

Künstliche Intelligenz im Krankenhaus: Ein Beitrag zu Patientensicherheit und Effizienz am Beispiel der Schwerverletzten-Versorgung

Originalarbeit

zur Veröffentlichung angenommen

Bohnet-Joschko B, Zippel C (2020): Künstliche Intelligenz im Krankenhaus: Ein Beitrag zu Patientensicherheit und Effizienz am Beispiel der Schwerverletzten-Versorgung. das Krankenhaus; 112 (8): 670-676

Verfügbar unter <http://www.uni-wh.de/MIG>

Die finale Version dieses Beitrags wurde in das Krankenhaus veröffentlicht und ist nun unter dem folgenden Link verfügbar:

<https://www.kohlhammer.de/wms/instances/KOB/appDE/Kuenstliche-Intelligenz-im-Krankenhaus>

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Sabine Bohnet-Joschko

Lehrstuhl für Management und Innovation im Gesundheitswesen

Department für Management und Unternehmertum (MUT)

Fakultät für Wirtschaft und Gesellschaft

Universität Witten/Herdecke (UW/H)

Alfred-Herrhausen-Straße 50

58448 Witten, Deutschland

Tel.: +49 2302 / 926-592

E-Mail: Sabine.Bohnet-Joschko@uni-wh.de

Künstliche Intelligenz im Krankenhaus: Ein Beitrag zu Patientensicherheit und Effizienz am Beispiel der Schwerverletzten-Versorgung

Sabine Bohnet-Joschko und Claus Zippel

Fakultät für Wirtschaft und Gesellschaft

Department für Management und Unternehmertum

Universität Witten/Herdecke

August 2020

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren zeigt sich ein deutliches Wachstum bei IT-Anwendungen und Software, die medizinisches Personal mittels Big Data und Künstlicher Intelligenz (KI) unterstützen können. Das Anwendungsspektrum der Applikationen erstreckt sich von administrativen Routineprozessen und Dokumentation über Arzneimitteltherapiesicherheit bis zu (Bild-)Datenaufbereitung und -interpretation. Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten 5 bis 10 Jahren viele weitere digitale Unterstützungsangebote entwickelt und optimiert werden. Damit die Patienten und Kliniken von den Anwendungen profitieren können, sind neben medizinischen Aspekten auch technologische, rechtliche, ethische, ökonomische und organisationale Herausforderungen zu überwinden. In diesem Artikel gehen wir auf wesentliche Entwicklungen und Chancen für Kliniken ein und diskutieren am Beispiel der Schwerverletzten-Versorgung, wie speziell den organisatorischen Hürden bei Einführung von KI-Anwendungen in der stationären Versorgung begegnet werden kann.

Stichwörter

Big Data; Künstliche Intelligenz; Digitalisierung; Innovation; Trauma-Versorgung

Künstliche Intelligenz im Krankenhaus: Beitrag zu Patientensicherheit und Effizienz am Beispiel der Schwerverletzten-Versorgung

KI-ANWENDUNGEN FÜR KLINIKEN AUF DEM VORMARSCH

In den letzten Jahren wurden viele neue Anwendungen und Technologien in den Bereichen Big Data und KI entwickelt, die durch maschinelle Entscheidungsunterstützung Verbesserungspotenziale für die medizinische Versorgung und Betriebsabläufe im Krankenhaus versprechen. So lassen sich mittlerweile etwa große Mengen radiologischer Bilder oder klinischer (Studien-)Daten durch selbstlernende Software strukturiert verarbeiten, intelligent verknüpfen und analysieren und dann unterstützend für die tägliche Diagnostik und Behandlung auf Station und im OP, zur effizienten Administration und Dokumentation oder die Aus- und Weiterbildung des Personals einsetzen. Im Ergebnis können die Patientenversorgung sicherer und Krankenhausbetriebsabläufe effizienter gestalten sowie damit die Arbeitsbedingungen für im Gesundheitswesen tätige Angestellte aus Medizin und Pflege verbessert werden [1, 2].

Wie dynamisch sich dieser Bereich auf den medizinisch-technischen Fortschritt auswirkt, verdeutlicht u.a. die Anzahl und das Wachstum medizinischer Publikationen hierzu. Allein in der Literaturlatenbank „PubMed“ ist die Zahl der Publikationen zu den Suchbegriffen „Big Data“ und „Artificial intelligence“ von 4.200 Publikationen in 2018 auf über 6.500 in 2019 um mehr als die Hälfte gestiegen. IT-Anwendungen, die medizinische Daten intelligent verknüpfen und selbstlernend auf etwaige Korrelationen und Auffälligkeiten analysieren, etablieren sich damit zunehmend in der medizinischen Versorgung und Forschung. Und auch das Anwendungsspektrum wächst: Während KI-Software für Krankenhäuser zunächst in erster Linie administrative (Routine-)Prozesse (wie Kapazitätsplanung, Ressourcenmanagement) oder die Interpretation von Bildern (z.B. aus Radiologie, Pathologie) fokussierte, entstehen immer mehr selbstlernende Technologien zur intelligenten Entscheidungsunterstützung und Patientenbehandlung für ein breites Spektrum medizinischer Fragestellungen mit vielfältiger Einsatzmöglichkeit in allen Fachgebieten sowie im Wachstumsbereich der personalisierten Medizin [3-7].

Anknüpfungspunkte und Einsatzgebiete für KI im Krankenhaus ergeben sich etwa bei:

- Spracherfassung und -dokumentation;
- Bilderkennung und -assistenz;
- Medical/Clinical Text Mining und -verarbeitung;
- (Risiko-)Scores für Patientenzustand und medizinische Maßnahmen;
- Patientenallokation;
- Behandlungspfad-Tracking;
- usw.

TECHNOLOGISCHE, RECHTLICHE UND ORGANISATIONALE HÜRDEN

Damit KI-Software jedoch flächendeckend implementiert und im Klinikalltag zum Patienten- und Arztnutzen eingesetzt werden kann, gilt es – neben medizinisch-klinischen Aspekten – viele Herausforderungen und Hürden zu überwinden, und zwar auf gleich mehreren Ebenen:

- **Technologische Hürden:** hier sind etwa interoperable Systeme/Schnittstellen sowie die einheitliche Nutzung von (inter-)nationalen Datenstandards zu nennen, die ein grundsätzliches Problem zur Gewinnung und strukturierten Zusammenführung von großen Datenmengen darstellen [8]. Im Kliniksektor kommt erschwerend hinzu, dass viele Daten nach wie vor oft unstrukturiert abgelegt und verarbeitet werden, etwa als Arztbrief oder Laborbefund. Beides kann sich einschränkend auf die Robustheit der Analyseergebnisse in der Praxis auswirken (Daten- und Modell-Bias).
- **Rechtliche/ethische Hürden:** zweitens gehen mit dem Einsatz von KI-Anwendungen im Krankenhaus rechtliche und regulatorische Fragen aus verschiedenen Rechtsbereichen wie Haftungsrecht, (ärztliches) Berufsrecht, Datenschutzrecht, Medizinproduktrecht oder Strafrecht einher (siehe hierzu detailliert [9, 10]). Kritisch ist hierbei, dass es für sog. „unüberwacht-lernende“ KI noch keinen regulatorischen Standard gibt. Schließlich ergeben sich aus medizin-ethischer Perspektive wesentliche Anforderungen an den Einsatz von KI im Krankenhaus, die u. a. aus dem „Nichtschadensprinzip“, der besonderen ärztlichen Fürsorgepflicht oder individuellen Persönlichkeitsrechten resultieren.
- **Ökonomische/organisationale Hürden:** drittens ist die Einführung und Anwendung von KI-Software mit Kosten verbunden. Diese fallen sowohl einmalig bei der Beschaffung und technischen Implementierung der Software/Datenvernetzung als auch fortlaufend bei Softwarenutzung an, etwa als Lizenz- oder Servicegebühr. Weitere Hürden auf Ebene der Organisation Krankenhaus ergeben sich mit Blick auf die Softwareakzeptanz und die Nutzerkompetenz durch das anwendende Personal.

Mit Blick auf die Nutzung von KI-Anwendungen im Klinikalltag ist zudem zu berücksichtigen, dass sich die angeführten Aspekte teils bedingen bzw. aufeinander auswirken. So ist etwa einerseits die Nutzung qualitativ hochwertiger medizinischer Datensätze nach wie vor relativ kostenintensiv. Dies liegt vor allem daran, dass im Krankenhaus noch immer viele Prozesse – von der Terminvergabe über Anamnesebogen bis zu Rezeptaussstellung – papier- oder faxgestützt funktionieren, wodurch sich die für KI nötige Datenerhebung, -zusammenführung und Analyse aufwendig gestaltet. Andererseits kann durch technologische Maßnahmen die Anwenderakzeptanz erhöht werden; etwa dann, wenn das User Interface einer KI-Anwendung nutzerfreundlich gestaltet ist oder technisch sichergestellt werden kann, dass personenbezogene Patienten- und Mitarbeiterdaten datenschutzkonform gespeichert und fristgerecht gelöscht werden. Auch ein verbindlicher regulatorischer Rahmen zur Datensammlung und -nutzung, der dem Klinikpersonal und den Patienten Rechtssicherheit gibt, kann sich positiv auf die Softwareakzeptanz im Versorgungsalltag auswirken. Schließlich können personalpolitische Maßnahmen wie Weiterbildungen und Schulungen dazu beitragen, dass von KI-Software angebotene Entscheidungsvorlagen angemessen durch das Personal interpretiert und bewertet werden können. Dies wirkt sich im Ergebnis dann wiederum positiv auf die rechtlichen und ethischen Einführungs- und Anwendungshürden aus.

IMPLEMENTIERUNG UND NUTZUNG VON KI-ANWENDUNGEN IN DER SCHWERVERLETZTEN-VERSORGUNG

Damit KI-Anwendungen im Kliniksektor implementiert und genutzt werden können, stellt es folglich einen kritischen Erfolgsfaktor dar, die genannten Hürden zu überwinden. Wir gehen im Folgenden auf Lösungsansätze und Rahmenbedingungen ein, die auf die Überwindung der ökonomischen und organisationalen Hürden fokussieren. Hierbei unterscheiden wir zwischen Krankenhaussektor-, Betriebs- und Akteursebene (Abb. 1). Für die Praxis konkretisieren wir dies anhand denkbarer KI-Einsatzszenarien für die Schwerverletzten-Versorgung (Abb. 2). Grund dafür ist, dass dieser in der Unfallchirurgie angesiedelte Versorgungsbereich noch über einen relativ geringen Implementierungs- und Nutzungsgrad von unterstützenden KI-Applikationen verfügt, hierfür jedoch angesichts zeitkritischer Prozesse und eines hohen Grades interprofessioneller Kooperation besonders prädestiniert ist [6].

Sektorebene

In der stationären Versorgung im Allgemeinen und in der Schwerverletzten-Versorgung im Besonderen sind viele Anspruchsgruppen tätig, die eigene Ziele und Anreize mit dem Einsatz von KI-Anwendungen verbinden. Beispiele dafür sind die Kliniken, Patienten, Krankenkassen, Medizinprodukte-Hersteller, Kommunen usw. Die Förderung einer KI-Anwendung funktioniert dabei (wie bei allen Innovationen) relativ reibungslos, wenn die für eine Anwendung zahlende Anspruchsgruppe überdurchschnittlich von deren Nutzen profitiert. Dagegen erweist es sich als einführungshemmend, wenn Kosten und Nutzen der KI auseinanderfallen.

Ein Anwendungsbeispiel dafür ist die „Intelligente Alarmierungskette“ (Abb. 2). In diesem Szenario unterstützt KI die (bislang üblicherweise per Telefon erfolgende) Kommunikation vom Notarzt am Unfallort über die Leitstelle und Krankenhausporte bis zum Trauma-Team. Die KI erfasst das Gespräch zwischen Notarzt und Leitstelle und wandelt dies automatisiert in maschinenlesbare und strukturiert weiterzugebende Datensätze um [11]. Parallel werden die Verfügbarkeit und Bettenauslastung zur Wahl der in Frage kommenden Kliniken in Echtzeit abgeglichen sowie fallbezogene Daten vor Eintreffen des Patienten und Notarztes übermittelt [12, 13]. Im Ergebnis können Informationsverluste und Fehler der telefonischen Weitergabe reduziert wie auch die Patientendisposition und Vorbereitung des mobilisierten Trauma-Teams verbessert werden. Obwohl in diesem Szenario alle von der beschriebenen KI profitieren – sei es durch eine individuelle und sichere Versorgung, geringere Vorhaltekosten für Personal und Material oder bessere Zentrumsauslastung – könnte es zu Widerständen bei der Umsetzung und Implementierung kommen, weil Kosten und Nutzen bei verschiedenen Akteuren des Versorgungsprozesses anfallen: Während Rettungsdienst, Kliniken und Versicherer durch eine bessere Versorgung Kosten einsparen könnten, wäre die Finanzierung der KI über die Leitstelle zu erbringen, also von Städten und Kreisen zu tragen. Um die Implementierungshürde in einem solchen Fall zu senken, wäre etwa eine öffentliche Anschub-Finanzierung in Form eines Verbundprojekts o.ä. denkbar, bei dem die Umsetzung und klinische Implementierung der KI beispielhaft erprobt sowie der damit verbundene Nutzen nach Anspruchsgruppen analysiert werden könnte.

Betriebsebene

Auf Betriebsebene ist wesentlich, dass sich die mit der Einführung und Nutzung einer KI-Anwendung verbundenen Kosten im Zeitablauf (un-) mittelbar amortisieren. Die Messung gestaltet sich naturgemäß einfach, wenn Kosteneinsparungen für z.B. Personal oder Material direkt gemessen werden können. Schwieriger wird es etwa bei Aus- und Weiterbildung oder im Qualitäts- und Risikomanagement, wenn es z.B. die etwaige Minderung von Risiken bzw. der damit verbundenen potentiellen Schadenskosten einzuschätzen gilt.

Dies kann am Szenario „Intelligentes Leitlinien-Interface“ (Abb. 2) konkretisiert werden. Hier führt eine KI auf Basis fallbezogener Daten zu Patient und Unfallhergang/Verletzungsmuster durch die medizinische Leitlinie und schlägt dem Trauma-Team im Sinne eines Entscheidungsbaums monitorgestützt Handlungsempfehlungen für den Behandlungspfad vor [14, 15]. Dadurch wird das Team in der Entscheidungsfindung und Maßnahmenpriorisierung unterstützt, was angesichts zeitkritischer Prozesse und oft seltenen Unfallmustern mit (teils) komplexen Mehrfachverletzungen und Vorerkrankungen besonders vielversprechend ist. Weiter können die Behandlungsschritte im Nachgang maschinell ausgelesen und dokumentiert bzw. zur Weitergabe an externe Qualitätssicherungssysteme wie das Trauma-Register der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie automatisiert vorbereitet werden. Schließlich kann die KI zur Aus- und Weiterbildung genutzt werden, etwa für Simulationstrainings.

Der Hauptinvestitionsanreiz für Kliniken liegt hier besonders in der komplikationsärmeren Versorgung und damit verbundenen Kosteneinsparungen. Zur Break Even-Analyse könnten etwa eine kürzere Verweildauer, geringere Inanspruchnahme von medizinischen (Bildgebungs-)Leistungen und Materialien bei Behandlung der Trauma-Patienten oder potenziell sinkende Haftpflichtversicherungsprämien und Regressansprüche, die durch optimiertes Risikomanagement und höhere Dokumentationssicherheit erzielt werden könnten, herangezogen werden. Auch wäre etwa die Zufriedenheit der Patienten und Angehörigen in Folge besserer Outcomes zu messen. Im Ergebnis würden eine solche KI wohl am stärksten Kliniken ohne Traumazentrum mit geringen Notfallzahlen nachfragen, bei denen die Komplikations- und Mortalitätsraten tendenziell höher als in spezialisierten sog. „Level-A Zentren“ sind [16].

Akteursebene

Drittens ist der Erfolg einer KI-Anwendungen in großem Maße davon abhängig, wie diese vom medizinischen Personal akzeptiert und eingesetzt wird. Die grundlegenden Voraussetzungen dafür sind gut: Bei einer Befragung des Digitalverbandes Bitkom mit dem Ärzteverband Hartmannbund unter 477 Ärzten aller Funktionen und Fachrichtungen gaben über Zweidrittel der Ärzte an, Digitalisierung als Chance zu sehen. Als Hauptnutzen von IT gaben die Befragten Zeitersparnis und neue Untersuchungsmöglichkeiten an, als Hauptrisiken wurden Datenschutz, IT-Zuverlässigkeit/-Sicherheit und rechtliche Unsicherheit genannt [17].

Für Trauma-Zentren ließe sich eine KI zur „Semi-Automatischen Dokumentation“ entwickeln (Abb. 2). In diesem Szenario wird die Patientenübergabe im Schockraum vom Notarzt an das Trauma-Team digital erfasst und mittels Spracherkennung in ein maschinenlesbares Protokoll überführt [11]. Die aufbereiteten Daten können sowohl mit lokal erhobenen (Vital-)Daten zur Behandlung des Notfallpatienten verknüpft auf einem Monitor

dargestellt als auch durch strukturierte (Kodierungs-)Vorlagen in das Krankenhausinformationssystem zur Falldokumentation und -abrechnung übernommen werden [18, 19]. Im Ergebnis werden Informationsverluste bei der Patientenübergabe vermindert, die Patientenbeurteilung und -behandlung durch eine breitere Datenbasis verbessert und die Mitarbeiter bei Dokumentations- und Kodierungstätigkeiten entlastet. Von Anwenderseite ist grundsätzlich von einer hohen Akzeptanz dieses Szenarios auszugehen, da diese von gestärktem Sicherheitsgefühl und Dokumentationsunterstützung profitieren. Auch auf Betriebsebene wären Einführungshürden relativ gering, da Kliniken von einer sicheren Versorgung, geringeren Personalkosten, einem verbesserten Risikomanagement sowie höheren Einnahmen durch die optimierte Kodierung von (Neben-)Diagnosen mit Dokumentation der Fallschwere für den Case Mix profitieren würden. Gleichzeitig ist einschränkend darauf hinzuweisen, dass vor Einführung einer solchen KI zunächst wesentliche rechtliche Fragen zu klären wären, die v. a. die IT-gestützte Verarbeitung der biometrischen Patienten- und Anwenderdaten betreffen (vgl. hierzu [9, 10]). Demnach wäre durch technische und organisationale Vorkehrungen vorab die Einhaltung rechtlicher und ethischer Grenzen sicherzustellen, z.B. durch dezentrale Datenspeicherung oder fristgerechte Löschung personenbezogener Daten.

Schließlich lässt sich an diesem Szenario die zweite wesentliche organisationale Hürde auf Akteursebene verdeutlichen, nämlich der kompetente Umgang mit und die Interpretation von Ergebnissen der KI-Anwendung durch das Personal. Anwender müssen in der Lage sein, die von selbstlernender KI aufbereitenden Daten fallbezogen zu interpretieren und mit Blick auf damit verbundene Grenzen kritisch einzuschätzen sowie letztverantwortlich zu beurteilen. Dies gilt sowohl für in Realzeit visualisierte Daten (etwa im Schockraum) als auch für die Falldokumentation und -abrechnung im Nachgang. Die Einführung von KI bedingt damit eine hohe digitale Kompetenz mit kritischer Reflexionsfähigkeit durch die Anwender. Einweisungen, Schulungen und Weiterbildung zum Umgang mit algorithmischen Systemen (z.B. zur Funktionsweise und zu Grenzen, statistischen Verfahren) können KI Anwendungskompetenzen des Personal aus ärztlichem, pflegerischem und administrativen Dienst stärken und deren Anwendung damit gezielt im Klinikalltag optimieren.

KI IM KRANKENHAUS: STAND UND PERSPEKTIVEN

Es lässt sich festhalten, dass durch KI-Anwendungen sichere, individuelle und effizientere Versorgungs- und Betriebsabläufe im Krankenhaus mit im Ergebnis mehr Zeit für ärztliche Behandlung und pflegerische Zuwendung realisiert werden können. Schon heute sind die ökonomischen Vorteile von KI-Anwendungen sichtbar:

- **Medizinische Versorgung:** KI-Anwendungen verknüpfen Daten für Prävention/ Monitoring, Diagnostik und Therapien und bieten dadurch ergänzende Informationen zur ärztlichen Entscheidungsunterstützung. Schon heute wird KI in verschiedenen Versorgungsbereichen eingesetzt, von bildgestützter Befundung in den Imagingbereichen (vgl. etwa [5, 20, 21]) und der Pathologie [22] bis zur computer-assistierten Chirurgie [23]. Zudem wird KI-Software in der klinischen Forschung eingesetzt, z.B. zur datengetriebenen Analyse neuer Biomarker/Wirkstoffkandidaten (etwa im Genomics-Bereich [24]).
- **Pflege:** Auch für die Pflege gibt es eine Vielzahl unterstützender KI-Anwendungen. So kann KI u. a. patientendatengetriebene Entscheidungsvorschläge für Pflegediagnosen und -maßnahmen bieten und die

Dokumentation digital unterstützen, etwa zur Pflegevisite oder Arzneimittelverabreichung [25]. Das Einsatzpotenzial ist hier besonders groß, da Papierakten im Pflegedienst vieler Krankenhäuser noch zum Standard gehören.

- **Verwaltung:** Schließlich können Krankenhäuser KI-Technologien zur Optimierung ihrer administrativen Prozesse nutzen. Das Anwendungsspektrum erstreckt sich über alle wesentlichen Teilgebiete der Betriebswirtschaftslehre – vom datengetriebenen Einkauf bis zum optimierten Geräteeinsatz und Wartungsmanagement in der Medizintechnik.

Angesichts des breiten Einsatzspektrums und der rasanten Entwicklung gehen Experten davon aus, dass in den nächsten fünf bis zehn Jahren viele weitere digitale Unterstützungsangebote für Kliniken auf den Markt gebracht werden [26]. Besonders wachstumsfördernd ist dabei, dass neben den bereits täglich anfallenden Daten künftig mit einer weiter wachsenden Menge an digitalen Gesundheits- und Administrationsdaten zu rechnen ist. Angesichts des nach wie vor geringen Digitalisierungs- und Vernetzungsgrads kann etwa der Einsatz von digitalen Patientenakten dazu beitragen, dass immer mehr Gesundheitsdaten strukturiert aufgezeichnet und für die (Weiter-)Entwicklung und Datenanalyse von KI-Anwendungen zugänglich gemacht werden [27]. Die NRW-Landespolitik hat dies erkannt und fördert das „Virtuelle Krankenhaus“, durch das die medizinische Versorgung landesweit durch Bündelung von Expertise in Telemedizinregionen vorangetrieben und sektorübergreifend vernetzt werden soll [28].

Ein kostengünstiger Zugriff auf qualitativ hochwertige Daten ist für den Durchbruch der KI-Systeme im Krankenhaus zentral, da sich die im laufenden Betrieb weiterlernenden Systeme mit wachsenden Datenmengen verbessern. Aktuell sind qualitativ hochwertige Datensätze zum Training von Gesundheits-KI noch relativ teuer, was die Neu- und Weiterentwicklung von Anwendungen und Software erschwert. Die Plattform für Künstliche Intelligenz der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (Acatech) empfiehlt daher u. a., Unternehmen den Zugriff auf Trainingsdaten aus öffentlich geförderten Gesundheitsforschungsprojekten zum Datensharing zu ermöglichen sowie Maßnahmen umzusetzen, durch die Datenmonopole bei einzelnen Unternehmen vermieden werden [29]. Durch zentrale Sammlung mit Abruf anonymisierter (Trainings-) Datensätze könnten dann neue KI-Anwendungen ermöglicht und getestet sowie neue Geschäftsmodelle für den Kliniksektor entstehen.

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT FÜR DIE PRAXIS

- Im Zuge der Digitalisierung entstehen große Mengen medizinischer und administrativer Daten, auf deren Basis KI-Anwendungen zur sicheren und effizienteren Gestaltung von Prozessen mit Nutzen für Patientenversorgung und Krankenhausbetrieb entwickelt werden können.
- Wachstum und Anzahl der Publikationen hierzu verdeutlichen, dass innovative KI-Anwendungen zunehmend den Weg in das Gesundheitswesen finden.
- Damit KI-Anwendungen in der Praxis implementiert und angewendet werden können, sind neben medizinischen auch technologische, rechtliche, ethische, ökonomische und organisationale Hürden zu überwinden.

- Ökonomische Hürden für die KI-Einführung und -Nutzung ergeben sich auf Krankenhaussektor-, Betriebs- und Akteursebene. Die am Beispiel der Trauma-Versorgung angeführten Handlungsansätze zur KI-Förderung (Weiterbildung zum Kompetenzaufbau, öffentliche (Anschub-) Finanzierungen) lassen sich grundsätzlich auf alle Anwendungsbereiche der medizinischen Versorgung, Pflege und Verwaltung übertragen.
- Angesichts der zunehmenden Entwicklung von KI-Anwendungen und der wachsenden Menge an digitalen Gesundheits- und Administrationsdaten können sich Kliniken in diesem Bereich aus unternehmensstrategischer Sicht rechtzeitig aufstellen.

REFERENZEN

1. Blum K, Offermanns M, Nürnberg V et al. Auf dem Weg zum digitalen Krankenhaus? das Krankenhaus 2020; 112: 50-53
2. Schick G, Paulus T. Digitalisierung im Krankenhaus: Der Stellenwert künstlicher Intelligenz. das Krankenhaus 2019; 111: 294-297
3. von Klot C-AJ, Kuczyk MA. Künstliche Intelligenz und neuronale Netze in der Urologie. Der Urologe 2019; 58: 291-299
4. Neumuth T. Künstliche Intelligenz – Anwendungsbereiche in der Onkologie. Forum 2020; 35: 104-108.
5. Strack C, Seifert R, Kleesiek J. Künstliche Intelligenz in der Hybridbildgebung. Der Radiologe 2020; 60: 405-412
6. Tjardes T, Heller RA, Pfürringer D et al. Künstliche Intelligenz in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Der Chirurg 2020; 91: 201-205
7. Sassenscheidt J, Jungwirth B, Kubitz JC. „Machine learning“ in der Anästhesiologie. Der Anaesthesist 2020
8. Janß A, Schlichting S, Radermacher K. Operationssaal und Klinik 4.0 – Der OR.NET Ansatz. In: Frenz W, Hrsg. Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer; 2020: 1053-1075
9. Hänold S. KI- und Big-Data-Anwendungen in der Schockraumbehandlung. ZD-Aktuell 2019. 06720
10. Hänold S. KI-Forschung in der Medizin benötigt eine Reform datenschutzrechtlicher Regelungen in Deutschland. ZD-Aktuell 2020. 07046
11. Kreimeyer K, Foster M, Pandey A et al. Natural language processing systems for capturing and standardizing unstructured clinical information: A systematic review. Journal of biomedical informatics 2017; 73: 14-29
12. Kolios P, Milis G, Panayiotou C et al. A resource-based decision support tool for emergency response management. In: 2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management; 2015: 159-165
13. Land P, Sonnessa M, Tànfani E et al. Multiobjective bed management considering emergency and elective patient flows. International Transactions in Operational Research 2018; 25: 91-110
14. Liu NT, Holcomb JB, Wade CE et al. Utility of vital signs, heart rate variability and complexity, and machine learning for identifying the need for lifesaving interventions in trauma patients. Shock 2014; 42: 108-114
15. Follin A, Jacqmin S, Chhor V et al. Tree-based algorithm for prehospital triage of polytrauma patients. Injury 2016; 47: 1555-1561
16. Hilbert P, Lefering R, Stuttmann R. Traumaversorgung in Deutschland: Erhebliche Letalitätsunterschiede zwischen den Zentren. Dtsch Arztebl 2010; 107: 463-469
17. Hartmannbund/Bitkom. Gesundheit 4.0 –Wie Ärzte die digitale Zukunft sehen, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Aerzte-sind-offen-fuer-die-digitale-Zukunft-der-Medizin.html>; 2017

18. Bates DW, Saria S, Ohno-Machado L et al. Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health affairs (Project Hope)* 2014; 33: 1123-1131
19. Taylor RA, Pare JR, Venkatesh AK et al. Prediction of In-hospital Mortality in Emergency Department Patients With Sepsis: A Local Big Data-Driven, Machine Learning Approach. *Academic emergency medicine* 2016; 23: 269-278.
20. Afshar-Oromieh A, Rominger A, Shi K. Künstliche Intelligenz zur Detektion, Quantifizierung und Charakterisierung des metastasierten Prostatakarzinoms in der PSMA-PET/CT – Wo stehen wir? *Der Nuklearmediziner* 2019; 42: 144-147
21. Hekler A, Utikal JS, Enk AH et al. Superior skin cancer classification by the combination of human and artificial intelligence. *European journal of cancer* 2019; 120: 114-121
22. Hekler A, Utikal JS, Enk AH et al. Pathologist-level classification of histopathological melanoma images with deep neural networks. *European journal of cancer* 2019; 115: 79-83
23. Ross T, Zimmerer D, Vemuri A et al. Exploiting the potential of unlabeled endoscopic video data with self-supervised learning. *IJCARS* 2018; 13: 925-933
24. Dickten H, Kratsch C, Reiz B. Die künstliche Intelligenz in der Einzelzellgenomik. *Gefässchirurgie* 2019; 24: 523-530
25. Bensch S. Digitale Technologien. *CNE Pflegemanagement* 2020; 07: 4-5
26. Hofmann S, Telgheder M, Weddeling B. Die Medizin der Zukunft. *Handelsblatt* 2019. 44-46
27. Bertram N, Püschner F, Gonçalves ASO et al. Einführung einer elektronischen Patientenakte in Deutschland vor dem Hintergrund der internationalen Erfahrungen. In: Klauber J et al (Hrsg.) *Krankenhaus-Report 2019: Das digitale Krankenhaus*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2019: 3-16
28. König R. Virtuelles Krankenhaus: Nordrhein-Westfalen auf Digitalisierungskurs. *kma - Klinik Management aktuell* 2019; 24: 36-38
29. ACATEC. *Lernende Systeme im Gesundheitswesen: Grundlagen, Anwendungsszenarien und Gestaltungsoptionen*. Bericht der AG Gesundheit, Medizintechnik, Pflege. München; 2019

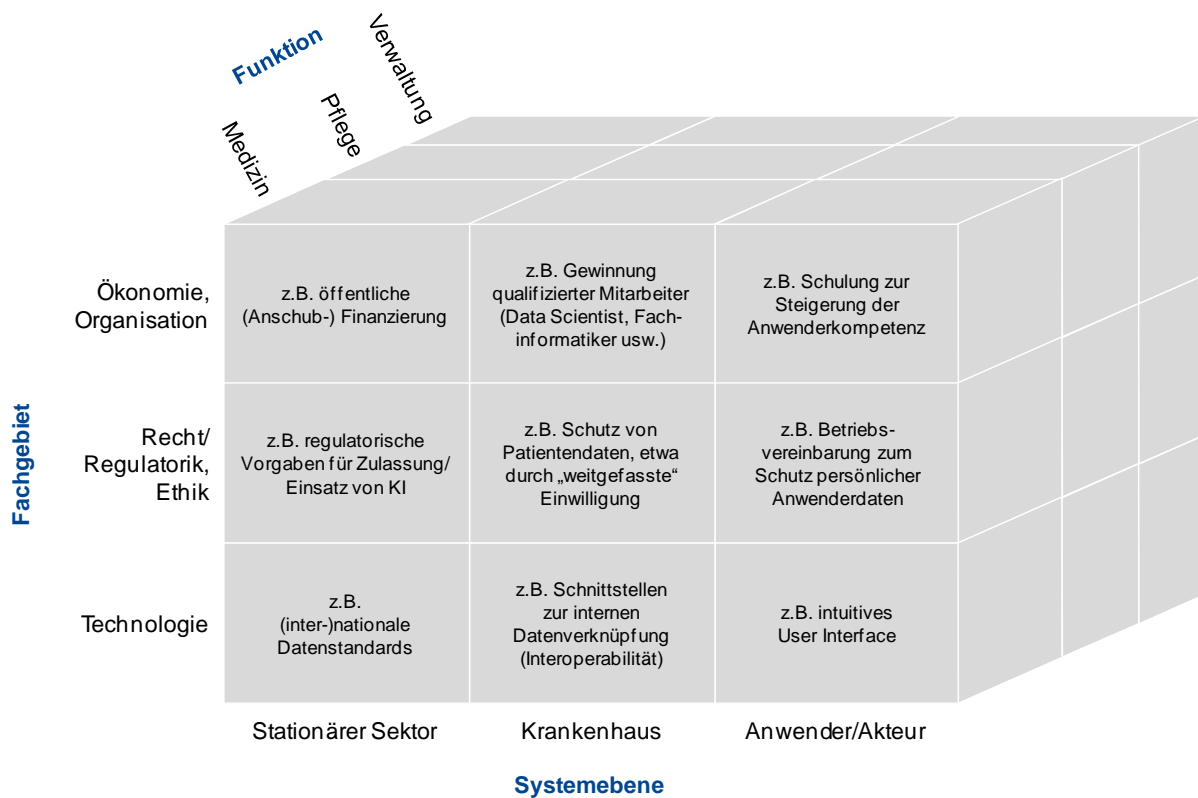


Abb. 1: Gliederungskriterien zum Einsatz von KI-Anwendungen im Krankenhausalltag mit Beispielmaßnahmen zur Förderung der Softwareimplementierung und -nutzung.

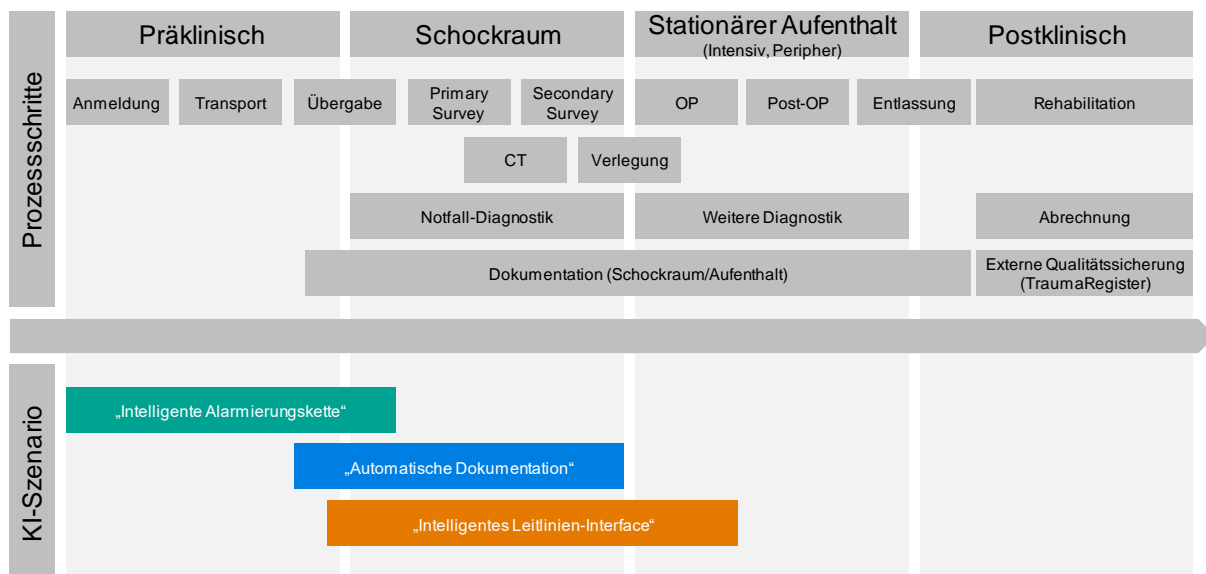


Abb. 2: Prozessualer Ablauf der Schwerverletzten-Versorgung mit Zuordnung von Beispielszenarien für den Einsatz innovativer KI-Anwendungen.