Fraunhofer IML

Whitepaper

Künstliche Intelligenz im Krankenhaus – Fokus Logistik

Impressum

Autoren
Sylvia Kaczmarek
Christian Rauch
Thomas Bredehorn
Dr.-Ing. Sebastian Wibbeling

Herausgeber
Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel
Prof. Dr. Michael Henke
Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Internet
Das Whitepaper steht Ihnen auch im Internet unter www.innovationslabor-logistik.de zur Verfügung.

DOI
10.24406/publica-2055

Kontakt
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2 – 4
44227 Dortmund
healthcare@iml.fraunhofer.de

Bildquelle Titelbild:
© Fraunhofer IML

Ausschließlich zum Zweck der besseren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsspezifische Schreibweise verzichtet.

Alle personenbezogenen Bezeichnungen auf dieser Webseite sind somit geschlechtsneutral zu verstehen.

© Fraunhofer IML, Dortmund Dezember 2023

Kurzfassung

Künstliche Intelligenz (KI) erlangt in Krankenhäusern zunehmend an Bedeutung und entwickelt sich zu einem zentralen Trend-Themenfeld. Gegenwärtig findet KI hauptsächlich Anwendung bei der Bilderkennung, der Unterstützung von Behandlungsentscheidungen, Diagnosen und der natürlichen Sprachverarbeitung. Allerdings bietet KI nicht nur Möglichkeiten zur Unterstützung medizinischer Entscheidungen, sondern auch zur Optimierung von Prozessen, Vereinfachung von Analysen und Automatisierung von Arbeitsabläufen.

Das Fraunhofer IML befasst sich mit zahlreichen Einsatzmöglichkeiten von KI zur operativen Prozessverbesserung und Optimierung der Logistik in Krankenhäusern. In diesem Whitepaper werden die Grundlagen von künstlicher Intelligenz zusammengefasst und eine neue Systematik zur Klassifikation von KI-Lösungen verschiedener Krankenhausbereiche (Anwendungsmodell von KI-Lösungen im Krankenhaus) vorgestellt.

Ergänzt werden diese Inhalte um aktuelle Forschungsprojekte, welche neue KI-Lösungen im Krankenhaus repräsentieren. Diese Lösungen reichen von der Unterstützung der Transportdisposition mit KI-Verfahren zur besseren Steuerung und Prognose von Material- und Patiententransporten bis hin zur KI-basierten Auswertung von Daten zur Automatisierung von manuellen und pflegefernen Prozessen in der Pflege.

© Fraunhofer IML

Inhaltsverzeichnis

Impressum 2

Kurzfassung 3

Einführung 6

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz. 7
- Definition 7
- Einordnung der Verfahren 7
- Darstellung von KI-Methoden 8
- Künstliche Intelligenz vs. traditionelle Verfahren 9
- Die Rolle des Menschen im KI-Prozess 9
- Herausforderungen bei der Umsetzung von KI 10

Künstliche Intelligenz im Krankenhaus 12
- Klassifikation von KI-Anwendungen 12
- Anwendungsmodell von KI-Lösungen im Krankenhaus 12

Vorstellung von KI-Lösungen im Krankenhaus 20
- Transportlogistik – KI zur Prognose und Steuerung der Krankenhaus-Transportdisposition 20
- Pflegedokumentation – KI zur automatischen Dokumentation mittels Sensorik und Deep Learning 21
- Bestandsführung – KI zur automatischen Materialanforderung für Modulschränke 22
- Transport- und Serviceroboter – KI für intelligente Roboterführung in der Krankenhauslogistik 23

Literaturverzeichnis 24

© Fraunhofer IML

Einführung

Digitalisierung - Krankenhaus 4.0 - Mobile Devices - Machine Learning - Künstliche Intelligenz sind nur einige Schlagworte mit denen sich Krankenhäuser derzeitig, aber auch zukünftig intensiv auseinander setzten müssen. Unbestritten sind dies für Krankenhäuser die Herausforderungen der Zukunft – und die Zukunft beginnt jetzt im Hier und Heute.

Künstliche Intelligenz hat sich im Bereich der Medizin bereits etabliert und deckt zahlreiche Einsatzbereiche ab. Der globale Markt für künstliche Intelligenz im Gesundheitswesen erwirtschaftete im Jahr 2021 6,60 Mrd. USD und wird laut einer Studie von Vantage Market Research (Vantage Market Research, 2022) bis 2028 voraussichtlich 95,65 Mrd. USD erreichen. Es wird von 2021 bis 2028 von einer jährlichen Wachstumsrate von 46,1 % ausgegangen, was vor allem auf den wachsenden Nutzen von KI-Technologien in der Arzneimittelforschung und der Diagnostik zurückzuführen ist.

Doch welche Rolle spielt die Künstliche Intelligenz in der Krankenhauslogistik und in der Gestaltung von Krankenhausprozessen? Welche Chancen und Risiken, aber auch welche Erwartungen und Ängste sind mit dem Einsatz von KI verbunden? Das Gesundheitssystem verfügt über riesige Datenbestände in Form von Patienten- und Krankenakten, medizinischen Bildern und Scans sowie Bevölkerungsdaten und klinischen Studien. Künstliche Intelligenz eignet sich ideal zur Auswertung dieser Datenmengen. Aus diesem Grund werden bereits zahlreiche Aufgaben im Bereich der medizinischen Diagnostik, der Entwicklung von neuen Arzneimitteln oder der Durchführung von Operationen durch KI unterstützt. So fortschrittlich der Einsatz von intelligenten Verfahren in den genannten Bereichen eingesetzt wird, so wenig verbreitet ist die Anwendung von KI in anderen Bereichen des Health Care-Sektors, wie beispielsweise der Logistik oder Prozessunterstützung.

Das vorliegende Whitepaper dient dazu, mehr Klarheit und Transparenz zu schaffen, was Künstliche Intelligenz überhaupt ist und wie Einsatzmöglichkeiten in der Krankenhauslogistik aussehen könnten. So können Ängste und Vorbehalte überwunden, bzw. konkrete Einsatzfälle bewertet werden. KI ist keine Wundertechnologie, kein alleinentscheidender Computer, welcher die Herrschaft über Prozesse und Entscheidungen übernehmen wird. Künstliche Intelligenz beinhaltet viel mehr Verfahren, Algorithmen und Technologien, die es ermöglichen, anhand von Daten und deren Interpretation Entscheidungen vorzubereiten oder zu treffen. Die Verantwortung für diese Entscheidungen liegt normalerweise jedoch bei den Menschen und die Vorbereitung dieser Entscheidungen ist mit Aufwand verbunden. KI bietet hier eine große Chance, den Aufwand langfristig zu reduzieren und die Entscheidungsqualität zu verbessern. Es hängt dabei entscheidend davon ab, wie KI-Anwendungen in den operativen Alltag integriert werden können. In welchen Bereichen ist also der Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Krankenauslogistik denkbar und welche Vorteile sind damit verbunden?

Die Logistik ist im Krankenhaus ein maßgeblicher Faktor für die Qualität und Effizienz des Krankenhausbetriebs. Auch in der Krankenhauslogistik sind Entscheidungen zu treffen: Welche Menge eines bestimmten Artikels braucht eine Station? Wie variiert der Verbrauch eines Artikels auf einer Station im Laufe eines Jahres aufgrund saisonaler Schwankungen? Welche Infrastruktur mit wie vielen Personen und Transport-Ressourcen bedarf es, um die Logistik für unterschiedliche Lastfälle optimal zu gewährleisten? Warum müssen beispielsweise Pflegekräfte oder Versorgungsassistenten immer noch mehrmals in der Woche über die Stationen gehen, um die Bestellungen aufzunehmen und können diese Aufgabe nicht intelligente Schränke selbstständig übernehmen?

© Adobe Stock, LALAKA

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

Definition

Künstliche Intelligenz (KI) (eng. artificial intelligence (AI)) ist ein Teilgebiet der Informatik. Der Begriff künstliche Intelligenz beschreibt in der Informatik Ansätze, Entscheidungen zu automatisieren und geht auf Alan Mathison Turing (britischer Mathematiker) zurück. Dieser hat bereits 1950 den berühmten Satz formuliert: »A computer would deserve to be called intelligent if it could deceive a human into believing that it was human.« Dies zeigt, dass die künstliche Intelligenz keine neue Disziplin der Wissenschaft ist, sie existiert bereits seit Mitte der 50er Jahre. Jedoch hat die Entwicklung seit Anfang des letztens Jahrzehnts enorme Fortschritte in der Umsetzung gemacht.

Doch was ist eigentlich »Intelligenz«? Intelligenz wird vorwiegend durch fünf Fähigkeiten definiert. Hierzu zählen Wahrnehmen, Schlussfolgern/Urteilen, Lernen, Problem lösen und linguistische Intelligenz. Der Überbegriff der Künstlichen Intelligenz wird im Allgemeinen für Anwendungen und Technologien verwendet, bei denen Maschinen (Computer) menschenähnliche Intelligenzleistungen erbringen bzw. ermöglichen, menschliche Intelligenz nachzuahmen. Innerhalb des Forschungsgebietes der künstlichen Intelligenz werden daher Anwendungen erforscht und entwickelt, welche so gut wie möglich menschliche Fähigkeiten imitieren bzw. erweitern, indem sie Entscheidungen treffen, die auf Wissen und Erfahrungen basieren. Dazu gehören das Verständnis von Sprache, logisches Denken, selbstständiges Lernen und die Entscheidungsfindung. KI-basierte Systeme können aufgrund ihrer umfangreichen Wissensdatenbank auf komplexe Probleme schneller reagieren als Menschen. Die zentrale Aufgabe besteht somit in der Nachbildung und Automatisierung von intelligentem Verhalten. Die Grundidee hierbei ist, durch Maschinen eine Annäherung an wichtige Funktionen und Fähigkeiten des menschlichen Gehirns zu schaffen. Die Grundvorrausetzungen für solche Anwendungen sind jedoch hohe Datenmengen und hohe Rechenleistungen.

Ein Ziel der KI ist die Entwicklung von Systemen, die schneller arbeiten als menschliche Benutzer. Beispielsweise können KI-basierte Systeme ein breites Spektrum an Daten analysieren und schneller als Menschen mit Lösungsvorschlägen auf komplexe Probleme reagieren. Dies kann dazu beitragen, für den Menschen die Komplexität der Entscheidungsfindung bei der Bearbeitung von Aufgaben zu reduzieren und die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen. KI-Systeme sind auch in der Lage, Maschinen zu steuern, die für Aufgaben eingesetzt werden, die menschliche Fähigkeiten in hochkomplexen Situationen übersteigen. Ein Beispiel hierfür ist das autonome Fahren, bei dem KI-Systeme das Fahrzeug steuern und schnelle Reaktionen auf unvorhergesehene Ereignisse und Situationen vornehmen. Diese KI-Systeme verarbeiten in kürzester Zeit multiple Sensordaten des eigenen Fahrzeugs wie auch die Daten anderer beteiligter Objekte innerhalb der Systemgrenze sowie Umgebungs- und Umweltparameter.

Viele Anwendungen zeigen, dass künstliche Intelligenz inzwischen nicht mehr Grundlagenforschung ist, sondern schon in unserem Alltag integriert ist (z.B. Alexa, ChatGPT, Google Bard, Bilderkennung).

Einordnung der Verfahren

Eine besondere Stärke menschlicher Intelligenz ist die Adaptivität. Wir sind in der Lage, uns an die verschiedensten Umweltbedingungen anzupassen und durch Lernen unser Verhalten entsprechend zu ändern. Da wir gerade in der Lernfähigkeit den Computern noch weit überlegen sind, ist nach der Definition von Rich das maschinelle Lernen, insbesondere das Deep Learning ein zentrales Teilgebiet der KI. Deep Learning versucht (Rich, 1983), die Fähigkeit des menschlichen Gehirns nachzubilden, Informationen über 1000 Billionen Synapsen zu verknüpfen und daraus Schlussfolgerungen zu ziehen bzw. zu lernen.

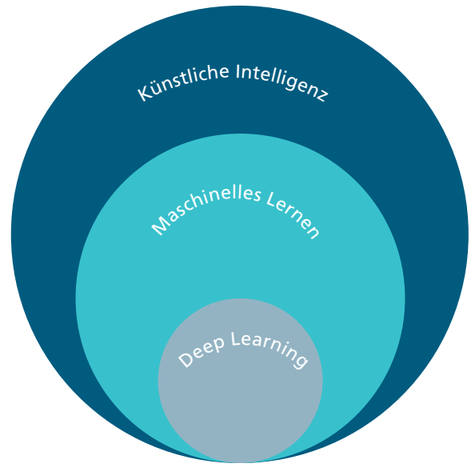


Abbildung 1: Maschinelles Lernen als Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz (Frochte, 2020)

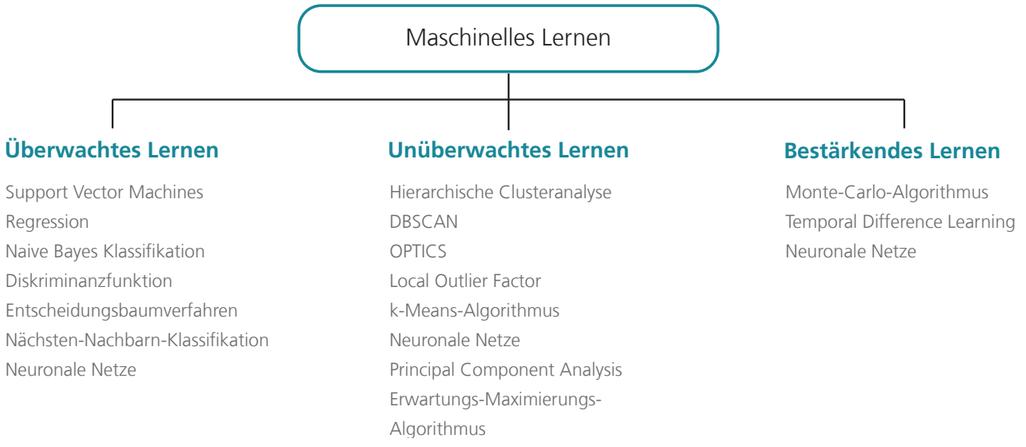


Abbildung 2: Zuordnung gängiger Verfahren zu den drei ML-Ansätzen

Innerhalb des Machine Learning (ML) entwickeln Maschinen die Fähigkeit zur Mustererkennung und dem kontinuierlichen Lernen von Daten. Basierend auf diesen Daten werden Modelle (neuronale Netze) trainiert, die daraus Wissen generieren. Abschließend werden Entscheidungen auf Basis von berechneten Wahrscheinlichkeiten getroffen. Das zentrale Konzept hierbei ist die Bildung neuronaler Netze und deren Training. In neuronalen Netzen wird eine große Zahl einfacher Bewertungsfunktionen zur Abbildung komplexer Sachverhalte miteinander verknüpft. Die Grundidee dahinter besteht aus der künstlichen Nachbildung von natürlichen (menschlichen) Lernvorgängen.

Machine Learning wird bereits heute umfangreich in der industriellen Praxis eingesetzt. Es werden dabei drei grundlegende Lernstrategien unterschieden: Supervised Learning (überwachtes Lernen), Unsupervised Learning (unüberwachtes Lernen) und Reinforcement Learning (bestärkendes Lernen) (s. Abbildung 2). Den ML-Ansätzen können wiederum verschiedene Verfahren des ML zugeordnet werden (Deisenroth et al., 2020).

Als Teilgebiet des Machine Learning beschreibt das sogenannte Deep Learning das Erkennen von Bildinhalten oder die Spracherkennung. Mit dem Begriff »Deep« ist hierbei die Anzahl der verborgenen Schichten von neuronalen Netzwerken verbunden. Somit ist Deep Learning an die Strukturen des menschlichen Gehirns angelehnt, mit dem Ziel, Probleme auf eine ähnliche Art zu lösen wie Menschen.

Darstellung von KI-Methoden

Bei der Anwendung von künstlicher Intelligenz steht in der Regel in erster Linie das Ergebnis im Vordergrund. Dabei ist oft nicht wichtig, wie das Ergebnis erreicht wird, sondern die intelligente Lösung des Problems. Der Fixpunkt in der KI ist daher meist nicht eine einzelne Methode, sondern das Ziel, intelligente Systeme für die verschiedensten Aufgaben zu entwickeln. Da die Aufgaben sehr unterschiedlich sein können,

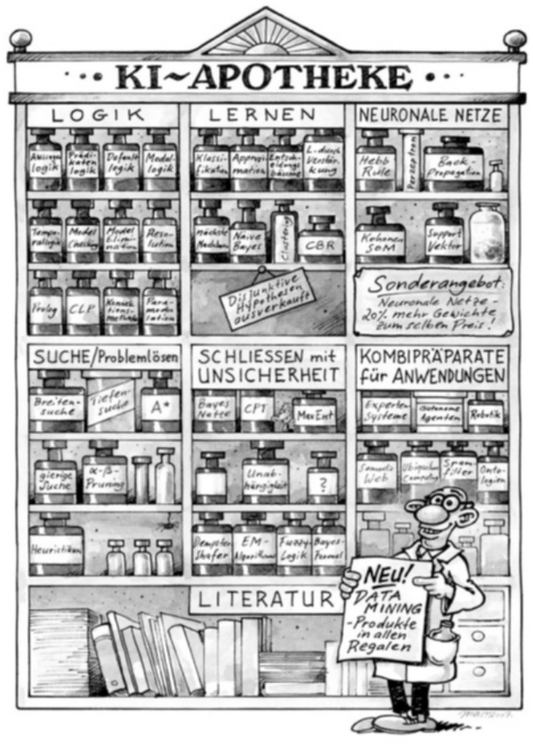


Abbildung 3: Ein Ausschnitt aus dem Angebot an KI-Verfahren, Ertel, W.: Grundkurs Künstliche Intelligenz, Wiesbaden, 2016.

sind auch die in der KI verwendeten Methoden teilweise sehr unterschiedlich. Ähnlich wie in der Medizin, die viele unterschiedliche, oft lebensrettende Diagnose- und Therapieverfahren umfasst, stellt auch die KI heute eine breite Palette an effektiven Verfahren für die verschiedensten Anwendungen bereit. Ein Ausschnitt dieser Anwendungen ist in Abbildung 3 dargestellt. Wie in der Medizin gibt es auch hier keine universelle Methode für alle Anwendungsbereiche, aber eine große Zahl möglicher Behandlungen für die verschiedensten großen und kleinen Probleme des Alltags (Wittpahl, 2018).

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ VS. TRADITIONELLE VERFAHREN

Wie unterscheidet sich maschinelles Lernen von traditionellen Verfahren? Um diese Fragestellung zu beantworten ist die Grundfrage von ML zu betrachten: Wie bringt man ein Computerprogramm, das eine bestimmte Aufgabe hat, dazu, aus Erfahrungen zu lernen und mit diesen Erfahrungen diese oder ähnliche Aufgaben in Zukunft besser zu lösen (Mitchell, 2010)? Der Schlüssel hierfür liegt in einem Rückkopplungsalgorithmus. Im Unterschied zu einem statischen Programm passen sich die Entscheidungsregeln über eine mehrfache Rückkoppelung iterativ an das Erlernte an (Abbildung 4).

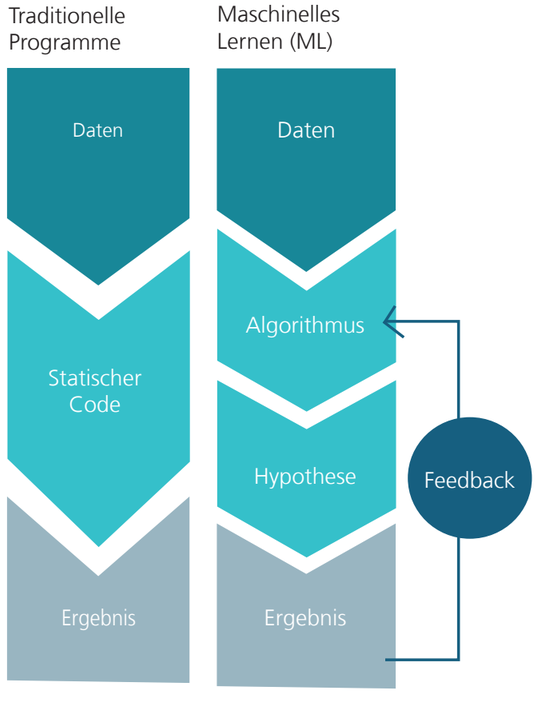


Abbildung 4: Traditionelle Programme versus ML

Sowohl das maschinelle Lernen als auch traditionelle Algorithmen sind Methoden, um komplexe Aufgaben zu lösen. Während maschinelle Lernsysteme dazu befähigt sind, aus Erfahrungen zu lernen und sich an neue Umgebungen anzupassen, basieren traditionelle Algorithmen auf festgelegten Regeln. Das bedeutet, dass maschinelle Lernsysteme in der Lage sind, die besten Entscheidungen zu treffen, auch wenn sich die Umgebungsparameter und damit »die Regeln« ändern. Traditionelle Algorithmen sind im Gegensatz dazu nur dann effektiv, wenn ihre festgelegten Regeln weiterhin gültig sind (Wittpahl, 2018).

DIE ROLLE DES MENSCHEN IM KI-PROZESS

Künstliche Intelligenz ist eine Technologie, die sich schnell weiterentwickelt und sowohl technologisch als auch prozessual sowohl neue Möglichkeiten eröffnet als auch Risiken beinhaltet. Sie führt zu neuen Prozessen, anderen Anforderungen und veränderten Arbeitsbedingungen. In diesem Kontext ist es wichtig, wie der Mensch als Teil eines KI-basierten Prozesses arbeitet und bestenfalls sogar ein Gesamtsystem aufgebaut wird, indem die Stärken von Mensch und Maschine zu einem integrierten, voneinander lernenden System zusammengeführt werden.

Dies kann dazu führen, dass Menschen schneller und effektiver auf bestimmte Herausforderungen reagieren, was wiederum eine effizientere Nutzung von Ressourcen fördert. KI-basierte Prozesse können dabei helfen, Menschen bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen oder sie in Form eines Assistenzsystems anweisen, bestimmte Aktionen zu unternehmen. Dieses kann in vielerlei Hinsicht nützlich sein, indem die KI beispielsweise dazu beiträgt, dass Menschen weniger Fehler machen und die Prozessqualität steigt oder ihnen hilft, Entscheidungen zu treffen und sich an bestimmte Richtlinien zu halten. Obwohl die KI (noch) nicht in der Lage ist, die Rolle des Menschen in einem KI-basierten Prozess komplett zu ersetzen, kann sie dabei helfen, dass Menschen rationaler und effektiver handeln.

Abbildung 5 beschreibt die Rolle des Menschen in Zusammenarbeit mit KI mit verschiedenen Automatisierungsgraden (Sheridan & Verplank, 1978).

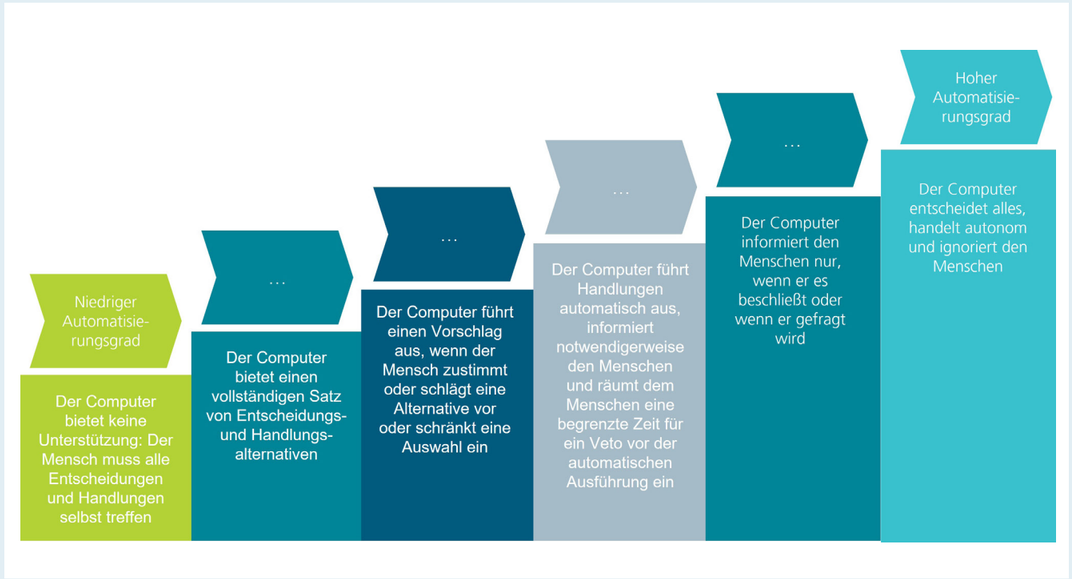


Abbildung 5: Stufen der Automatisierung in Mensch-Computer-Interaktionen

In sämtlichen Stufen der Automatisierung sollte der Einsatz von KI nicht dazu führen, dass Menschen ihren eigenen Verstand und ihr Verantwortungsbewusstsein aufgeben. Eine KI kann auch Fehler machen und es wird immer noch wichtig sein, dass Menschen die Kontrolle behalten und selbst mitentscheiden, insbesondere, wenn durch Fehlentscheidungen lebensbedrohliche Situationen auftreten können. In sogenannten Human-in-the-Loop-Konzepten (HITL) wird diese Idee aufgegriffen, indem Menschen als Teil des Systems integriert werden. Es stellt eine Verbindung zwischen Mensch und Maschine her, indem der Mensch sein erlerntes Wissen bei der Überprüfung und Bewertung der KI-Ergebnisse beisteuert und das KI-System kontinuierlich weiter optimiert wird. Mensch und Maschine werden als Team betrachtet und den Menschen wird ermöglicht, schnelle Entscheidungen auf der Grundlage von KI-Datenanalysen und -Ergebnissen zu treffen, die in der Summe besser sind, als wenn nur der Mensch oder nur die Maschine entschieden hätte. Auf diese Weise können Menschen die Kontrolle über ihre Entscheidungen behalten und HITL dazu beitragen, dass die KI keinen unkontrollierten Einfluss auf ihr Verhalten hat.

HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UMSETZUNG VON KI

KI wird zunehmend verwendet, um Prozesse zu automatisieren und die Leistung von Systemen zu verbessern. Allerdings gibt es in der Krankenhauslogistik besondere Herausforderungen, die mit der Umsetzung und Verwendung von KI verbunden sind.

Datenmengen und Datenqualität

KI-Systeme werden mit einer Vielzahl verschiedener Daten trainiert, um die Ergebnisqualität zu maximieren und Fehlerquoten möglichst gering zu halten. Die KI lernt und wächst anhand der zur Verfügung stehenden Daten. Die Qualität der Trainingsdaten ist dabei von großer Bedeutung. Je fortgeschrittener die KI ist, desto mehr und komplexere Daten werden benötigt, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. In der Praxis wird es allerdings vorkommen, dass Szenarien eintreten, auf die das System nicht vorbereitet ist und es zu Ungenauigkeiten kommt. Das System muss dann erst wieder lernen, so dass es in dieser Phase zu potenziellen Gefährdungen für Patienten kommen kann (Sobia, 2016). Auch die Frage nach der Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger und validierter Daten wird häufig gestellt, um den Einsatz von KI sinnvoll zu machen. Oftmals fehlt es an ausreichenden Datenmengen, was dazu führt, dass KI in bestimmten Anwendungsbereichen nicht effizient einsetzbar ist.

Fehlende Flexibilität

KI-Systeme funktionieren, wenn sie auf ein zuvor angelerntes System in einer definierten Umgebung mit festgelegten Aufgaben angewendet werden. Ändert sich die Umgebung dynamisch, sind KI-Systeme nicht selbstständig und vor allem zuverlässig in der Lage, sich den geänderten Bedingungen anzupassen und daraus zu lernen. Dies bedeutet, dass die

Systeme möglicherweise nicht adäquat auf unerwartete bzw. für die KI unbekannte Ereignisse reagieren können, die in einem Krankenhaus auftreten können und denen Menschen mit ihrem Wissen und Erfahrungen kreativ und kooperativ begegnen (kurzfristige Planabweichungen, Ausfälle etc.). Folglich befassen sich immer mehr Forscher damit, flexible und resiliente Machine-Learning-Modelle zu entwickeln.

Überinterpretation

Der Einsatz von KI kann in einigen Anwendungsgebieten aufgrund des Potenzials der Überinterpretation problematisch sein. Die meisten KI-Systeme sind so programmiert, dass sie an ein bestimmtes Ziel angepasst sind, wodurch sie Abweichungen von diesem Ziel als Fehler wahrnehmen und versuchen, diesen zu korrigieren. Dies kann zu unerwünschten Ergebnissen oder sogar zu schwerwiegenden Folgen führen, falls KI in kritischen Umgebungen angewendet wird.

Fehlendes Expertenwissen

Vor dem Hintergrund eines mangelnden Expertenwissens, ist es in einigen Anwendungsbereichen nicht sinnvoll, künstliche Intelligenz (KI) einzusetzen. KI-Systeme benötigen in der Regel ein hohes Maß an Expertenwissen, um korrekt konfiguriert und trainiert zu werden. Die Verfügbarkeit von Experten mit dem entsprechenden spezifischen Wissen, welche bereit sind, sich mit KI-Systemen zu befassen und die notwendige Zeit zu investieren, diese zu trainieren, stellt eine Herausforderung dar. Dies gilt insbesondere in Anwendungsbereichen im Krankenhaus, welche selbst einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen und zur Erledigung ein hohes Maß an Expertenwissen erfordern.

Transparenz und Vertrauen

In einem sensiblen Anwendungsbereich wie dem Gesundheitswesen müssen KI-Anwendungen entwickelt werden, die Vertrauen beim jeweiligen Nutzer schaffen, da mit der Verwendung von Blackbox-KI ein Risiko eingegangen wird, dass Ergebnisse oder Entscheidungen nicht mehr vollständig nachvollziehbar sind und damit auch das Vertrauen der Nutzer in die künstliche Intelligenz sinkt. Ein fehlerhaft oder unzureichend entwickeltes bzw. trainiertes KI-System, welches mit Patientendaten arbeitet, kann dazu führen, dass Patienten nicht optimal behandelt werden. Das Ziel besteht jedoch nicht darin, die Blackbox-KI gänzlich erklärbar zu machen, sondern ein effizientes Level an Transparenz zu finden, welches den Menschen kognitiv nicht überfordert, sondern dazu beiträgt, Vertrauen in die Entscheidungsfindung zu schaffen (Mariani et al., 2023).

Künstliche Intelligenz im Krankenhaus

In den letzten Jahren hat der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) im Gesundheitswesen, insbesondere im Krankenhaus, erheblich an Bedeutung gewonnen. Die rasante Entwicklung von KI-Technologien ermöglicht nicht nur eine Verbesserung von medizinischen und diagnostischen Prozessen, sondern auch neue Möglichkeiten zur Verbesserung von Prozessen und Abläufen, welche wiederum zu einer Optimierung der Patientenversorgung führen.

Prozessoptimierung in der Krankenhauslogistik, unterstützt durch KI-Anwendungen, eröffnet vielfältige Chancen, Engpässe zu verringern und Effizienzsteigerungen zu erzielen. Mit diesem Whitepaper wird eine neue Systematik zur Klassifizierung von KI-Anwendungen nach ihrem Aufgabenbereich und Anwendungsbereich im Krankenhaus (OP-Bereich, Station, Lager etc.) vorgestellt. Für verschiedene Anwendungsbereiche werden ausgewählte KI-Lösungen beschrieben.

Für die wissenschaftliche Erforschung des aktuellen und zukünftigen KI-Einsatzes ist es wichtig, einen Überblick über die vorhandenen Anwendungen, Herausforderungen und Zukunftsperspektiven zu gewinnen.

KLASSIFIKATION VON KI-ANWENDUNGEN

Mit dem vorliegenden Whitepaper werden KI-Lösungen im und um das Krankenhaus dargestellt und sinnvoll strukturiert. Dazu existieren zwei verschiedene Klassifiationsdimensionen:

- Nach Anwendungsbereich
- Nach Aufgabenbereich

Eine Strukturierung der KI-Lösungen nach den Anwendungsbereichen im Krankenhaus ergibt sich durch die klassische Struktur der Funktionsbereiche eines Krankenhauses (s. Abbildung 6). Ergänzt werden diese durch die Darstellung der logistischen Ströme eines Krankenhauses nach Fraunhofer IML (Wibbeling, 2006).

Die zweite Möglichkeit zur Strukturierung von KI-Anwendungen ergibt sich aus den Aufgabenbereichen und orientiert sich an den kognitiven Aufgaben der Menschen, welche die KI nachzubilden bzw. zu imitieren anstrebt. Unter Kognition werden in der Psychologie Prozesse und Strukturen zur Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen verstanden (Hänsel et al., 2016). Eine ähnliche Einteilung von Aufgaben erfolgt in der folgenden, aus sechs Klassen bestehenden Klassifikation für logistische Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung: Erzeugen und Aufbereiten (Filtern) von Informationen, Erzeugen von Alternativen, Bewerten von Alternativen, Auswählen von Alternativen, Überwachung/Monitoring der Entscheidungsausführung und Kontrollieren der Entscheidungsausführung (Buchholz & Clausen, 2009).

Basierend auf dieser Klassifikation erfolgt eine Betrachtung von vier Aufgaben, bei deren Durchführung KI-Lösungen im Krankenhaus unterstützen sollen:

- Erkennen
- Analysieren
- Planen und Entscheiden
- Ausführen

ANWENDUNGSMODELL VON KI-LÖSUNGEN IM KRANKENHAUS

Basierend auf dem Dortmunder Anwendungsmodell des Maschinellen Lernens in der Logistik, welches KI-Lösungen nach Logistikbereichen (Beschaffung und Einkauf, Produktion, Vertrieb und Distribution) und Kognitionsbereichen klassifiziert (Murrenhoff et al., 2021), wird in diesem Whitepaper ein Anwendungsmodell für KI-Lösungen im Krankenhaus präsentiert (s. Abbildung 7). Das Ziel dieses Modells ist es, den Anwendern eine strukturierte Übersicht möglicher KI-Anwendungen im Krankenhaus zu bieten.

Das Modell erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern kann an beliebigen Stellen erweitert werden. Es bietet einen umfassenden Überblick über bestehende und mögliche Lösungen, welcher kontinuierlich ergänzt werden kann.

Nachfolgend werden bestehende KI-Lösungen in die zuvor beschriebenen vier Klassifikationsdimensionen der KI eingeordnet:

Logistik / Transport
Die Logistik bildet das Rückgrat für viele Krankenhausprozesse. Mit den heute verfügbaren Möglichkeiten der Sensorik zur Identifikation und Lokalisierung sowie der Analyse von Bewegungsdaten, Lastdaten und Betriebsparametern von Fahrzeugen, Transport- und Handlingrobotern, Ladehilfsmitteln oder auch medizinischen Geräten sind vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für eine KI gegeben. Schwarmintelligentes Verhalten von autonomen Transportressourcen mit dezentralen Steuerungen in Verbindung mit einer intelligenten Auftragsdisposition ermöglichen einen effizienten und nachhaltigen Einsatz der verfügbaren Ressourcen. Mittels KI können sowohl prädiktive Planungen unter Berücksichtigung dynamischer Einflussparameter durchgeführt als auch flexibel auf unvorhersehbare Ereignisse reagiert werden. So befähigen nachrüstbare KI-Sensorboxen autonome Fahrzeuge, von der Intervention eines menschlichen Operators bei Störungen des Transportprozesses zu lernen, um zukünftig selbstständig ähnliche Situationen zu meistern (siehe Forschungsprojekt 5G RemRob). Aber auch bei der Auslastung der Ressourcen können beispielsweise intelligente Packmustergeneratoren mittels KI dazu beitragen, Leerfahrten zu vermeiden und verfügbare Transportressourcen nachhaltig zu nutzen.

Zentrallager / Apotheke
Im Bereich des Zentrallagers und der Apotheke ist in verschiedenen Bereichen der Einsatz von KI denkbar. So können zur Vorhersage und Identifikation von Versorgungs- und Beschaffungsrisiken für Produkte und Artikel durch Predictive Analytics-Ansätze Vorhersagen in Form von Bedarfsprognosen zu notwendigen und zu beschaffende Artikelmengen geleistet werden. Neben der Vorhersage und Prognose von optimalen und anforderungsgerechten (Lager-)Mengen kann die KI zudem über die physischen Eigenschaften und Anforderungen der Produkte in der Lagerverwaltung Mehrwerte liefern, wie beispielsweise flexibel zu nutzende Lagerzonen und Positionierungsvorschläge der Artikel im Lager.

Bei Prozessen und Anforderungen in der Kommissionierung kann Künstliche Intelligenz bei der Vorhersage der wahrscheinlichen Kommissioniermenge einer Kostenstelle unterstützen. Mit dem sich daraus ergebenden, zu transportierenden Volumenbedarf ist damit ein optimierter Einsatz von Transport- und Transporthilfsmittel möglich.

Des Weiteren ist im technischen Umfeld eines Zentrallagers und einer Apotheke zukünftig auch eine KI-gestützte Kommissionier- und Transporttechnik denkbar, wie beispielsweise eine autonom agierende Robotik im innerbetrieblichen Einsatz, welche die Materialflussprozesse innerhalb der Bereiche unterstützt.

OP-Bereich
Im OP-Bereich, einen für den wirtschaftlichen Krankenhausbetrieb sehr wichtigen Bereich, ist der Einsatz und Nutzen von KI in verschiedenen Themenfeldern zukünftig absehbar. So kann KI im Bereich »Erkennen« bei der Identifikation von Operationen und Aktivitäten in Form von Sprach-, Gesten- und Gesichtserkennung wichtigen Mehrwert liefern. Auch eine KI-gestützte Identifikation des hygienischen Zustands eines OP-Saals und der sich daraus ableitenden notwendigen Tätigkeiten, kann ein Einsatzfall sein.

Der OP ist zudem ein materialintensiver Bereich, verbunden mit einem hohem Bestell- und Dokumentationsaufwand. Auch hier kann und wird Künstliche Intelligenz sowohl bei Bedarfs- und Mengenprognosen zukünftiger Verbräuche als auch in der automatischen Dokumentation des Materialverbrauchs auf

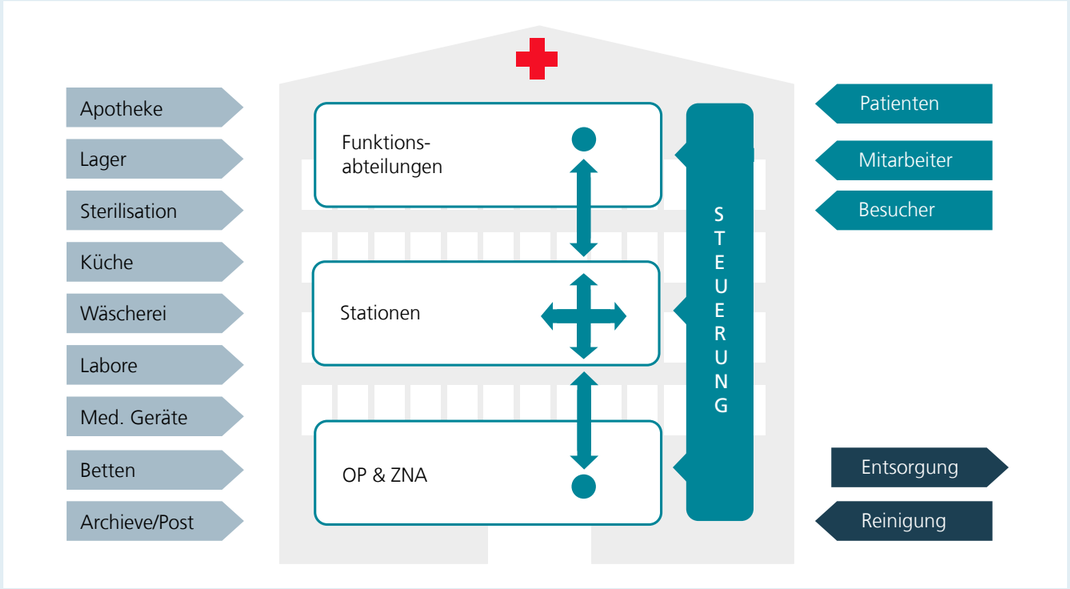


Abbildung 6: Die logistischen Ströme eines Krankenhauses

	Transport / Logistik	Zentrallager / Apotheke	OP-Bereich	Pflegestation	AEMP	Notaufnahme	Ambulanzen / Poliklinik	Aufnahme / Entlas-
Erkennen	Tracking von Objekten/ Personal/Geräten	Intelligentes Lager / Intelligenter Warenein-/ ausgang	Tracking von med. Geräten		Qualitätsprüfung		Tracking von med. Geräten	Dokumentation mittels Spracherken- nung
			Verbrauchs- dokumentation	Patientenbewegungen				
	Identifikation von Objekten / Transportwagen / Versor- gungsrisiken / Raumbedingungen (Hygiene / Saalzustand)							
			Sprach-, Gesten- oder Gesichterkennungen					
			Erkennen und Sammeln von Echtzeitdaten / Materialverbrauch					
			Klassifizierung von Operationen		Zustand der Instumente / Erkennung von Schmutzresten			
Analysieren	Analyse von Bewegungsdaten zur Ermittlung der Transportbedarfe	Intelligente Kommissionierung / Lagerverwaltung	OP-Verlauf / Performanceanalysen	Analyse d. Behandlungs- fortschritts auf Basis von Materialerkennung	Analyse der Siebzusam- menstellung / OP-spezi- fische Verbräuche		Ermittlung des Raum- bedarfs	
			Intelligente Belegungs- planung durch Analyse der Saalauslastung	Bedarfs- / Verbrauchsanalysen	Erkennung und Analyse zur Instandhaltung & Wartung der Anlagen			
Planen und Entscheiden	Intelligente Transport- disposition /Aufzugs- steuerung	Materialbedarfsprognosen, Bestandsmengenoptimierung, Retourenmanagement				Risikomanagement	Terminmanagement	Ad Hoc-Termin- management nach Auslas- tung und Termindauer
	Problembehebung bei der Fahrt		OP-Dauer vorraussagen und Saalbelegung generieren	Personalplanung mit gesetzlichen Regelungen (Qualifikationen) als Reaktion auf Ausfälle			Belegungsplanung	Intelligentes Termin- management auf Basis von Vergangenheitsdaten
	Intelligentes Packen		OP-Plan auf Basis von Echtzeitdaten	Bettenbedarfplanung / -prognosen	Siebpriorisierung		Personalplanung	
Ausführen	Autonome Transporte	Autonome Roboter			Autonome Bestellung von Material	Automatische Dokumentation		Sprachkommunikation mit Patienten
		Intelligentes Warenmanagement						
		Steuerung der Lagertechnik, Kommis- sionierung und Warenausgang	Assistenzsysteme (z.B. Richtprozess)	Ausführung patienten- ferner Tätigkeiten (Sprach- / bildbasiert) z.B. Dokumentation	Automatisches Fallwagen- lager mit intelligenter Lagerplatzvergabe und -verwaltung und Kommissionierung			

Abbildung 7: Anwendungsmodell von KI-Lösungen im Krankenhaus

einen Fall (Stichwort DRG-Controlling) eingesetzt und weiterentwickelt werden.

Die in einem OP-Bereich bereits anfallenden und aufgenommenen Daten und Informationen können zudem im Bereich »Planen und Entscheiden« mit KI-Unterstützung intelligent genutzt werden, um OP-Dauer und Saalbelegung zu prognostizieren und somit die OP-Planung und Saalnutzung zu optimieren.

Auch im OP ist zukünftig eine KI-gestützte Robotik denkbar, welche die Materialfluss- und Instrumentenprozesse, beispielsweise beim Richten der Instrumente unterstützt.

Pflegestation
Für bettenführende Bereiche wie Pflege- und Intensivstationen eines Krankenhauses ist der KI-Einsatz beim Erkennen, Sammeln und der Analyse von Informationen von Materialverbrauchsdaten zur Vorhersage und Ableitung notwendiger und optimaler Lager- und Bestellmengen von Artikeln ein zukünftig relevantes Feld.

Zur Optimierung von Anforderungsprozessen und zur Reduzierung von Logistikaufwänden ist eine automatisierte, KI-gestützte Erkennung von Materialentnahmen möglich. Mittels einer optischen oder physischen Identifikation von Beständen in den Lagerbereichen einer Station (siehe AI4Demand) und sich daraus ergebenden automatisierten Anforderungen stellt dies einen Anwendungsbereich für einen KI-Einsatz dar.

Aber nicht nur die Identifikation der Materialentnahme und die Anforderungserstellung, sondern auch die Identifikation von Pflegetätigkeiten durch Bewegungsidentifikation mittels Sensorik, sind zukünftige und aktuell bereits untersuchte Einsatzgebiete. Hier besteht das Potential, Pflegetätigkeiten automatisiert zu erkennen und zu dokumentieren (siehe NRW-Forschungsvorhaben »Eingabefreie Station).

Auf den Pflegestationen können bei Material- und Patiententransporten durch flexible, personalentlastende KI-gestützte Kommissionier- und Transporttechniken, wie beispielsweise autonom agierende Robotik, die Transport- und Logistikprozesse innerhalb und zwischen den verschiedenen Bereichen innerhalb eines Krankenhauses unterstützen, z. B. zwischen Intensivstation und Labor/Pathologie.

Aufbereitungseinheit für Medizinprodukte (AEMP)
Die AEMP ist mit seiner Versorgungsfunktion für den OP-Bereich eines jeden Krankenhauses ein zeit- und ressourcenkritischer Funktionsbereich. Qualitätsanspruch und zuverlässige Versorgung bei gleichzeitiger Optimierung der erforderlichen Instrumenten- und Siebbestände erfordern heute einen hohen manuellen Aufwand. In Verbindung mit einer kamerabasierten Erfassung von Instrumenten und Siebstrukturen, lassen sich mittels KI-basierten Algorithmen und Machine Learning sowohl die Instrumentenverbräuche als auch die Siebbestückung mit aufbereiteten Instrumenten unterstützen. Fehlendes Personal in der Gesundheitsbranche kann so in Teilbereichen kompensiert werden. Ebenso kann durch eine KI-unterstützte, automatisierte Planung die Siebverfügbarkeit im OP mit einem höheren Nutzungsgrad der einzelnen Instrumente zu geringeren Instrumenten- und Siebbeständen führen. Hierzu werden sowohl Orts- und Zustandsinformationen von Transportmitteln, Sieben und Instrumenten sensorisch erfasst als auch auf Metadatenanalysen basierende fall- und ggf. auch arztspezifische Merkmale berücksichtigt. Positive Effekte lassen sich auch in Fallwagensystemen generieren, indem die Bestandsoptimierung zu einem geringeren Flächenbedarf führt und bei Instandhaltung, Wartung und Betriebsmittelverbrauch der Aufbereitungsanlagen selbst.

Notaufnahme
Auch für den Betrieb einer Notaufnahme eines Krankenhauses ist der KI-Einsatz beim Erkennen, Sammeln sowie der Analyse von Daten und Informationen zur Ableitung von Handlungsfeldern sowohl in den Verbrauchsdaten der Materialien als auch bei Tätigkeiten und Prozessen ein zukünftiges Anwendungsfeld.

Durch die Interpretation von externen Daten, wie zum Beispiel Wetter- oder Ferienzeiten, kann durch Anwendung und Entwicklung von Predictive Analytics Methoden ein zukünftiger Impact für die Notaufnahme prognostiziert werden. Diese Prognose kann eine wichtige Grundlage für bereitzustellende Material-, Personal- und Geräteressourcen in Abhängigkeit der externen Daten und ihrer möglichen Auswirkungen auf den Betrieb der Notaufnahme liefern.

Durch die Identifikation von Tätigkeiten und Verfahren durch Bewegungs- und Tätigkeitsanalysen mittels Sensorik kann eine automatisierte Dokumentation in die IT-Systeme der Krankenhäuser forciert werden.

Ambulanzen / Polikliniken
Die Entwicklung einer zunehmenden Ambulantisierung mit sektorengleicher Leistungserbringung von gesundheitlichen Versorgungsleistungen wird sich auch in den typischen Ambulanzen und Polikliniken bemerkbar machen. Zunehmende Anforderungen im Bereich der Terminvergabe und des Ressourcenmanagements, hier insbesondere bei der Personalplanung und dem Gerätemanagement (Röntgengeräte, CT, MRT, Sonografen, Dialysegeräte etc.) werden angepasste oder auch neue Verfahren und Instrumente erfordern. Verfahren der Künstlichen Intelligenz können hier bei der Planung der Personalressourcen und der Belegungsplanung sowie dem Terminmanagement genutzt werden. Dieses kann sowohl in den jeweiligen Ambulanzen oder Polikliniken selbst als auch im Rahmen von Kooperationsmodellen über mehrere, sich ergänzende Standorte erfolgen. Zur Erhöhung der Qualität der Leistungserbringung können KI-Verfahren auch im Rahmen der Diagnostik eingesetzt werden, indem umfangreiche Datenbanken mit anonymisierten Patienten- und Behandlungsdaten aus Universitäts- und Spezialkliniken oder ambulanten Versorgungseinrichtungen mittels KI analysiert und für die konkrete Diagnose und Behandlung als Unterstützung der Entscheidungsfindung für das behandelnde medizinische Personal genutzt werden.

Aufnahme / Entlassung von Patienten
Im Rahmen von Aufnahme- und Entlassungsprozessen von Patienten ist sowohl ein hoher Aufwand in der Dokumentation der Anamnese als auch in den abschließenden, dem Patienten zu übergebenden Unterlagen verbunden. Hier können durch Ansätze und Techniken des Natural Language Processing (Verarbeitung natürlicher Sprache) zeit- und personalintensive Dokumentationsaufwände reduziert werden. Neben dem Einsatz von KI zur Verbesserung der Dokumentation, kann Künstliche Intelligenz zudem in der Patientenaufnahme für ein verbessertes Termin-Management für sich anschließende Untersuchungen und Operationen im Krankenhaus eingesetzt werden, was zu einer verbesserten Ressourcenauslastung oder einer Verkürzung der Verweildauer und damit letztendlich auch zu einer Steigerung der Patientenzufriedenheit führen kann. Ein weiters Einsatzgebiet ist die Nutzung von KI in der Kommunikation zwischen Krankenhauspersonal und Patienten/Angehörigen zur Reduzierung von Sprachhindernissen.

Die KI-bezogenen Trendthemen der Krankenhauslogistik beziehen sich somit auf verschiedene Anwendungsbereiche eines Krankenhauses und prägen die zu zukünftigen Abläufe, Prozesse und Arbeitsweisen - nicht nur kurzfristig sondern auch auf mittlere bis lange Sicht. Die Vielschichtigkeit dieser Anwendungen wird in Abbildung 8 veranschaulicht, die eine komplexe Netzstruktur ähnlich eines U-Bahn-Systems zeigt. Einige KI-Anwendungen können in verschiedenen Bereichen des Krankenhauses eingesetzt werden, was ihre Vielseitigkeit unterstreicht. Zudem ist zu erwarten, dass der Einfluss und die Relevanz dieser Anwendungen differenziert betrachtet werden können.

© Fraunhofer IML

Abbildung 8: KI-Anwendungen in der Krankenhauslogistik

Vorstellung von KI-Lösungen im Krankenhaus

TRANSPORTLOGISTIK – KI ZUR PROGNOSE UND STEUERUNG DER KRANKENHAUS-TRANSPORTDISPOSITION

Das Forschungsvorhaben »Künstliche Intelligenz zur Prognose und Steuerung in der Krankenhaus-Transportdisposition – KIK_Dispo« ist ein Projekt im Rahmen des BMBF-KMU-innovativ. Als Projektvorhaben wird das Potential neuer innovativer Lösungen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz zur Entwicklung neuer Softwarelösungen genutzt.

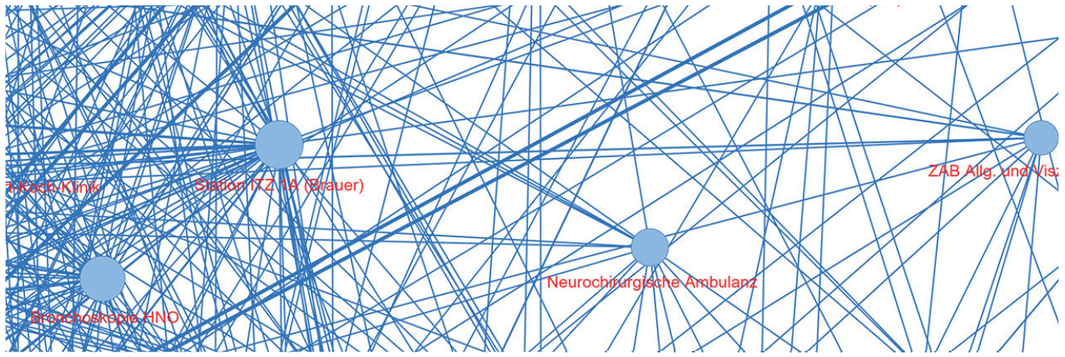
Die interne Krankenhauslogistik ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor im Krankenhaus. Denn die Organisation der Logistik und eine effiziente Transportdisposition ist maßgeblich verantwortlich für die Sicherstellung eines reibungslosen Behandlungsablaufes.

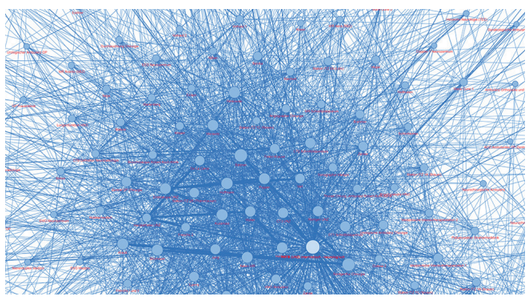
Die Planung und Steuerung der internen Logistik erfolgt im Bereich der Disposition durch den unterstützenden Einsatz von Dispositionssystemen. Diese ermöglichen ebenfalls automatische Dispositionen, also die Verteilung der Transportaufträge unter Berücksichtigung von aktuellen Daten. Dabei kommen die derzeitig verwendeten Dispositionstools an ihre Grenzen, wenn benötigte Ressourcen nicht vorhanden sind oder externe Faktoren einwirken.

Mit zunehmender Komplexität logistischer Operationen oder der Notwendigkeit von zeitkritischen Entscheidungen versagen herkömmliche Optimierungsalgorithmen. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der internen Krankenhauslogistik ermöglicht hier, die bisher unflexiblen IT-Strukturen zu verlassen und anpassungsfähige sowie bedarfsorientierte Aktivitäten und Prozesse zu erbringen.

Das Gesamtziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer intelligenten Dispositionsautomatik durch Verfahren des maschinellen Lernens. Dabei soll die intelligente Dispositionsautomatik aus vorangegangenen Entscheidungen lernen, wechselnde Parameter und Muster erkennen und die Prozesse selbständig an die wandelnden Anforderungen anpassen. Zusätzlich sollen durch eine KI-gestützte Transportdisposition die Transportzeiten und auch die Warte- und Übergabezeiten maßgeblich verringert werden.

Das Pflegepersonal kann entlastet werden und sich pflegerelevanten Tätigkeiten widmen. Dies ist insbesondere wichtig, um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken und die Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität im Krankenhaus zu optimieren.





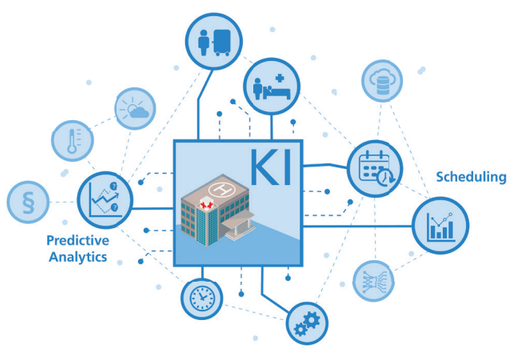


Abbildung 9: Transport-Netzwerk-Beziehung Beispielkrankenhaus

PFLEGEDOKUMENTATION – KI ZUR AUTOMATISCHEN DOKUMENTATION MITTELS SENSORIK UND DEEP LEARNING

Im Klinikalltag von Pflegekräften fallen neben den ohnehin schon komplexen Aufgaben der eigentlichen Pflege viele pflegefremde Tätigkeiten an, die zu einer zusätzlichen Belastung führen. Den größten Aufwand verursacht dabei die Dokumentation von geleisteten Pflegetätigkeiten. Das Pflegepersonal verbringt derzeit rund 60 Minuten am Tag damit, Pflegetätigkeiten in sog. Leistungserfassungsbögen zu dokumentieren. Diese bilden die Grundlage für eine ordnungsgemäße Abrechnung und dienen der Qualitätssicherung, tragen jedoch nicht zur Gesundung der Patienten bei.

Das Fraunhofer IML hat sich mit dem Projekt »Eingabefreie Station« zum Ziel gesetzt, eine ganzheitliche Lösung zu entwickeln, welche die manuellen Zeitaufwände der Pflegedokumentation minimiert, das Pflegepersonal von pflegefremden Tätigkeiten entlastet und mehr Raum für eine stärkere Interaktion zwischen Patienten und Pflegenden schafft. Zusätzliche Ziele sind die Unterstützung des Medizincontrollings, die Vermeidung von Dokumentationsfehlern und die Erhöhung der Pflegequalität.

Die Forschungsidee baut auf der bestehenden Motion-Mining® Technologie zur Aufnahme und Analyse manueller Arbeitsprozesse in der Logistik und Produktion auf. Innerhalb des Forschungsprojektes wird eine Lösung aus Hard- und Softwarekomponenten zur Erfassung von Pflegetätigkeiten konzipiert. Dazu wird die vorhandene Technologie den Parametern im Krankenhaus angepasst und um wichtige krankenhausspezifische Faktoren erweitert.

Das Verfahren basiert auf Sensorik und Machine Learning. Mobile Sensoren und Mini-Funksender zeichnen während der jeweiligen Pflegetätigkeit automatisch die anfallenden Prozessdaten auf. Mithilfe intelligenter KI-Algorithmen werden die Daten analysiert und interpretiert (Deep Learning). Anschließend werden die Tätigkeiten in einem Leistungsnachweis zusammengefasst und der Pflegedokumentation eines Patienten zugeordnet. Durch ein mobiles Endgerät (Handy) hat das Pflegepersonal abschließend die Möglichkeit, die erkannten Pflegetätigkeiten zu prüfen, ggf. zu ergänzen und zu bestätigen. Nach erfolgreicher Bestätigung können die Leistungen in der elektronischen Patientenakte dokumentiert werden. Eine zeitintensive nachträgliche Dokumentation entfällt auf diese Weise.

Bei der Umsetzung wird den Themen Akzeptanz, Transparenz, Anonymisierung und Datenschutz eine besondere Bedeutung zugeschrieben. Um eine praktikable und nutzerorientierte Lösung für alle Beteiligten zu entwickeln, werden die Nutzer früh in das Forschungsvorhaben integriert.

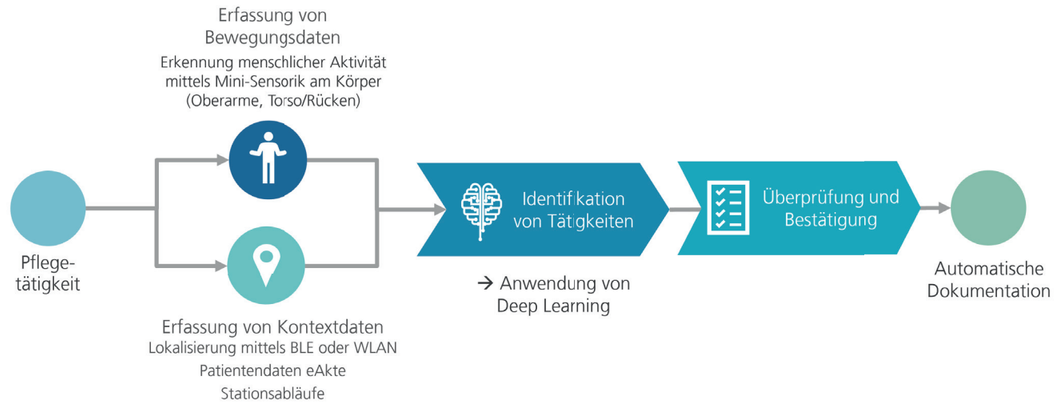


Abbildung 10: Grundkonzept der Eingabefreien Station

BESTANDSFÜHRUNG – KI ZUR AUTOMATISCHEN MATERIALANFORDERUNG FÜR MODULSCHRÄNKE

Für die Lagerung von Medikal- und Arzneimitteln auf den Stationen und in den OP-Bereichen von Krankenhäusern werden häufig Modulschränke eingesetzt. Jeder Schrank enthält mehrere Modulkörbe, die mit Fachteilern wiederum in Segmente für unterschiedliche Artikel unterteilt werden. Die Materialversorgung der Modulschränke erfolgt nach dem Kanban-Prinzip. Für jeden Artikel oder jedes Arzneimittel gibt es mindestens ein Entnahme- und ein Vorratsfach. Ist ein Fach nach der Entnahme eines Artikels durch die Pflegekraft leer, wird ein Barcodeschildchen für diesen Artikel im Schrank sichtbar an dem dafür vorgesehenen Platz in der Schranktür oder am Modulkorb eingehängt und die Artikel idealerweise aus dem Vorratsfach in das Entnahmefach umgepackt, um das FiFo-Prinzip einzuhalten. Turnusmäßig werden alle Schränke eines Bereichs bzw. einer Kostenstelle dann auf entsprechend angebrachte Barcodeschildchen überprüft und diese per Handscanner zur Anforderung des Artikels oder Arzneimittels eingescannt. Um den erfolgten Anforderungsvorgang für alle Pflegekräfte sichtbar zu machen, wird das Barcodeschildchen anschließend z. B. um 180° gedreht an der gleichen Stelle eingehängt. Wurde das leere Fach wieder aufgefüllt, wird das Barcodeschildchen wieder am ursprünglichen Ort in der entsprechenden Ausrichtung aufgehängt und der Auffüllvorgang ist abgeschlossen.

Diese logistischen Tätigkeiten werden heute noch häufig von Pflegekräften durchgeführt oder von Versorgungsassistenten. Oft kommt es im stressigen Arbeitsalltag der Pflegekräfte zu fehlenden oder falsch eingehängten Barcodeschildchen. Dies hat zur Folge, dass Artikel gar nicht, falsch oder ggf. auch doppelt angefordert werden, was zu fehlenden Artikeln oder Überbeständen mit überfüllten Schränken führt.

Hier setzt das im Rahmen des Forschungsprojekts »Silicon Economy« am Fraunhofer IML durchgeführte Projekt »AI4Demand« an, um die Pflegekräfte von logistischen Tätigkeiten zu entlasten und den Anforderungsvorgang von Verbrauchsmaterial und Arzneimitteln automatisiert und fehlerfrei durchzuführen. Das System besteht aus einem Kameradevice mit Bewegungsmelder, welches oberhalb der Modulschränke an der Frontseite angebracht wird. Öffnet eine Pflegekraft die Schranktür, nimmt die Kamera laufend Bilder der Modulkörbe auf, die zur Materialentnahme herausgezogen werden. Mittels einer auf dem Device laufenden Künstlichen Intelligenz (KI) werden die Bilder analysiert und leere Modulfächer sowie die Modulkorb-ID über einen auf dem Rand angebrachten Barcode erkannt.

Die KI wurde dazu mittels Machine Learning (ML) mit unterschiedlichen Trainingsdatensätzen trainiert, um auch bei sich ändernden Umgebungsparametern zuverlässige Ergebnisse zu liefern. Ebenso wurden Störfaktoren wie z. B. Hände, die vom Rand des Modulkorbs in ein Fach ragen oder Köpfe, die sich während der Entnahme über ein Fach beugen in den Trainingsdaten entsprechend gelabelt und bei der späteren Bildanalyse herausgefiltert. Hat die KI im Laufe des Entnahmeprozesses ein leeres Fach erkannt, wird die entsprechende Information an das Bestellsystem des Krankenhauses übermittelt und die Artikelanforderung auf Basis der SOLL-Bestandsmenge des mit dem Fach verheirateten Artikels automatisch ausgelöst. Eine Besonderheit des AI4Demand-Devices ist, dass die komplette KI-Bildanalyse ausschließlich auf dem Kamera-Device selbst läuft und keine datenschutzkritischen Bilder übertragen werden.

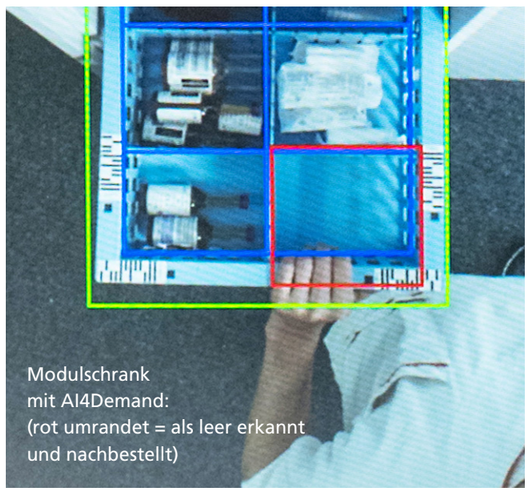


Abbildung 10: Darstellung der Erkennung von leeren und vollen Fächern

TRANSPORT- UND SERVICEROBOTER – KI FÜR INTELLIGENTE ROBOTERFÜHRUNG IN DER KRANKENHAUSLOGISTIK

Um autonom fahrende Roboter weiterzuentwickeln und deren Autonomie weiter zu steigern, entwickelt das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML zusammen mit den Industriepartnern FACT GmbH, SICK GmbH sowie dem St. Franziskus-Hospital Münster im Forschungsprojekt »5G-RemRob« ein ressourcenoptimiertes Technikkonzept mit geringem Implementierungsaufwand. Das Projekt wird gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. Die konzeptuelle Gestaltung soll Transportroboter sukzessiv befähigen, autonom in unterschiedlichen Einsatzorten zu fahren. So kann der Roboter in einem Krankenhaus zum Beispiel den kleinvolumigen Materialtransport von den Funktionsbereichen bis zu den Übergabeorten auf den Stationen übernehmen. Die eingesetzte Technik befähigt den Transportroboter dabei zur eigenständigen Lösung gewisser Problemstellungen, wie beispielsweise der Hindernisumfahrung oder der Personeninteraktion. Innerhalb des Forschungsprojektes werden drei aufeinander aufbauende Entwicklungen seitens des Fraunhofer IML durchgeführt (Abbildung 10):

- RemoteAI
- Remote Assistance
- Lifelong Training Algorithmus

Die RemoteAI ermöglicht die Fernsteuerung von Transportrobotern im Krankenhaus durch den Einsatz des 5G-Kommunikationsstandards, der eine stabile drahtlose Netzwerkverbindung mit geringer Latenz und hoher Datenübertragungsrate bietet. Diese ist erforderlich, um die Roboter-Fernsteuerung zu ermöglichen, indem neben hochauflösenden Echtzeit-Videostreams auch weitere Sensor- und Systemdaten übertragen werden.

Die modulare Bauweise erlaubt die Kompatibilität mit verschiedenen Roboterplattformen und ermöglicht somit einen flexiblen Einsatz unabhängig der verwendeten Transportroboter.

Die Nutzung des 5G-Standards begründet sich unter anderem daraus, dass krankenhausinterne WLAN-Strukturen aus datenschutzrechtlichen Gründen meist nicht zur Verfügung stehen. Auch der Aufbau eines parallel WLAN-Netzwerkes ist aus Kostengründen nicht zielführend.

Durch die Remote Assistance kann der Operator mittels XR-Technologie den Transportroboter fernsteuern und dessen Kompetenz aufbauen. Bei unlösbaren Problemen sendet der Roboter eine Störungsmeldung zum Leitstand des Operators. Dieser kann sich dann mittels XR-Datenbrille auf den Roboter schalten und erhält Informationen über das System sowie Bilddaten des Roboterumfelds. Die XR-Technologie bereitet die übertragenen Sensordaten und Kamerabilder kontextspezifisch auf, was dem Operator eine leicht erfassbare Umgebungsvisualisierung ermöglicht. Dank der verzögerungsfreien Fernsteuerung und der 3D-Perspektive kann der Operator Hindernisse umfahren und der Roboter setzt seinen Transportauftrag anschließend autonom fort.

Zur Autonomisierung der Transportroboter ist der Lifelong Training Algorithmus eine wesentliche Entwicklung innerhalb des Forschungsprojektes. Die durch die Remote Assistance generierten Daten werden an die RemoteAI übertragen und dort durch die künstliche Intelligenz verarbeitet. Auf diese Weise erlernt der Transportroboter durch das menschliche Verhalten des Operators die Hindernisumfahrung. Infolgedessen wird der Autonomiegrad des Transportroboters in komplexen und dynamischen Umgebungsszenarien sukzessiv erhöht, wodurch gleichzeitig die Interaktionszeit und Häufigkeit der Hilfestellungen seitens des Operators reduziert wird.

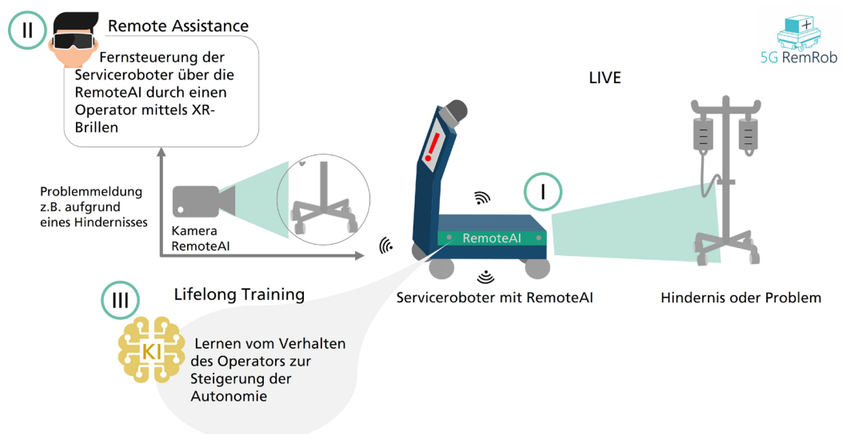


Abbildung 11: Grundidee von 5G-RemRob

Literaturverzeichnis

[1] Buchholz, P., & Clausen, U. (2009). Große Netze der Logistik. Berlin: Springer Verlag.

[2] Deisenroth, M., Faisal, A., & Ong, C. (2020). Mathematics for Machine Learning. Cambridge University Press.

[3] Hänsel, F., Baumgärtner, S., Kornmann, J., & Ennigkeit, F. (2016). Sportpsychologie. Berlin: Springer Verlag.

[4] Mitchell, T. M. (2010). Machine learning. International ed. New York: McGraw-Hill.

[5] Murrenhoff, A., Friedrich, M., Witthaut, M., Henke, M., ten Hompel (Hrsg.), M., Henke (Hrsg.), M., & Clausen (Hrsg.), U. (2021). Künstliche Intelligenz in der Logistik. Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management; 10, S. 30.

[6] Rich, E. (1983). Artificial Intelligence. McGraw-Hill.

[7] Mariani, R., Rossi, F., Cucchiara, R., Pavone, M., Simkin, B., Koene, A., & Papenbrock, J. (2023). Trustworthy AI-Part 1. Computer (Long Beach, Calif.), 56(2), 14-18.

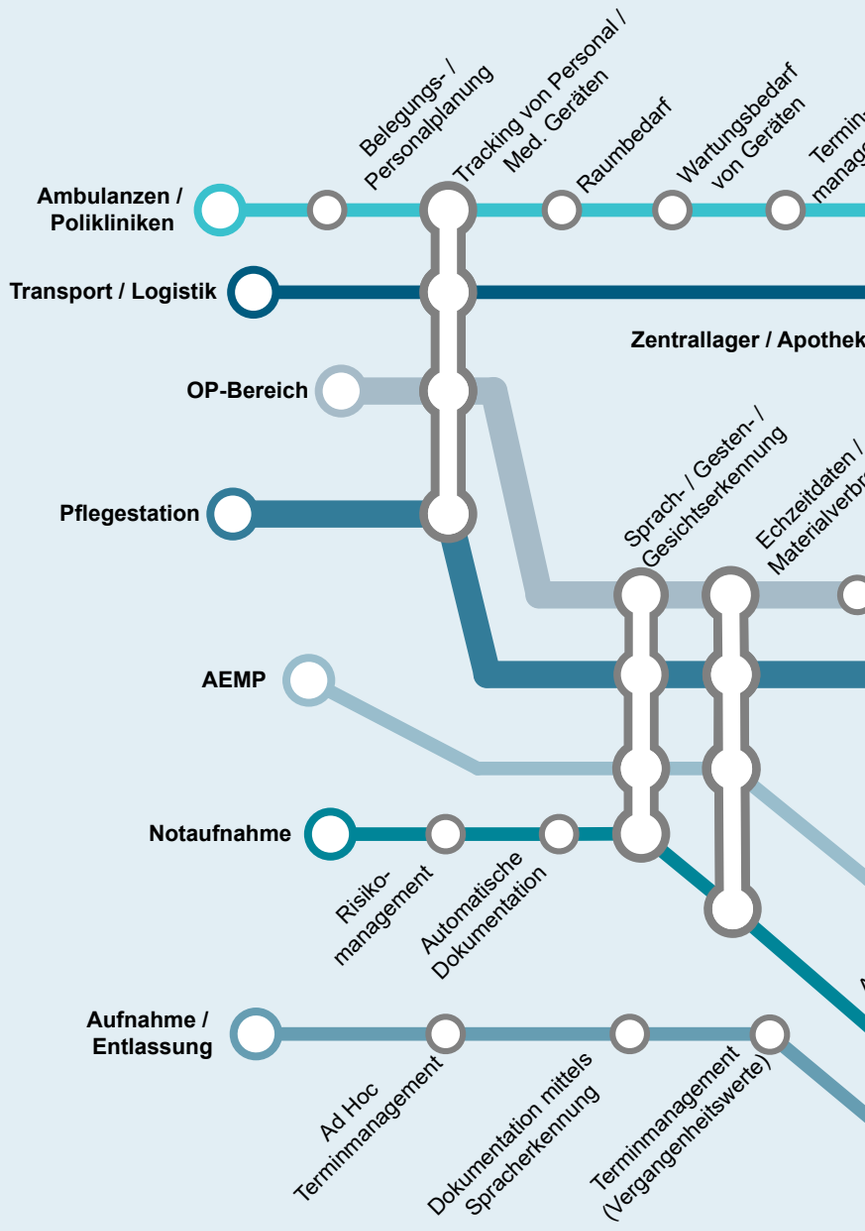
[8] Sheridan, T., & Verplank, W. (1978). Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. MIT Man-Machine Systems Laboratory.

[9] Sobia, H. (2016). The Opportunities and Risks of Artificial Intelligence in Medicine and Healthcare. Cambridge University Science and Policy Exchange, 4.

[10] Vantage Market Research. (10. Oktober 2022). Global Artificial Intelligence [AI] in Healthcare Market Size & Share to Surpass $95.65 Billion by 2028: Vantage Market Research.

[11] Wibbeling, S. (15. März 2006). Zielorientierte und wirtschaftliche Gestaltung der krankenhausinternen Materialversorgung. Unternehmenslogistik.

[12] Wittpahl, V. (2018). Künstliche Intelligenz. Berlin: Springer Verlag.



Kontakt

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4
44227 Dortmund

Tel. +49 231 9743-0
info@iml.fraunhofer.de
www.iml.fraunhofer.de