatzqualifikation/>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Irniger, A. (2020). *Digitization, digitalization, and digital transformation: What's the difference? The Future Of Customer Engagement And Experience*. <https://www.the-future-of-commerce.com/2020/05/18/difference-between-digitization-digitalization-and-digital-transformation/>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Israel Institute of Technology. (o. J.). *Medicine and Computer Science (Double Degree)*. Israel Institute of Technology. <https://admissions.technion.ac.il/en/medicine-and-computer-science/>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Johnson, A. E. W., Pollard, T. J., Shen, L., Lehman, L. H., Feng, M., Ghassemi, M., Moody, B., Szolovits, P., Anthony Celi, L., & Mark, R. G. (2016). MIMIC-III, a freely accessible critical care database. *Scientific Data*, 3(1), 160035. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.35>.
- Kallio, H., Pietilä, A.-M., Johnson, M., & Kangasniemi, M. (2016). Systematic methodological review: Developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of Advanced Nursing*, 72(12), 2954–2965. <https://doi.org/10.1111/jan.13031>.

- Kassenärztliche Bundesvereinigung. (2019). *Berufsmonitoring Medizinstudierende 2018*.
- Kelley, M. A. (2021). *Predictive scoring systems in the intensive care unit*. UpToDate.
- Kelly, C. J., Karthikesalingam, A., Suleyman, M., Corrado, G., & King, D. (2019). Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*, 17(1), 195. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1426-2>.
- Khoury, M. J. (2019, Januar). Preventive medicine can be more precise and precision medicine can be more preventive! | Blogs | CDC. *Centers for Disease Control and Prevention*. <https://blogs.cdc.gov/genomics/2019/01/29/preventive-medicine/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- KI-Campus. (2021, Juni 17). *Lernangebote*. KI-Campus. <https://ki-campus.org/overview>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse* (4. Aufl.). Weinheim ; Basel: Beltz Juventa.
- Kuhn, S., Amman, D., Cichon, I., Ehlers, J. P., Guttormsen, S., Hülsken-Giesler, M., Kaap-Fröhlich, S., Kickbusch, I., Pelikan, J., Reiber, K., Ritschl, H., & Wilbacher, I. (2019). *Careum working paper 8 – long version: «Wie revolutioniert die digitale Transformation die Bildung der Berufe im Gesundheitswesen?»*. <http://www.careum.ch/workingpaper8-lang>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Kuhn, S., Frankenhauser, S., & Tolks, D. (2018). Digitale Lehr- und Lernangebote in der medizinischen Ausbildung. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 61(2), 201–209. <https://doi.org/10.1007/s00103-017-2673-z>.
- Landesärztekammer Baden-Württemberg. (o. J.). *Curriculum „Digitale Gesundheitsanwendungen in Praxis und Klinik“ der Landesärztekammer*. Landesärztekammer Baden-Württemberg. https://www.aerztekammer-bw.de/news/2020/2020-09/201030_digitale-gesundheitsanwendungen/flyer.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (Hrsg.). (o. J.). *Zukunftsvision Gesundheitspolitik Digitalisierung, künstliche Intelligenz und selbstlernende Algorithmen—Paradigmenwechsel in der medizinischen Versorgung*. Fördervereine für ärztliche Fortbildung in Rheinland Pfalz und Hessen e.V. https://www.laekh.de/fileadmin/user_upload/Termine/2021_06_23_Zukunftsvision_Gesundheitspolitik.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Lin, S. Y., Mahoney, M. R., & Sinsky, C. A. (2019). Ten Ways Artificial Intelligence Will Transform Primary Care. *Journal of General Internal Medicine*, 34(8), 1626–1630. <https://doi.org/10.1007/s11606-019-05035-1>.
- Loder, J., & Nicholas, L. (2018). *Confronting Dr Robot—Creating a peoplepowered future for AI in health*. nesta Health Lab. https://media.nesta.org.uk/documents/confronting_dr_robot.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Maas, H.-J., Schoeller, A., Krumpaszy, ans-G., & Rochell, B. (2004). *Beschlussprotokoll des 107. Deutschen Ärztetages vom 18.-21. Mai 2004 in Bremen*.

- Machleid, F., Kaczmarczyk, R., Johann, D., Balčiūnas, J., Atienza-Carbonell, B., Maltzahn, F. von, & Mosch, L. (2020). Perceptions of Digital Health Education Among European Medical Students: Mixed Methods Survey. *Journal of Medical Internet Research*, 22(8), e19827. <https://doi.org/10.2196/19827>.
- Magnusson, E. (2015). *Doing interview-based qualitative research: A learner's guide*. Cambridge University Press.
- Mah, D.-K., Rampelt, F., Dufentester, C., Bernd, M., Gamst, C., & Weygandt, B. (2020). *Digitale Lernangebote zum Thema Künstliche Intelligenz. Überblicksstudie zu kostenlosen Online-Kursen auf deutschen Lernplattformen*. Berlin: KI-Campus. <https://ki-campus.org/publications/studie-ki-online-kurse>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- McCoy, L. G., Nagaraj, S., Morgado, F., Harish, V., Das, S., & Celi, L. A. (2020). What do medical students actually need to know about artificial intelligence? *Npj Digital Medicine*, 3(1), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0294-7>.
- MEDigi. (o. J.). *About the project*. MEDigi. <https://www.medigi.fi/en/about-the-project.html>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. Cambridge: MIT Press.
- National Health Service. (o. J.). *NHS Digital Academy*. <https://www.england.nhs.uk/digitaltechnology/nhs-digital-academy/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Olczak, J., Pavlopoulos, J., Prijs, J., Ijpma, F. F. A., Doornberg, J. N., Lundström, C., Hedlund, J., & Gordon, M. (2021). Presenting artificial intelligence, deep learning, and machine learning studies to clinicians and healthcare stakeholders: An introductory reference with a guideline and a Clinical AI Research (CAIR) checklist proposal. *Acta Orthopaedica*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/17453674.2021.1918389>.
- Pinnock, R., McDonald, J., Ritchie, D., & Durning, S. J. (2020). Humans and machines: Moving towards a more symbiotic approach to learning clinical reasoning. *Medical Teacher*, 42(3), 246–251. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2019.1679361>.
- Pollard, T. J., Johnson, A. E. W., Raffa, J. D., Celi, L. A., Mark, R. G., & Badawi, O. (2018). The eICU Collaborative Research Database, a freely available multi-center database for critical care research. *Scientific Data*, 5(1), 180178. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.178>.
- Poncette, A.-S., Glauert, D. L., Mosch, L., Braune, K., Balzer, F., & Back, D. A. (2020). Undergraduate Medical Competencies in Digital Health and Curricular Module Development: Mixed Methods Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(10), e22161. <https://doi.org/10.2196/22161>.
- PricewaterhouseCoopers (Hrsg.). (2017). *Sherlock in Health—How artificial intelligence may improve quality and efficiency, whilst reducing healthcare costs in Europe*. PricewaterhouseCoopers B.V. <https://www.pwc.de/de/gesundheitswesen-und-pharma/studie-sherlock-in-health.pdf>. Zugegriffen: 07.09.2021.

- Puaschunder, J. M., Mantl, J., & Plank, B. (2020). Medicine of the Future: The Power of Artificial Intelligence (AI) and Big Data in Healthcare. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3607616>.
- Rampelt, F., Bernd, M., & Mah, D.-K. (2021). *Digitale Formate für den KI-Campus. Diskussionspapier*. Berlin: KI-Campus. <https://ki-campus.org/publications/diskussionspapier-digitale-formate>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Rampelt, F., Niedermeier, H., Röwert, R., Wallor, L., & Berthold, C. (2018). *Digital anerkannt. Möglichkeiten und Verfahren zur Anerkennung und Anrechnung von in MOOCs erworbenen Kompetenzen*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1414388>.
- Rampelt, F., Orr, D., & Knoth, A. (2019). *Bologna Digital 2020. White Paper on Digitalisation in the European Higher Education Area*. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung.
- Reponen, J. (2017). Finnish special competence for healthcare information technology to physicians and dentists: Aims, contents and initial experiences. *Finnish Journal of eHealth and eWelfare*, 9(1), 42–45. <https://doi.org/10.23996/fjhw.61134>.
- Röntgenkongress. (2021). 102. Deutscher Röntgenkongress [Röntgenkongress]. 102. Deutscher Röntgenkongress. <https://www.roentgenkongress.de>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Rusk, N. (2016). Deep learning. *Nature Methods*, 13(1), 35–35. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3707>.
- Ryan, P., Luz, S., Albert, P., Vogel, C., Normand, C., & Elwyn, G. (2019). Using artificial intelligence to assess clinicians' communication skills. *BMJ*, 1161. <https://doi.org/10.1136/bmj.1161>.
- Sächsische Landesärztekammer. (o. J.-a). *Curriculum Clinicum Digitale*. Sächsische Landesärztekammer. https://elearning.slaek.de/goto.php?target=cat_9408. Zugriffen: 07.09.2021.
- Sächsische Landesärztekammer. (o. J.-b). *Digitalisierung in der Medizin*. https://www.slaek.de/de/01/fortbildung/03kurs/01fb-fachgebiete/digitalisierung-in-der-medizin/digitale_medizin.php. Zugriffen: 07.09.2021.
- Schemmann, U., Schneider, B., Phan-Vogtmann, L. A., Müller, S., & Spreckelsen, C. (2020). *Agiles Lernzielmanagement mit dem Health Informatics-Learning Objective Navigator (HI-LONa)*. DocV-043. <https://doi.org/10.3205/20gma065>.
- Schlupeck, B. (2021, Januar 6). Entwicklung von KI-Diagnose-Systemen. *DIE WELT*. <https://www.welt.de/sonderthemen/medizin-der-zukunft/article223832428/Entwicklung-von-KI-Diagnose-Systemen.html>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Schmid, U., Zimmermann, V., Baeßler, B., & Freitag, K. (2018). *Machbarkeitsstudie für eine (inter-)nationale Plattform für die Hochschullehre. Arbeitspapier Nr. 33*. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1408046>.
- ScholarRx. (o. J.). MeSAGE. *ScholarRx*. <https://scholarrx.com/message/>. Zugriffen: 07.09.2021.
- Schreier, M. (2014). Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein im der Begrifflichkeiten. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*, 15(1), 27.

- Schultz-Pernice, F., Becker, S., Berger, S., Ploch, N., Radkowsch, A., Vejvoda, J., & Fischer, F. (2020). *Evidenzorientiertes Digitales Lehren und Lernen an der Hochschule. Erkenntnisse und Empfehlungen aus der Lehr-Lernforschung*. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Schulz, P. J., & Nakamoto, K. (2013). Patient behavior and the benefits of artificial intelligence: The perils of „dangerous“ literacy and illusory patient empowerment. *Patient Education and Counseling*, 92(2), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2013.05.002>.
- sitem-insel AG. (o. J.). *MI—Artificial Intelligence Project*. sitem-insel. <https://old.sitem-insel.ch/en/school/program/ai/artificial-intelligence-project>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Swetter, S., & Geller, A. C. (2021). *Melanoma: Clinical features and diagnosis*. UpToDate.
- Taddy, M. (2018). *The Technological Elements of Artificial Intelligence*. National Bureau of Economic Research. Chicago: University of Chicago.
- Technische Universität Chemnitz. (o. J.). *Alternatives Lehrangebot in Zeiten der Corona-Krise (World-wide)*. Chemnitz: TU-Chemnitz. <https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/studium/international/Lehrangebot.php>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Terveidenhuollon tietotekniikka. (o. J.). *Terveidenhuollon tietotekniikka*. Laakariliitto.Fi. <https://www.laakariliitto.fi/palvelut/koulutukset/erityispatevyydet/tietotekniikka/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Tolan, S., Pesole, A., Martínez-Plumed, F., Fernández-Macías, E., Hernández-Orallo, J., & Gómez, E. (2021). Measuring the Occupational Impact of AI: Tasks, Cognitive Abilities and AI Benchmarks. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 71, 191–236. <https://doi.org/10.1613/jair.112647>.
- Topol, E. (2019a). *Deep medicine. How artificial intelligence can make healthcare human again*. New York: Basic Books.
- Topol, E. (2019b). *Preparing the healthcare workforce to deliver the digital future*. Health Education England. <https://topol.hee.nhs.uk/wp-content/uploads/HEE-Topol-Review-2019.pdf>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>.
- Turku University of applied science. (o. J.). *AIIS - Artificial Intelligence, Innovation & Society, the future of medicine*. Turku AMK. <https://www.tuas.fi/en/research-and-development/projects/aiis-artificial-intelligence-innovation-society-fu/>. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Universität Bern, sitem-insel School, & Inselspital. (o. J.). *CAS in Artificial Intelligence in Medical Imaging*. Bern: Universität Bern. https://www.unibe.ch/continuing_education_programs/cas_in_artificial_intelligence_in_medical_imaging/index_eng.html. Zugegriffen: 07.09.2021.
- Universität Bielefeld. (o. J.). *Digital Clinician Scientist Programm—Pilotphase*. <https://www.uni-bielefeld.de/fakultaeten/medizin/karriere/foerderung/clinician-scientist/>. Zugegriffen: 07.09.2021.

via medici. (2021, Juni 17). *Via medici*. Thieme via medici. <https://viamedici.thieme.de/>. Zugegriffen: 07.09.2021.

Wannemacher, K., Jungermann, I., Scholz, J., Tercanli, H., & Villiez, A. (2016). *Digitale Lernszenarien im Hochschulbereich. Arbeitspapier Nr. 15*. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung. https://www.che.de/downloads/HFD_AP_Nr_15_Digitale_Lernszenarien.pdf. Zugegriffen: 07.09.2021.

Webb, M. (2019). *The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market*. Stanford: Stanford University. <http://i8.hexun.com/2019-12-25/199788177.pdf>. Zugegriffen: 07.09.2021.

World Health Organization. (2019). *WHO guideline: Recommendations on digital interventions for health system strengthening*.

Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., & Sellitto, M. (2021). *The AI Index 2021 Annual Report* (Ai Index Steering Committee & Human Centered AI Institute, Hrsg.). Stanford: Stanford University. <https://aiindex.stanford.edu/report/>. Zugegriffen: 07.09.2021.

Impressum



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz: CC BY-SA 4.0](#). Von dieser Lizenz ausgenommen sind Organisationslogos sowie – falls gekennzeichnet – einzelne Bilder und Visualisierungen.

Zitierhinweis

Mosch, L., Back, D.-A., Balzer, F., Bernd, M., Brandt, J., Erkens, S., Frey, N., Ghanaat, A., Glauert, D. L., Göllner, S., Hofferbert, J., Klopfenstein, S. A. I., Lantwin, P., Mah, D.-K., Özden, G. M., Poncette, A.-S., Rampelt, F., Sarica, M. M., Schmieding, M., Schmidt, J., Wagnitz, J. & Wunderlich, M. (2021). **Lernangebote zu Künstlicher Intelligenz in der Medizin**. Berlin: KI-Campus.

[DOI:10.5281/zenodo.5497668](https://doi.org/10.5281/zenodo.5497668)

Publikationsreihe des

KI-Campus | Stifterverband
Tempelhofer Ufer 11 | 10963 Berlin
info@ki-campus.org

Der KI-Campus ist ein vom [Bundesministerium für Bildung und Forschung](#) (BMBF) gefördertes F&E-Projekt. Im Zentrum steht der prototypische Aufbau einer auf das Thema KI spezialisierten digitalen Lernplattform.

www.ki-campus.org

KONTAKT

KI-Campus | Stifterverband

Tempelhofer Ufer 11
10963 Berlin

 info@ki-campus.org
www.ki-campus.org

    
@KICampus | #KICampus