

Artefakt

SAT

SoSe 2020

## Kriterien für die Zulassung von medizinischen Produkten mit Künstlicher Intelligenz

Alex Pollok

764359

[alex\\_mark.pollok@student.reutlingen-university.de](mailto:alex_mark.pollok@student.reutlingen-university.de)

Evelyn Krebs

762780

[evelyn\\_sophie.krebes@student.reutlingen-university.de](mailto:evelyn_sophie.krebes@student.reutlingen-university.de)

Miriam Lang

764532

[miriam.lang@student.reutlingen-university.de](mailto:miriam.lang@student.reutlingen-university.de)

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Christian Kücherer

### Abstract (Evelyn)

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein immer größer werdender, stark wachsender Bereich in der Medizin. Sie unterstützt, mit der Funktion des maschinellen Lernens (ML), unter anderem die Diagnose von Krankheiten, die Entwicklung von Medikamenten und die Personalisierung von Behandlungen. Die neue Technologie der KI führt zu notwendigen Anpassungen der Zulassungsverfahren von Medizinprodukten, da der Weg zu den Ergebnissen der KI nicht vollständig transparent sind. Damit Medizinprodukte mit KI auf den Markt gebracht werden dürfen, durchlaufen sie momentan bestehende Zulassungsverfahren von Medizinprodukten. Welche diese sind und welche Ansätze zur Verbesserung in Europa und den Vereinigten Staaten bisher bestehen, wird in diesem Artikel zusammen mit weiteren notwendigen Kriterien für die Zulassung von Medizinprodukten mit KI erörtert. Die Verwendung von Medizinprodukten mit KI, deren Vorteile, Grenzen und weitere Lösungsansätze für die Zulassung werden hier mit einer Literaturanalyse untersucht. Zudem stellt sich die Frage, ob die bisher bestehenden Kriterien für die Zulassung ausreichend sind. Trotz bereits angepasster Zulassungsverfahren der Medizinprodukte mit KI, sind weitere Anpassungen der Verfahren durch die regulierenden Behörden nötig. Dies zeigt sich dadurch, dass kontinuierlich neue Entwicklungen und Verbesserungen der KI in der Medizin hinzukommen. Darüber hinaus liegen keine einheitlichen Gesetzgebungen vor.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung (Alex)</b>	<b>3</b>
1.1	Motivation, Kontext und Gegenstand . . . . .	3
1.2	Ziele . . . . .	3
1.2.1	Zentrale Fragestellung . . . . .	3
1.2.2	Unterforschungsfragen . . . . .	4
1.3	Vorgehensweise . . . . .	4
1.4	Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Bisherige Zulassungsverfahren von medizinischen Produkten</b>	<b>6</b>
2.1	Zulassungsverfahren medizinischer Geräte (Evelyn) . . . . .	6
2.1.1	Medizinische Geräte in Europa (Evelyn) . . . . .	6
2.1.2	Medizinische Geräte in den USA (Alex) . . . . .	8
2.2	Zulassungsverfahren medizinischer Geräte mit KI ( ) . . . . .	9
2.2.1	Medizinische Geräte mit KI in Europa (Evelyn) . . . . .	9
2.2.2	Medizinische Geräte mit KI in den USA (Alex) . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Einsatz von KI in der Medizin</b>	<b>11</b>
3.1	Verwendung medizinischer Produkte mit KI in der heutigen Medizin (Miriam) . . . . .	11
3.2	Vorteile von KI für den Patienten (Miriam) . . . . .	12
3.3	Grenzen von KI in der Medizin (Miriam) . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>17</b>
4.1	Lösungsansätze zur Zulassung von KI (Miriam) . . . . .	17
4.2	Aktuelle Richtlinien für medizinische Produkte mit KI (Alex) . .	18
4.3	Evaluation der Zulassungskriterien für medizinische Produk- te mit KI (Evelyn) . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Fazit (Miriam)</b>	<b>19</b>
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	19
5.2	Bewertung der Ergebnisse . . . . .	19
5.3	Ausblick . . . . .	19
	<b>Literatur</b>	<b>21</b>

# **1 Einführung (Alex)**

In diesem Kapitel geben zuerst einen Überblick über den Kontext der Arbeit und weshalb die Zulassungskriterien für Medizinische Produkte mit Künstlicher Intelligenz eine genauere Untersuchung benötigen. Dann gehen wir im Abschnitt 1.2 auf unsere Ziele ein und beschreiben mit welchem Blickwinkel wir das Thema untersuchen. Anschließend beschreiben wir im Abschnitt 1.3 unsere Forschungsmethode mit welcher wir unsere Forschungsfragen beantworten werden. Im letztem Abschnitt 1.4 wird die Strukturierung der Arbeit erläutert.

## **1.1 Motivation, Kontext und Gegenstand**

In den letzten Jahren gewinnt Künstliche Intelligenz (KI) immer mehr an Bedeutung. In vielen Bereichen ist die KI nicht wegzudenken. Bei der Analyse von Bildern wird KI weitverbreitet eingesetzt da die klassischen Ansätze der Bildverarbeitung Schwierigkeiten haben auf die verschiedenen Situationen des Alltags zu reagieren. Auch beim Data Mining werden gerne verschiedene Arten von KI eingesetzt um Merkmale und Korrelationen zu erfassen welche nicht normalen statistischen Methoden nicht entdeckt werden können. Die KI wird seit mehreren Jahren zunehmend auch im Medizinischem Sektor eingesetzt. Dabei stellt die Stärke von KI, die Fähigkeit mit sich ständig ändernden Informationen zu arbeiten, jetzt ein Problem dar. Eine KI kann man nicht mit gewöhnlichen Software-Tests auf Korrektheit prüfen. Das liegt daran dass die Berechnungen im inneren von KI sehr komplex und auf viele Knoten verteilt sind und wir Menschen nicht in der Lage sind diese nachzuvollziehen und zu bewerten. Nun soll KI in einem Gebiet eingesetzt werden welches ein großes Potenzial hat Menschen zu helfen, aber bei Fehlern auch großen Schaden anrichten kann. Deshalb ist es nötig zu prüfen wie medizinische Produkte mit KI zugelassen werden und ob die Kriterien der Zulassungsverfahren auf die Besonderheiten von KI entsprechend angepasst wurden. Damit wollen wir sicherstellen das die Sicherheit von Patienten, welche mithilfe von Medizinischen Produkten mit KI behandelt werden, garantiert ist.

## **1.2 Ziele**

In diesem Abschnitt werden unsere Hauptforschungsfrage genannt und erklärt um das allgemeine Ziel der Arbeit zu vermitteln. Anschließend werden die Unterforschungsfragen vorgestellt und damit die Ziele der Arbeit genauer eingegrenzt.

### **1.2.1 Zentrale Fragestellung**

Unsere Hauptforschungsfrage lautet:

- Welche Probleme bestehen bei der Zulassung von medizinischen Produkten mit KI unterstützter Software?

Der Fokus der Arbeit liegt auf den Zulassungsverfahren von medizinischen Produkten und nicht welche Software-Metriken eine KI im medizinischem Bereich erfüllen sollte. Die Ausarbeitung von exakten Parametern oder einen Qualitätssicherungsverfahren ist nicht teil der Arbeit. Wir wollen die Zulassungsverfahren für medizinische Produkte untersuchen und prüfen ob sie auch für KI im medizinischem Bereich geeignet sind.

### 1.2.2 Unterforschungsfragen

Um die Ziele der Arbeit genauer zu spezifizieren haben wir mehrere Unterforschungsfragen formuliert. Um zu erfahren ob die aktuellen Zulassungsverfahren für medizinische Produkte auch für medizinische Produkte mit KI geeignet sind müssen wir zuerst definieren was für Kriterien KI im medizinischen Bereich erfüllen müssen, welche bei anderen medizinischen Produkten nicht nötig sind. Dazu die Unterforschungsfrage:

- Welche besonderen Kriterien sind für die Zulassung von KI in der Medizin notwendig?

Die nächste Frage welche wir uns gestellt haben ist:

- Inwieweit gelten die aktuellen Richtlinien auch für Produkte mit KI?

Da wir mit unserer Arbeit prüfen wollen ob die Richtlinien für medizinische Produkte mit KI ausreichend sind müssen wir auch den aktuellen Stand der Verfahren untersuchen und was bisher getan wurde um die Richtlinien anzupassen. Da KI immer ihre Ergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit für deren Richtigkeit versehen müssen wir auch untersuchen ob der Einsatz von KI in der Medizin überhaupt einen Vorteil für den Patienten bringt. Deshalb lautet unsere letzte Unterforschungsfrage:

- Welche Vorteile bringen KI dem Patienten gegenüber und welche Grenzen haben diese Vorteile?

### 1.3 Vorgehensweise

Um unsere Forschungsfragen zu beantworten werden wir die aktuellen Richtlinien für die Zulassung von medizinischen Produkten mit KI der Vereinigten Staaten von Amerika untersuchen und auch die Europäischen Richtlinien für solche Produkte. Dies passiert in Form eines Literatur Review. Mit dieser Methode werden wir ermitteln ob und welche besonderen Kriterien für die Zulassung von KI im medizinischem Bereich es gibt. Dazu werden wir nach Beispielen suchen wie KI in der heutigen Medizin Anwendung findet und was für Vorteile und Grenzen die KI hat.

Anschließend werden wir die Ergebnisse unserer Recherche untersuchen und im Hinblick auf unsere Forschungsfragen mithilfe von Standards aus anderen Gebieten die aktuelle Lage bewerten. Außerdem stellen wir unsere Lösungsansätze vor, wie man die ermittelten Problem in den Zulassungsverfahren beheben könnte.

#### **1.4 Aufbau der Arbeit**

Im Kapitel 2 werden die aktuellen Zulassungsverfahren für medizinische Produkte ermittelt. Im Abschnitt 2.1 werden die Zulassungsverfahren der Europäischen Union betrachtet. Zuerst wird untersucht wie medizinische Geräte ohne KI zugelassen werden und dann wie das Verfahren sich bei Geräten mit KI ändert. Im Abschnitt 2.2 wird das gleiche für die Zulassungsverfahren in den Vereinigten Staaten von Amerika getan. In Kapitel 3 werden Kriterien für die Zulassung von medizinischen Produkten mit KI erarbeitet. Dazu wird im Abschnitt 3.1 betrachtet wie medizinische Produkte mit KI in der heutigen Medizin verwendet werden. In dem Abschnitt 3.2 werden die Vorteile für den Patienten ermittelt welche sich aus dem Einsatz von KI ergeben und im Abschnitt 3.3 welche Grenzen die KI hat. In Kapitel 4 findet die Evaluation der Ergebnisse aus Kapitel 2 und 3 statt. Im Abschnitt 4.1 stellen wir unsere Lösungsansätze vor für die Probleme welche wir in den Zulassungsverfahren gefunden haben. Dann stellen wir im Abschnitt 4.2 die aktuellen Richtlinien für medizinische Produkte mit KI vor um diese dann im Abschnitt 4.3 zu bewerten. Das Kapitel 5 ist unser Fazit. Im Abschnitt 5.1 werden die Ergebnisse aus Kapitel 4 zusammengefasst. Im Abschnitt 5.2 bewerten wir unsere Ergebnisse und bestimmen wie gültig sie sind und ob wir unsere Forschungsfragen korrekt und allgemeingültig beantworten konnten. Der letzte Abschnitt 5.3 enthält den Ausblick unserer Arbeit und beschreibt wie unsere Arbeit helfen könnte die Zulassungsverfahren für medizinische Produkte mit KI zu entwickeln.

## 2 Bisherige Zulassungsverfahren von medizinischen Produkten

### 2.1 Zulassungsverfahren medizinischer Geräte (Evelyn)

Um Medizinprodukte in Europa und den USA einsetzen zu dürfen, müssen sie zuvor entsprechenden Zulassungsverfahren unterzogen werden. Diese Verfahren beinhalten verschiedene regulatorische Anforderungen und Richtlinien, welche in Kapitel 2.1.1 und Kapitel 2.1.2 näher beschrieben werden.

#### 2.1.1 Medizinische Geräte in Europa (Evelyn)



Abbildung 1: Risikoklassen [27]

Medizinprodukte wie Röntgengeräte, Implantate, Sehhilfen, Herzschrittmacher, Infusionen und Software sind Produkte, die einen bestimmten medizinischen Nutzen am Menschen haben[27]. Es wird nicht zwischen physikalischen Geräten mit eingebetteter Software und Geräten, die selbst die Software sind, unterschieden. Software als Medizinprodukt (SaMD) wird ebenfalls mit denselben Vorschriften, Richtlinien und Gesetzen entwickelt, sowie medizinische Geräte selbst[20].

Wie in Abbildung 1 zu sehen, werden Medizinprodukte mit der Klassifizierungsregel in vier Risikoklassen eingeteilt. Die Regeln für die Anwendung der Klassen I, IIa, IIb und III, richten sich nach den Zweckbestimmungen der Produkte und liegen in der Verantwortung der Hersteller[27]. Hier werden strenge Anforderungen an die MedizinproduktHersteller gestellt. Medizin der Klasse I ist allerdings davon ausgeschlossen, hier reicht eine Selbsterklärung des Herstellers.



Abbildung 2: Ablauf des Zertifizierungsverfahrens<sup>1</sup>

In Abbildung 2 wird der Verlauf der Zertifizierung von Medizinprodukten in Deutschland von MEDCERT dargestellt. MEDCERT ist eine Benannte Stelle und Zertifizierungsgesellschaft, die von der Zentralstelle der Länder für Gesundheitsschutz (ZLG) zertifiziert wurde[27]. Als ersten Schritt muss der Hersteller bei obengenannter Benannten Stelle einen Antrag stellen. Wichtige Dokumente wie die QM-Dokumentation, das Organigramm der Firma, die Berichte zu internen Audits und gegebenenfalls Produktdokumentationen werden an MEDCERT übergeben. Diese werden in Schritt zwei von der Benannten Stelle nach den Normen und Anforderungen geprüft. Hier wird auf die Medizinprodukteverordnung 2017/745 (MDR), die am 25. Mai 2017 in Kraft trat, zurückgegriffen[26]. Diese stellt mit drei Richtlinien die Ansprüche an die Konformitätsbewertungen von Medizinprodukten. In Schritt drei und vier wird ein Termin vereinbart, in dem genau beschrieben wird, welche Bereiche wann geprüft werden. Anschließend werden in Schritt fünf und sechs die eingereichten Korrekturmaßnahmen beurteilt und der Zertifikatstext abgestimmt. In Schritt sieben wird das gesamte Zertifizierungsverfahren bewertet. Das erfolgreiche Durchlaufen des Verfahrens der Benannten Stelle stellt sicher, dass das Medizinprodukt alle geltenden Anforderungen erfüllt und die Hersteller für ihr Medizinprodukt nun die entsprechende CE-Kennzeichnung bekommen[20]. Schritt neun in Abbildung 2 zeigt, dass nun ein jährliches Überwachungsaudit folgt. Die Medizinprodukte entwickeln sich ständig weiter, werden verbessert und er-

<sup>1</sup>Ablauf des Zertifizierungsverfahrens, aufgerufen am 30.06.2020. <https://www.medcert.de/wp-content/uploads/Zertifizierungsablauf-2017.jpg>.



neuert. Diese Änderungen müssen laufend von der Benannten Stelle überprüft und genehmigt werden, sofern vorgeschriebene Anforderungen beeinträchtigt werden. Laufende Richtlinien werden immer wieder mit neuen Verordnungen korrigiert und ergänzt. Normungsgremien wie die International Organization for Standardization (ISO) und die International Electrotechnical Commission (IEC) sowie europäische Normungsorganisationen bekräftigen europäische Normen, die im Folgenden erklärt werden. Die europäischen Normen beinhalten die benötigten rechtlichen Anforderungen für die jeweiligen medizinischen Produkte. Den Herstellern steht es frei, sich an den Normen zu orientieren. Jedoch kann durch Einhaltung der Normen die Konformität nachgewiesen werden[20].

Einige ISO und IEC Normen treffen auf die regulierenden Anforderungen zu. So werden die Qualitätsanforderungen für die Entwicklung von Medizinprodukten weitestgehend durch die harmonisierte Norm ISO 13485 bestimmt[5]. Um für die Sicherheit der Menschen bei klinischer Prüfung von Medizinprodukten zu sorgen, dient die Norm ISO 14155[10]. Die Norm ISO 14971 ist für den Risikomanagementprozess von Medizinprodukten verantwortlich[16]. Außerdem folgende drei IEC Normen. Der Software Lebenszyklus von Medizinprodukten fällt unter die Norm IEC 62304[4]. Anwendung der Gebrauchstauglichkeit, durch Entwicklungsprozesse, auf Medizinprodukte lässt sich auf die Norm IEC 62366-1 zurückführen[7]. Die Norm IEC 82304-1 beschäftigt sich mit allgemeinen Anforderungen für die Produktsicherheit[3].

### 2.1.2 Medizinische Geräte in den USA (Alex)

Die Zulassung von Medizinischen Produkten jeglicher Art fällt unter die Verantwortung der FDA (Food and Drug Administration), der Lebensmittelüberwachungs- und Arzneimittelbehörde der Vereinigten Staaten. Sie entscheiden über die Zulassung von Medikamenten, Lebensmitteln und Medizinischen Geräten sowie auch Medizinischer Software. Autorität zur Überwachung des Marketings und Verkaufs von Drogen oder Medizinischen Produkten bekam die FDA 1938 mit dem Federal Food, Drug, and Cosmetic Act". Damit war die legislative Basis gegeben. Im Jahr 1970 präsentierte das Cooper Committee neue Standards und Einteilungen für Medizinische Geräte, da in den Jahren davor sich legislative Lücken gezeigt haben und der Verbraucherschutz nicht gegeben war. Unter anderem war eine Einteilung der Medizinischen Geräte in drei Klassen vorgesehen. Die Klasse I besteht aus Medizinische Produkte ohne ein besonderes Risiko. Die Sicherheit kann mit allgemeinen Kontrollen gewährleistet werden wie bestimmten Produktionsstandards und korrekter Beschriftung. Die Klasse II Produkte haben ein gemäßigtes Risiko und müssen bestimmte Performance Charakteristiken erfüllen um zugelassen zu werden. Dazu werden sie jeweils mit einem vergleichbaren Produkt verglichen um die Sicherheit zu gewährleisten. Außerdem

werden sie nach Einführung strenger überwacht und müssen ebenfalls korrekt Beschriftet werden. Klasse III sind die Produkte mit dem höchstem Risiko und müssen vor Markt-Einführung kontrolliert und in klinischen Tests getestet werden. Außerdem gilt, wenn es für ein Klasse II Produkt kein vergleichbares Produkt gibt, muss es den gleichen Prozess durchlaufen wie Produkte der Klasse III. Im Jahr 1976 wurden diese Empfehlungen dann umgesetzt. Damit ergibt sich aber das Problem, dass Klasse II Geräte mit niedrigem Risiko trotzdem die langwierigen Verfahren von Klasse III Produkten durchlaufen müssen. Um das Problem zu lösen wurde der "De Novo"-Weg zur Zulassung erstellt. Für Geräte mit niedrigem Risiko, welche aber keine vergleichbaren Produkte haben. Außerdem gibt es auch für Klasse III Produkte ein beschleunigtes Verfahren, wenn es das Potenzial hat, Menschen mit schweren und seltenen Krankheiten zu helfen. Software wird nochmal etwas anders behandelt. Sie wird nach dem Benutzungsziel klassifiziert. Dabei gibt es vier Klassen mit steigendem Risiko. Klasse I und II beschreibt Software, welche nur zur Verwaltung oder zum Informieren des Personals gedacht ist. Klasse II und III sind Klassen für Software, welche für kritische verwaltende Aufgaben genutzt wird oder zur Behandlung und zum Diagnostizieren von Krankheiten verwendet wird. Dabei ist die höchste Klasse IV für kritische Einsatzfelder beim Behandeln oder Diagnostizieren reserviert. Es gibt noch die Besonderheit, dass Software, welche ein Gerät steuert, nicht in die Software-Klassen eingeteilt wird, sondern wie ein normales Gerät behandelt wird. **YAEGER2019192**

## **2.2 Zulassungsverfahren medizinischer Geräte mit KI ( )**

### **2.2.1 Medizinische Geräte mit KI in Europa (Evelyn)**

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Teilgebiet der Informatik. Automatisierung von intelligentem Verhalten und ML stehen im Vordergrund[20]. Mit dem Einsatz von KI und ML können laufend neue Erkenntnisse gewonnen werden, welche nützlich sind, brauchbare Systeme für Patienten zu entwickeln[20]. In Kapitel 3.1 wird auf die Verwendung der Medizinprodukte mit KI eingegangen. Der Unterschied zwischen SaMD und KI mit ML liegt darin, dass letzteres die Fähigkeit besitzt, Geräteleistungen in Echtzeit anzupassen und zu optimieren[20]. Dadurch kann die Gesundheitsversorgung der Patienten durchgehend verbessert werden. Obwohl sich die MDR nicht ausdrücklich mit Medizinprodukten mit KI befasst, liegt es nahe, dass dieselben Richtlinien und Normen aus Kapitel 2.1.1, auch für diese gelten. Außerdem wird sich ebenfalls, wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben, an die Verfahren der FDA gerichtet. Die EU-Kommission stellte mit einer Expertengruppe einige zusätzliche Anforderungen auf, wie die technische Robustheit und Sicherheit von Medizinprodukten mit KI, das menschliche Handeln, die Nichtdiskriminierung und Fairness. Diese wurden 2019 von über 350 Organisationen getestet. Die bisherigen gesetzlichen Regelungen für

Medizinprodukte beinhalten zwar einige der Anforderungen, jedoch fehlt es immer wieder an Transparenz oder Rückverfolgbarkeit[19]. Es stellt sich die Frage, welche weiteren Kriterien für die Zulassung der Medizinprodukte mit KI benötigt werden? Die Datenverwaltung und die Transparenz der Medizinprodukte mit KI ist eine der wichtigen Anforderungen. Hersteller von KI müssen verantwortungsbewusst mit den Daten der Patienten umgehen. Daher ist es notwendig, dass Daten vom Hersteller rechtmäßig und transparent gesammelt werden[17].

Außerdem fehlen bisher ethische und rechtliche Prüfungen bei Medizinprodukten mit KI in der Medizin. Trotz gegebenen Rahmenbedingungen gibt es bisher keine Regeln, die sich einfach aufstellen lassen. Im Bezug auf die Ethik sind die Einsatzgebiete der Medizinprodukte mit KI bis dato jedoch nicht kritisch. Da aber ständige Weiterentwicklungen der Medizinprodukte mit KI dieses Kriterium nicht ausschließen, ist es erforderlich, dies in Betracht zu ziehen.

## **2.2.2 Medizinische Geräte mit KI in den USA (Alex)**

Da KI nur in Verbindung mit Software verwendet werden kann unterliegt sie der Einteilung und Bewertung nach dem Verfahren für Software. Das bedeutet je nach Einsatzgebiet kann eine KI unterstützte, medizinische Software mehr oder weniger stark kontrolliert werden. Auch wenn die KI keine kritische Aufgabe zu erfüllen hat, fällt sie dennoch in die Risiko-Klasse III von medizinischen Produkten. Das liegt daran dass das Anwendungsgebiet von KI in der Medizin meist bedeutet das sie als Klasse II eingestuft wird. Was dann dazu führt das die KI wie ein Klasse III Produkt geprüft werden muss da es kein Produkt der Klasse II gibt, mit welchem man die KI unterstützte Software vergleichen könnte. Das Problem wird mit dem vorher erwähnten "De Novo" Weg zur Zulassung gelöst. Mit diesem Verfahren wird akzeptiert das es kein vergleichbares Produkt gibt um den Standard für Klasse II Produkte aufrechterhalten zu können. Das Produkt wird dabei vergleichbar mit Klasse III Produkten geprüft, nur das die Standards und Genauigkeit der Prüfung auf das Produkt angepasst werden. Der "De Novo" Weg stellt ein großes Potenzial für die allgemeine Nutzung von KI in der Medizin dar, da mit jeder neuen zugelassenen KI es ein neues, vergleichbares Produkt gibt welches für das Verfahren für Klasse II Geräte genutzt werden kann. Dennoch gibt es keine expliziten Standards nur für KI, es werden immer nur Vergleiche gezogen. Es hängt viel davon ab wie hoch der Standard beim erstem zugelassenem medizinischem Produkt mit KI ist.

YAEGER2019192

### 3 Einsatz von KI in der Medizin

#### 3.1 Verwendung medizinischer Produkte mit KI in der heutigen Medizin (Miriam)

Die Künstliche Intelligenz erlebte seit ihrer Geburtsstunde in den 1940er und 1950er Jahren viele Rückschläge und Erfolge.[18] Im Jahr 2011 wurde das maschinelle Lernen für KI entdeckt, was zu einem exponentiellen Entwicklungswachstum der KI führte.[18] Der Teilbereich der künstlichen Intelligenz, welcher sich am deutlichsten verbesserte, ist das maschinelle Lernen (ML), bei dem das Lernen durch die Verarbeitung großen Mengen an Trainingsdaten erfolgt.[13] Auch deshalb wird die KI als die neue Elektrizität und Daten als das neue Öl beschrieben.[18]

Besonders in der Medizin werden die Fähigkeiten der Künstlichen Intelligenz im Allgemeinen geschätzt. Veränderungen durch KI im Gesundheitswesen betreffen vor allem die bildbasierten diagnostischen Ansätze in den Bereichen Radiologie, Dermatologie und Pathologie. Menschen können zwar Muster in Daten erkennen, jedoch ist dies ein mühsamer Prozess. Ärzte können infolge von Überlastung und Zeitmangel sehr leicht Anzeichen übersehen, was die Diagnose in eine falsche Richtung lenkt.[15] Die treibende Kraft hinter der KI- gesteuerten Diagnostik ist die große Anzahl an Bildern, die für die KI zur Verfügung stehen. Die Algorithmen können dadurch ausreichend trainiert werden.[13]

Die Relevanz der KI im Gesundheitswesen wird auch durch die Tatsache belegt, dass große Unternehmen wie IBM und Google auch auf diesem Gebiet entwickeln. IBM Watson bietet ein Frage-Antwort-System für das Gesundheitswesen an. Es nutzt die Sprache, die Hypothesenbildung und das evidenzbasierte Lernen, um das medizinische Personal bei seinen Entscheidungen zu unterstützen.[15] Ein Google Unternehmen eröffnete 2016 eine Abteilung DeepMind Health, welche auch auf dem Gebiet der KI Medizin arbeitet. Diese entwickelt eine ähnliche Anwendung wie IBM Watson, die das medizinische Personal noch differenzierter unterstützen soll.[15] In eine andere Richtung geht das Bostoner Startup FDNA: es bietet eine Reihe von Anwendungen unter dem Namen Face2Gene an, die Gesichtsanalyse, KI und genomische Erkenntnisse nutzen, um die Diagnose und Behandlung seltener Krankheiten zu unterstützen.[15]

Medizinische KI Anwendungen adressieren nicht nur die Ärzte. Quentus, gegründet 2012 in den USA, optimiert Entscheidungen in Krankenhäusern in Echtzeit, um Kosten zu senken, Qualität zu verbessern und Erfahrung zu sammeln. Das Ziel dieser Anwendung ist es, die Abläufe in einem Krankenhaus zu optimieren und zu vereinfachen, damit sich das medizini-

sche Personal auf die Patientenversorgung konzentrieren kann. Quentus entwickelt als Plattform, löst die betrieblichen Herausforderungen im gesamten Krankenhaus einschließlich Notaufnahme, perioperative Bereiche und Patientensicherheit. Diese Anwendung ermöglicht somit die Integration von einem Krankenhaus in ein Gesundheitssystem.[15]

In Kombination mit dem Internet können durch KI weitere Vorteile im medizinischen Bereich entstehen. Die Verwendung von Wearables im Gesundheitswesen bedeutet erhöhte Echtzeit-Transparenz in der gesamten Organisation.[18] Durch die stetige Generierung von Patientendaten sind Informationen wie Vitalwerte oder Einhaltung einer Medikation (Compliance) bereits vor der Ankunft eines Patienten im Krankenhaus bekannt. KI Anwendungen sind in der Lage, alle diese Daten zu erfassen und zu verarbeiten. So können Leistungserbringer im Gesundheitswesen Engpässe identifizieren, um Wartezeiten der Patienten zu verkürzen, oder durch die Vermeidung unnötiger Tests Kosten senken.[18]

Mit dem Gedanken, einen Roboter zu entwickeln, hat vor einigen Jahrhunderten bereits Leonardo da Vinci gespielt.[6] Entwickler der amerikanischen Firma Intuitive Surgical nannten ihr Chirurgisches System „Da Vinci“.[6] Es handelt sich um einen Roboter, der komplexe Operationen mit einem minimal-invasiven Zugang erleichtert, und von einem Chirurgen von einer Konsole aus gesteuert werden kann. Es wird zum Beispiel bei Operationen der Herzklappen eingesetzt. Da Vinci wurde im Jahr 2000 von der Food and Drug Administration (FDA) zugelassen. Die Zahl der weltweit eingesetzten Geräte liegt heute bei über 5000.[6]

### 3.2 Vorteile von KI für den Patienten (Miriam)

Künstliche Intelligenz hilft nicht nur Ärzten, sondern auch Patienten.[15] In den letzten Jahren ist insbesondere die Beliebtheit von Telemedizin gestiegen. Solche Anwendungen nutzen unterschiedliche Algorithmen um z. B. Informationen von tragbaren Sensoren auf Fitnesstrackern zu sammeln.[15] Diese Geräte werden meistens am Handgelenk getragen und versprechen die Optimierung von Wohlbefinden und Gesundheitszustand in der modernen, von Stress geplagten Gesellschaft. Der Benutzer kann beispielsweise seinen Schlafrhythmus beobachten und auswerten lassen oder seine Fitnesszustand anhand von Parametern wie Herzfrequenz oder verbrauchte Kalorien ständig überwachen.[15] Bereits Kinder tragen gerne solche Geräte und nutzen entsprechende Anwendungen um aus Neugier z. B. die Anzahl der täglichen Schritte zu überprüfen.

Andere Softwareanwendungen interagieren mit dem Patienten, um eine Verdachtsdiagnose zu stellen.[15] Solche KI - Anwendungen stellen dem

Nutzer Fragen über eine vermutete Erkrankung oder ein gesundheitliches Problem und nutzen Spracherkennung oder Texterkennung, um ihm eine mündliche oder schriftliche Antwort zu ermöglichen. Zu den beliebtesten Anwendungen dieser Art gehören ADA und Your.MG. ADA als Gesundheitshilfe wurde von einem deutschen Startup Unternehmen entwickelt und weltweit in über 130 Länder in 2016 eingeführt.[15] Es kann kostenlos auf jede beliebige mobile Plattform heruntergeladen werden. Nach Installation und Anmeldung gibt der Nutzer seine Beschwerden und Symptome in einen Textdialog ein und bekommt schließlich Erläuterungen und Ratschläge, was er aufgrund seiner Symptome als nächstes unternehmen soll.(Internet)

Eine ganz andere Anwendung von KI ist Telehomecare, eine Alternative zum traditionellen Krankenhausaufenthalt.[18] Die häusliche Pflege ist einer der am schnellsten wachsenden Märkte der Welt.[18] In der häuslichen Pflege geht es um Patienten, die postoperativ nach einem Krankenhausaufenthalt oder aufgrund von Alter oder Gebrechlichkeit zu Hause gepflegt werden müssen. Die häusliche Pflege hat sich bereits so weit entwickelt, dass auch Palliativpatienten<sup>2</sup> zu Hause gepflegt werden können. Dies minimiert Infektionsrisiken und senkt die Kosten für die Patienten erheblich. Zudem trägt die Pflege in einer bekannten Umgebung und mit intensivem Kontakt zur Familie stark zu positiven Behandlungsergebnissen bei. Bei der Umsetzung von Telehomecare senden Warnsysteme, die sich in der Wohnung der Patienten befinden, Benachrichtigungen an ein Telemonitoring Zentrum, nachdem sie Daten über die spezifischen Symptome und Anzeichen des Patienten gesammelt haben.[18] Diese Information werden in den Telemonitoring Zentren durch eine Krankenschwester und einen Arzt ausgewertet. Sie können in Echtzeit auf kritische Daten des Patienten zugreifen, um Komplikationen zu vermeiden, eine Verschlechterung des Zustands des Patienten zu verhindern oder auf ein Notfall zu reagieren.[18] Die starke Weiterentwicklung und das Wachstum der mobilen Technologien trägt dazu bei, dass die positiven Auswirkungen der KI gestützten häuslichen Pflege (Telehomecare) noch größer sind, wenn sie mit der Verwendung von tragbaren Geräten (Telemedizin) verbunden sind. Auch hier trägt der Patient Sensoren. z.B. auf einem Armband, die spezifische Information sammeln und auf die Smartphones der Überwachungszentren übertragen. [18] Der Patient kann in Echtzeit seine Herzfrequenz überwachen. Im Fall einer psychischen Krankheit hat die Familie die Möglichkeit, den Aufenthaltsort des Betroffenen zu überwachen.[18]

Roboter in der Pflege interagieren unmittelbar mit den Patienten. Bei-

---

<sup>2</sup>Nach WHO die aktive umfassende Pflege von Patienten, die an einer nicht heilbaren, fortschreitenden und so weit fortgeschrittenen Erkrankung leiden, dass dadurch ihre Lebenserwartung begrenzt ist. aufgerufen am 12.06.2016. <https://www.pschyrembel.de/Palliativpflege/T02UH/doc>.

spielsweise werden Roboter als Begleiter für die ältere Bevölkerung mit stark eingeschränkten kognitiven Fähigkeiten eingesetzt. Die Vorreiter in diesem Bereich sind die Japaner mit ihren Carebots.

### 3.3 Grenzen von KI in der Medizin (Miriam)

Trotz den großen Menge an Vorteilen die die KI Technologien im Gesundheitssystem mitbringen, sind die Herausforderungen für die weitere Etablierung mindestens genau so groß. Für das ordnungsgemäße Funktionieren der Systeme ist wesentlich, dass die Leistungserbringer im Gesundheitssystem die Daten, die zur Schulung der KI Systeme verwendet werden, auswerten, um das Einschleichen von Verzerrungen zu verhindern.[18] Zum Beispiel wird ein System, das zur Erkennung von Polypen<sup>3</sup> anhand von Diagnosedaten der US-Bevölkerung trainiert wurde, beim Einsatz in asiatischen Ländern nicht besonders effektiv sein, da der asiatische Typ über einen Phänotyp mit anderen Merkmalen verfügt.[18]

Die Überanpassung von Algorithmen ist eine der Ursachen, welche die Anwendung der KI in der Medizin eingrenzen. Von einer Überanpassung spricht man, wenn KI Algorithmen, die auf einen bestimmten Datensatz trainiert wurden, nur begrenzt auf andere Datensätze anwendbar sind.[21] Der Algorithmus hat dann lediglich die statischen Variationen der Trainingsdaten gelernt, anstatt der allgemeinen Konzepte, welche zur Problemlösung notwendig sind. Die Überanpassung eines Algorithmus wird von mehreren Faktoren beeinflusst wie der Größe des Datensatzes, dem Ausmaß der Heterogenität<sup>4</sup> der Daten und der Verteilung der Daten innerhalb des Datensatzes. Z.B. kann ein Modell überangepasst sein, wenn sich die Krankheitshäufigkeit und die Anzahl der neu auftretenden Krankheitsfälle zwischen den Trainings- und Testsätzen erheblich unterscheiden.[21] Überanpassung kann aber auch auftreten, wenn die Trainings- und Testsätze mit wesentlich unterschiedlichen Parametern oder Geräten erzielt wurden.[21]

Einer der größten Kritikpunkte an der Integration der KI in der Medizin ist, dass sich KI Systeme von außen betrachtet wie eine Black-Box verhalten.[13] Gemeint ist mit diesem Bild, dass es im Fall von Algorithmen mit tiefem Lernprozess nicht möglich ist, nachzuvollziehen, wie sie zu ihrer Entscheidung gekommen sind.[13] Zum Beispiel kann ein Arzt, der von einem KI System einen radiologischen Befund gemeldet bekommt, weder sa-

---

<sup>3</sup>Schleimhautvorwölbung in das Lumen eines Hohlorgans unabhängig von histologischem Aufbau und Dignität. aufgerufen am 12.06.2016. <https://www.pschyrembel.de/Polypen/KOHEW/doc/>.

<sup>4</sup>Verschiedenartig. aufgerufen am 12.06.2016. <https://www.pschyrembel.de/Polypen/KOHEW/doc/>.



gen, welche Verfahrensmerkmale für die Analyse verwendet wurden, noch wie sie analysiert wurden und warum der Algorithmus zu diesem Ergebnis kam?[13] Der Mangel an Transparenz hat die KI in der wissenschaftlichen Gemeinschaft bisher zurückgedrängt, denn oft ist das „Warum“ hinter einer Vorhersage genauso wichtig wie die Vorhersage selbst. [13] Nicht einmal die Korrektheit des Algorithmus lässt sich sicher nachweisen. Versuche, das Black-Box-Problem visuell zu lösen, indem ausgewählte KI-Algorithmen mit Hilfe einer Heatmap<sup>5</sup> dargestellt werden, helfen, die Black-Box der KI zu öffnen.[21] Trotzdem ist es weiterhin unumgänglich, den Mensch in die Entscheidung miteinzubeziehen und Interaktionen zwischen dem KI - System und dem Mensch zu ermöglichen.[21]

Weitere Problemfelder für die KI im Gesundheitswesen sind Privatsphäre und Informationssicherheit.[15]. In jedem Bereich unserer Gesellschaft ist die IT – Sicherheit inzwischen ein wichtiges Thema geworden. Im Gesundheitswesen wird dies besonders kritisch gesehen, weil Softwareanwendungen unmittelbar mit Menschenleben verbunden sind und ein Cyberangriffe im ungünstigsten Fall sogar zum Tod von Patienten führen können. Das Remote-Hacking eines Kardiosimulators oder das Umschulen eines KI gestützten Diagnose- und Empfehlungssystem könnte theoretisch für einen Massenmord benutzt werden.[15]

Auf dieser Grundlage stellen sich eine Reihe von weiteren Fragen: Welcher Schutz gilt als zuverlässig? Wer bewertet die Zuverlässigkeit? Und nicht zu vergessen: Wer trägt die Verantwortung? Die Frage der Verantwortlichkeit wird gerade in einem konkreten Fall diskutiert: bis heute wurde die Roboterchirurgie mit 144 Todesfällen in den Vereinigten Staaten in Verbindung gebracht.[18] Wer ist verantwortlich? Das Unternehmen, der Entwickler oder der Dienstleister? Auch hier setzt sich zwangsläufig die perfekte Mensch-Computer-Symbiose durch. Sie gibt uns den Anstoß, ein KI - System zu entwickeln, welches intelligente Fragen stellt, anstatt zu versuchen, den Arzt zu ersetzen.[18]

Noch im Jahr 2015 wurde während des Wirtschaftsforums in Davos die KI als eine mögliche Bedrohung dargestellt.[6] Stephen Hawking<sup>6</sup> hat damals die Befürchtung geäußert, dass die Menschheit von der KI ausgelöscht werden könnte.[6] Es ist wichtig solche Vorurteile und Ängste in Bezug auf die KI abzubauen und der größten Befürchtung der Menschheit, dass die KI die Kontrolle über unser Leben übernehmen wird, entgegen zu wirken. Wir müssen uns bemühen, ethische Standards zu schaffen, Erfolg-

---

<sup>5</sup>Diagramm zur Visualisierung von Daten aufgrund einer Funktion, mit der eine zweidimensionale Definitionsmenge auf den Zahlenstrahl abgebildet und farblich dargestellt werden. aufgerufen am 12.06.2016. <https://de.wikipedia.org/wiki/Heatmap>.

<sup>6</sup>War ein britischer theoretischer Physiker und Astrophysiker. aufgerufen am 12.06.2016. [https://de.wikipedia.org/wiki/Stephen\\_Hawking](https://de.wikipedia.org/wiki/Stephen_Hawking).



und Effektivitätsmasstäbe zu entwickeln und die KI – Tools quelloffen, benutzerfreundlich und von erwiesenem klinischem Nutzen machen, dann wird der Einsatz der KI einen gesellschaftlichen Nutzen bringen.[6]

## 4 Diskussion

### 4.1 Lösungsansätze zur Zulassung von KI (Miriam)

Sowohl das Blackbox-Problem auch Überanpassung der Algorithmen bilden zusammen Barrieren für die Zulassung der Medizinprodukte mit KI. Die Zulassungsstellen haben Schwierigkeiten zu bestimmen, wie und ob die Algorithmen funktionieren und ob ihre Leistung auch auf andere Datensätze anwendbar sind.[21] Es wurden aber bereits Möglichkeiten entwickelt die zum einen die Black-Box der KI öffnen und zum anderen die Übereinpassung der Algorithmen mit bestimmten Methoden festgestellt oder verhindert werden können.[21]

Bei dem Black-Box-Problem wurde in unterschiedlichen Studien eine Heatmap<sup>7</sup> erstellt, um Regionen mit erhöhten Aktivierung des tiefen Lernnetzwerks aufzuzeichnen. Man schließt daraus, dass es sich bei der stark aktivierten Bereichen um die Regionen handelt die für die Bestimmung der Diagnose entscheidend sind.[21]

Die Übereinpassung kann überprüft werden in dem die Algorithmen nach dem Training an mehreren verschiedenen Datensätzen getestet werden.[21] Tests werden grafisch mit einer AUC<sup>8</sup> dargestellt. Bei einem Algorithmus der an eine Übereinpassung leidet wurde man erwarten, dass seine Genauigkeit gemessen mit AUC, bei Datensätzen die nicht den gleichen Ursprung haben wie die Trainingsdaten, deutlich schlechter sind.[21]

Die Einbeziehung verschiedener Datentypen, die für KI - Modelle notwendig sind, muss sorgfältig vorgenommen werden um häufige Fallstricke zu vermeiden. Eine Herausforderung bei der Integration verschiedener Daten ist die KI-Modellkomplexität, die entweder auf zusätzliche Funktionen oder eine fortgeschrittene Modellarchitektur zurückzuführen ist. Ein Beispiel für eine komplexes KI-Modell ist das Multiview-Lernen, eine Erweiterungsmethode der Modellarchitektur zur Integration verschiedenen Merkmalstypen. Diese Modell wird verwendet z. B. bei fetalen Ultraschallbilder. Zwar sind solche Modelle schwieriger zu trainieren und potenziell anfälliger für Überanpassung aber solange die Herausforderungen im Auge behalten werden, wird die Einbeziehung verschiedener Datentypen für zukünftige medizinische Modelle vorteilhaft.[13]

---

<sup>7</sup>Diagramm zur Visualisierung von Daten aufgrund einer Funktion, mit der eine zweidimensionale Definitionsmenge auf den Zahlenstrahl abgebildet und farblich dargestellt werden. aufgerufen am 12.06.2016. <https://de.wikipedia.org/wiki/Heatmap>.

<sup>8</sup>Abk. für engl. area under the control, aufgerufen am 12.06.2016. <https://www.psychrembel.de/AUC//list/>.

## 4.2 Aktuelle Richtlinien für medizinische Produkte mit KI (Alex)

Die aktuellen Richtlinien behandeln KI unterstützte Software zunächst als gewöhnliche Software. KI unterstützte Medizinische Software wird wie eine gewöhnliche Software zugelassen trotz des Black-Box Problems. Da die Richtlinien für Software auch für KI verwendet werden bedeutet dass das KI zuerst nur unter Laborbedingungen getestet wird, mit einem beschränktem Testdatensatz. Dies kann nicht garantieren das die KI immer funktionieren wird. Tatsache ist aber auch das die Personen in den Ämtern sich dieses Problems bewusst sind und nach besten Wissen und Gewissen versuchen werden die Sicherheit zu gewährleisten. Der amerikanische "De Novo" Weg, an den sich auch die Europäische Union orientiert, bietet die Möglichkeit weniger kritische KI im Feld zu testen und somit ein Qualitätsniveau über Zeit aufzubauen. Kritische KI, welche zum Beispiel hauptverantwortlich für das Leben eines Patienten ist kann immer noch mit den strengsten Kriterien und klinischen Test geprüft werden, bevor die allgemeine Nutzung erlaubt wird. Die aktuellen Richtlinien besitzen noch keine Spezialisierung auf KI, erlauben uns aber medizinische Produkte mit KI zu verwenden und Erfahrungen zu sammeln um ein für KI angepasstes Verfahren zu entwickeln, ohne dabei Menschenleben zu gefährden.

## 4.3 Evaluation der Zulassungskriterien für medizinische Produkte mit KI (Evelyn)

Wie in Kapitel 2.2.1 und Kapitel 2.2.2 zu sehen, gibt es noch kein spezielles/spezifisches Gesetz für die Verwendung von Medizinprodukten mit KI. Die Zulassungsverfahren von Medizinprodukten ohne KI werden bislang für die Zulassung von Medizinprodukten mit KI angewendet. Für den Einsatz von Medizinprodukten mit KI, in kritischen Bereichen, müssen die Richtlinien angepasst und ergänzt werden. Daraus entstehen neue Herausforderungen, die zu bewältigen sind. Kapitel 2.2.1 zeigt außerdem, dass von der EU-Kommission weitere Anforderungen aufgestellt werden. In den USA werden ebenso zusätzliche Richtlinien aufgestellt. Themen, wie ethische und rechtliche Regelungen sowie einige Fragen bleiben allerdings noch offen. Werden die Daten der Patienten richtig verwendet? Kann die KI voreingenommen sein? Werden Arbeitsplätze der Ärzte gestrichen? Wird die Versorgung auf Grund der KI besser oder schlechter? Mit gut durchdachten und klar definierten Regeln für die Verwendung von Medizinprodukten mit KI könnten einige der aufkommenden Fragen und Bedenken geklärt werden.

Des Weiteren soll die Transparenz verbessert und exakte Qualitätsanforderungen aufgestellt werden. Die oben genannten neuen Anforderungen und die Antworten auf die gestellten Fragen sind wichtig, um die Zulassungsverfahren für die Verwendung von Medizinprodukten mit KI zu erweitern, auszubauen und präziser zu spezifizieren.

## **5 Fazit (Miriam)**

### **5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse**

### **5.2 Bewertung der Ergebnisse**

### **5.3 Ausblick**



## Literatur

- [1] P. Lisboa, A review of evidence of health benefit from artificial neural networks in medical intervention, *Neural Networks*, Jg. 15, Nr. 1, S. 11–39, 2002, ISSN: 0893-6080. doi: [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(01\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(01)00111-3).
- [2] A. Hunter und M. Williams, Aggregating evidence about the positive and negative effects of treatments, *Artificial Intelligence in Medicine*, Jg. 56, Nr. 3, S. 173–190, 2012, ISSN: 0933-3657. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2012.09.004>.
- [3] IEC, Gesundheitssoftware - Teil 1: Allgemeine Anforderungen für die Produktsicherheit (IEC 82304-1), 2016.
- [4] —, Medizingeräte-Software - Software-Lebenszyklus-Prozesse (IEC 62304), 2016.
- [5] ISO, Medizinprodukte – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen für regulatorische Zwecke (ISO 13485), 2016.
- [6] P. Hamet und J. Tremblay, Artificial intelligence in medicine, *Metabolism*, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.
- [7] IEC, Medizinprodukte - Teil 1: Anwendung der Gebrauchstauglichkeit auf Medizinprodukte (IEC 62366-1), 2017.
- [8] C. E. A. Zaouiat und A. Latif, Internet of Things and Machine Learning Convergence: The E-Healthcare Revolution, ICCWCS'17, 2017. doi: <https://doi.org/10.1145/3167486.3167551>.
- [9] M. A. Ahmad, C. Eckert und A. Teredesai, Interpretable Machine Learning in Healthcare, BCB '18, S. 559–560, 2018. doi: <https://doi.org/10.1145/3233547.3233667>.
- [10] ISO, Klinische Prüfung von Medizinprodukten an Menschen - Gute klinische Praxis (ISO 14155), 2018.
- [11] E. LaRosa und D. Danks, Impacts on Trust of Healthcare AI, AIES '18, S. 210–215, 2018. doi: <https://doi.org/10.1145/3278721.3278771>.
- [12] Y. K. Dwivedi, L. Hughes, E. Ismagilova, G. Aarts, C. Coombs, T. Crick, Y. Duan, R. Dwivedi, J. Edwards, A. Eirug, V. Galanos, P. V. Ilavarasan, M. Janssen, P. Jones, A. K. Kar, H. Kizgin, B. Kronemann, B. Lal, B. Lucini, R. Medaglia, K. [Meunier-FitzHugh], L. C. [Meunier-FitzHugh], S. Misra, E. Mogaji, S. K. Sharma, J. B. Singh, V. Raghavan, R. Raman, N. P. Rana, S. Samothrakis, J. Spencer, K. Tamilmani, A. Tubadji, P. Walton und M. D. Williams, Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda

- for research, practice and policy, International Journal of Information Management, S. 101 994, 2019, ISSN: 0268-4012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>.
- [13] C. Gilvary, N. Madhukar, J. Elkhader und O. Elemento<sup>1</sup>, The Missing Pieces of Artificial Intelligence in Medicine, CellPres, S. 555–564, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tips.2019.06.001>.
  - [14] [L. D. Health], Walking the tightrope of artificial intelligence guidelines in clinical practice, The Lancet Digital Health, Jg. 1, Nr. 3, e100, 2019, ISSN: 2589-7500. doi: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(19\)30063-9](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(19)30063-9).
  - [15] O. Iliashenko<sup>1</sup>, Z. Bikkulova<sup>1</sup> und A. Dubgorn, Opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare, E3S Web of Conferences, S. 25–32, 2019. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911002028>.
  - [16] ISO, Medizinprodukte – Anwendung des Risikomanagements auf Medizinprodukte (ISO 14971), 2019.
  - [17] M. D. Abramoff, D. Tobey und D. S. Char, Lessons Learned About Autonomous AI: Finding a Safe, Efficacious, and Ethical Path Through the Development Process, American Journal of Ophthalmology, 2020, ISSN: 0002-9394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.02.022>.
  - [18] M. de Araújo Novaes und A. Basu, Disruptive technologies: Present and future, Fundamentals of Telemedicine and Telehealth, S. 305–330, 2020. doi: <https://doi.org/10.1186/s40560-020-00452-5>.
  - [19] Europe Commission, On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust, 2020. doi: [10.1109/ICSA-C50368.2020.00040](https://doi.org/10.1109/ICSA-C50368.2020.00040).
  - [20] T. Granlund, T. Mikkonen und V. Stirbu, On Medical Device Software CE Compliance and Conformity Assessment, S. 185–191, 2020. doi: [10.1109/ICSA-C50368.2020.00040](https://doi.org/10.1109/ICSA-C50368.2020.00040).
  - [21] S. Kulkarni, N. Seneviratne, M. S. Baig und A. H. A. Khan, Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now? Academic Radiology, S. 62–70, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.10.001>.
  - [22] G. D. Sharma, A. Yadav und R. Chopra, Artificial intelligence and effective governance: A review, critique and research agenda, Sustainable Futures, Jg. 2, S. 100 004, 2020, ISSN: 2666-1888. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2019.100004>.
  - [26] Europe Commission, VERORDNUNG (EU) 2017/745 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, Amtsblatt der Europäischen Union, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0745&from=DE>.

- [27] B. für Gesundheit, Marktzugangsregelungen von Medizinprodukten in der EU, [https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3\\_Downloads/M/Medizinprodukte/151203\\_7a\\_PosterNr.5b\\_8\\_\\_dt.pdf](https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/M/Medizinprodukte/151203_7a_PosterNr.5b_8__dt.pdf).



