

Das Internet der medizinischen Dinge (Internet of Medical Things- IoMT) mit KI ausbauen: Von Daten zu autonomen Gesundheitssystemen

Einleitung

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) bezeichnet ein Netzwerk physischer Objekte – Sensoren, Wearables, Maschinen und vernetzte Instrumente –, die Daten über das Internet erfassen, übertragen und austauschen können. Diese Vernetzung verwandelt Alltagsgegenstände in kontinuierliche Informationsquellen () und schafft Ökosysteme, die miteinander und mit zentralen Systemen kommunizieren können.

Im Gesundheitswesen findet das IoT zunehmend breite Anwendung: von Wearables, die Vitalparameter in Echtzeit überwachen, über Sensoren in Krankenhäusern, die den Standort von Geräten und Patienten verfolgen, bis hin zu telemedizinischen Lösungen, die Fernkonsultationen und kontinuierliche Nachsorge ermöglichen. Anwendungen dieser Art werden mit der Abkürzung IoMT (Internet of Medical Things) bezeichnet.

Die Vorteile sind vielfältig:

- **Kontinuierliche Patientenüberwachung** auch außerhalb des Krankenhauses mit aktuellen Daten.
- **Schnellere Prävention und Diagnose** dank zeitnaher Analyse von Signalen und Anomalien.
- **Betriebliche Effizienz**, Zeit- und Kostenersparnis durch intelligenteres Ressourcenmanagement.

Wenn Algorithmen der künstlichen Intelligenz (KI) mit diesen Gerätenetzwerken kombiniert werden, wächst deren Potenzial noch weiter: KI kann große Mengen an Sensordaten analysieren, komplexe Muster erkennen und Echtzeit-Prognosen oder Warnmeldungen generieren, wodurch das IoT zu einer Plattform wird, die nicht nur Informationen sammelt, sondern auch fundierte, vorausschauende Entscheidungen trifft.

Diese Technologien ebnen somit den Weg für eine zunehmend personalisierte, proaktive und datengesteuerte Gesundheitsversorgung, die sowohl die Patientenerfahrung als auch die Arbeit der medizinischen Fachkräfte verbessert.

IoT im Gesundheitswesen

Die Einführung des Internets der Dinge im Gesundheitswesen revolutioniert die Erfassung und Verwaltung klinischer Daten und sorgt für eine kontinuierlichere und besser personalisierte Versorgung. Zu den besonders relevanten Anwendungsbereichen gehören:

1. Wearables

Tragbare Sensoren, Brustgurte und intelligente Pflaster können Parameter wie Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffgehalt oder körperliche Aktivität überwachen. Die Daten werden in Echtzeit an Ärzte oder Cloud-Plattformen gesendet, wodurch eine ständige Überwachung chronisch kranker oder gefährdeter Patienten ermöglicht wird und im Falle von Anomalien sofort eingegriffen werden kann.

2. Vernetzte Krankenhäuser

In den Stationen und Operationssälen verteilte Sensoren verfolgen den Standort von Geräten, Medikamenten und sogar Patienten, wodurch die Ressourcennutzung optimiert und die Sicherheit verbessert wird. Fernüberwachungssysteme ermöglichen die ununterbrochene Beobachtung der Vitalfunktionen stationärer Patienten und reduzieren so die Arbeitsbelastung des Personals.

3. Telemedizin und häusliche Pflege

IoT-Geräte zur Messung verschiedener medizinischer Parameter können in den Wohnungen der Patienten installiert werden. Die Daten werden automatisch an medizinisches Fachpersonal weitergeleitet, was virtuelle Besuche erleichtert, Krankenhausaufenthalte reduziert und eine proaktive Nachsorge ermöglicht.

4. Notfall- und Logistikmanagement

Vernetzte Krankenwagen und Systeme zur Verfolgung temperaturempfindlicher Medikamente sorgen dafür, dass wichtige Vorräte unter optimalen Bedingungen gelagert werden und Rettungskräfte sofortigen Zugriff auf wichtige Informationen haben.

Anwendungen dieser Art bieten mehrere Vorteile, darunter:

- **Bessere Kontinuität der Versorgung**, auch außerhalb des Krankenhauses.
- **Geringere Betriebskosten** und weniger Abfall durch intelligentes Ressourcenmanagement.
- **Höhere Genauigkeit und Aktualität** bei Diagnose und Behandlung.

Das IoT leistet also mehr als nur das Sammeln von Daten: Es schafft ein dynamisches Netzwerk, das die Gesundheitsversorgung reaktionsschneller, effizienter und patientenorientierter macht.

Umfassende und flexible IoMT-Infrastrukturen

Der Ausgangspunkt für die Entwicklung erfolgreicher Systeme ist der Aufbau komplexer, sicherer IoT-Infrastrukturen, die sich an unterschiedliche klinische Szenarien anpassen lassen.

Unsere Expertise in der Hardware- und Firmware-Entwicklung für eingebettete medizinische Geräte ermöglicht es uns, komplette End-to-End-Infrastrukturen zu schaffen – angefangen bei den Sensoren, die mit den Patienten in Kontakt stehen, bis hin zu Apps, die vom medizinischen Personal verwendet werden. Diese Infrastrukturen umfassen:

1. Feldknoten

Feldknoten sind Sensoren und ggfs. Aktoren (z. B. Infusionspumpen oder Alarmer), die Daten erfassen und bei Bedarf Maßnahmen ergreifen. Dabei kann es sich um Armbänder zur Messung der Herzfrequenz, Umgebungssensoren zur Überwachung der Medikamententemperaturen oder tragbare Geräte zur Überwachung des Blutzuckerspiegels handeln.

2. Das Backend: der digitale Kern

Hier kommen Server, Datenbanken und Cloud-Dienste ins Spiel. Das Backend ist der Bereich, der Daten empfängt, speichert, verarbeitet und zur Verfügung stellt.

Tatsächlich gelangen die gesammelten Daten zu Plattformen, die sie in Echtzeit organisieren und analysieren – und bei Bedarf Warnmeldungen generieren. Datenbanken und Speichersysteme bewahren historische Informationen für weiterführende Studien auf. Schließlich können diese Informationen über APIs und Microservices in bestehende klinische Systeme wie die elektronischen Gesundheitsakten von Patienten integriert werden.

3. Anwendungen für Ärzte und Patienten

Die Infrastruktur wird durch benutzerorientierte Schnittstellen ergänzt: Krankenhaus-Dashboards, Smartphone-Apps und Webportale. Über diese können Ärzte Diagramme, Trends oder Alarmmeldungen in Echtzeit überwachen, und Patienten und Pflegekräfte können Erinnerungen erhalten, ihre eigenen Messwerte überprüfen und Daten mit Spezialisten austauschen.

Der Datenfluss ist kontinuierlich: Sensoren erfassen Parameter, das Gateway überträgt sie sicher in die Cloud, Server verarbeiten sie und die Anwendungen stellen sie als Diagramme, Benachrichtigungen oder Befehle für Aktoren dar.

Diese modulare Architektur ermöglicht eine einfache Skalierung von wenigen Geräten auf Tausende, wobei Sicherheit und Zuverlässigkeit gewährleistet bleiben.

Von der Datenerfassung bis zum Modelltraining

Die von uns erstellten Infrastrukturen sind darauf ausgelegt, zu hochwertigen Datensatz-Fabriken zu werden, die für das Training von Machine-Learning- und Deep-Learning-Modellen unerlässlich sind.

Vom Sensor zum Datensatz

Jeder Sensor generiert eine große Menge an Informationen: physiologische Signale, Umgebungsdaten und Geräteverwendungsprotokolle. Bei ordnungsgemäßer Verarbeitung fließen diese Datenströme in strukturierte Archive, die prädiktive und fortschrittliche Analysealgorithmen speisen können.

Maßgeschneiderte Lösungen für jedes Projekt

Unser Unternehmen entwirft die Infrastruktur passend zum jeweiligen Kontext und den jeweiligen Zielen und wendet dabei verschiedene Trainingsstrategien an:

- **Überwacht** – wenn gekennzeichnete Daten für Aufgaben wie Bild- oder Signalklassifizierung und -segmentierung verfügbar sind.
- **Unüberwacht** – um versteckte Muster aufzudecken oder ähnliche Verhaltensweisen zu clustern.
- **Statisch** – mit von Anfang an definierten Datensätzen.
- **Inkrementell** – nützlich, wenn Daten im Laufe der Zeit wachsen und das Modell kontinuierlich aktualisiert werden muss.

Modelle für spezifische Aufgaben

Mithilfe dieser Techniken entwickeln wir Modelle, die verschiedene Aktivitäten abdecken können, darunter:

- **Verarbeitung und Klassifizierung biomedizinischer Signale** (z. B. EKG, EEG).
- **Analyse und Segmentierung** medizinischer Bilder zur Unterstützung einer schnelleren Diagnose.
- **Prognose von Zeitreihen**, beispielsweise zur Vorhersage von Trends bei Vitalparametern oder beim Verbrauch von Krankenhausressourcen.

Somit ist das IoT-Ökosystem mehr als nur ein Überwachungssystem; es wird zum Ausgangspunkt für die Schaffung von Vorhersage- und Entscheidungsintelligenz und bietet maßgeschneiderte Lösungen für Kliniken, Labore und medizinische Geräte.

Integration von KI in IoT-Infrastrukturen

Maschinelles Lernen und Deep-Learning-Algorithmen, die auf Basis von der IoT-Infrastruktur generierter Datensätze trainiert wurden, können:

- **komplexe Muster in Vitalparametern erkennen** und Anomalien aufspüren, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind,
- **die Entwicklung klinischer Parameter prognostizieren**, um Krisen oder Schübe frühzeitig zu erkennen,
- **Bilder und Signale erkennen**, um schnellere und genauere Diagnosen zu ermöglichen.

Dank der Möglichkeit des überwachten oder unüberwachten Trainings sowie statischer oder inkrementeller Updates können diese Modelle an eine Vielzahl von Szenarien angepasst werden – von der automatischen Klassifizierung radiologischer Bilder bis hin zur Vorhersage von Trends in Zeitreihen wie Blutzucker oder Herzfrequenz.

Konkrete Vorteile für Patienten und medizinisches Fachpersonal

Die Kombination aus IoT und KI liefert sofort konkrete Ergebnisse:

- **Personalisierte Versorgung:** Vorhersagemodelle ermöglichen maßgeschneiderte Therapien und dynamische Versorgungspläne auf der Grundlage der Echtzeitdaten des Patienten.
- **Rechtzeitige Interventionen:** Automatische Benachrichtigungen und Warnmeldungen ermöglichen es Ärzten, zu reagieren, bevor ein Problem kritisch wird.
- **Betriebliche Effizienz:** Kontinuierliche Analysen helfen dabei, Ressourcen, Personal und Vorräte optimal einzusetzen, wodurch Kosten reduziert werden.
- **Datengestützte Entscheidungen:** Fachleute können sich auf objektive, aktuelle Indikatoren verlassen, wodurch Unsicherheiten reduziert werden.

Ein Wettbewerbsvorteil für kundenspezifische Projekte

Wir integrieren diese Elemente in schlüsselfertige Lösungen: von maßgeschneiderter IoT-Infrastruktur über die Erstellung und Verwaltung von KI-Modellen bis hin zu Schnittstellen für Ärzte und Patienten. Die Kombination aus Fachwissen in den Bereichen Sensorik, Cloud und Datenwissenschaft ermöglicht es uns, Plattformen zu entwickeln, die nicht nur Informationen sammeln, sondern auch lernen und sich weiterentwickeln – und so das Gesundheitswesen in einen vorausschauenden und proaktiven Prozess verwandeln.

Herausforderungen und ethische Überlegungen: Sichere und konforme Innovation

Die Einführung des Internets der Dinge und der künstlichen Intelligenz im Gesundheitswesen bedeutet mehr als nur die Entwicklung vernetzter Geräte und intelligenter Algorithmen. Es geht in erster Linie darum, mit äußerst sensiblen Daten umzugehen, Technologien zu integrieren, die sich direkt auf die Gesundheit der Menschen auswirken, und sicherzustellen, dass jede Komponente sicher und zuverlässig ist.

Aus diesem Grund ist die Entwicklung von IoT- und KI-Projekten im medizinischen Bereich ein komplexer Prozess, der ständige Aufmerksamkeit in Bezug auf Sicherheit, Datenschutz und die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften erfordert.

Der Schutz von Patientendaten ist von entscheidender Bedeutung. Klinische Informationen müssen unter Einhaltung strenger Verschlüsselungs-, Minimierungs- und Rückverfolgbarkeitsstandards gemäß der **Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)** erfasst und gespeichert werden.

Der Datenschutz ist jedoch nur ein Teil der Herausforderung: Netzwerke aus Sensoren und vernetzten Geräten können zum Ziel von Cyberangriffen werden. Daher muss die gesamte Infrastruktur so konzipiert sein, dass sie solchen Vorfällen standhält und darauf reagieren kann, wobei ein „Security by Design“-Ansatz verfolgt werden muss, der die Anforderungen des **Cyber Resilience Act (CRA)** erfüllt.

Auch künstliche Intelligenz erfordert klare Regeln. Modelle, die klinische Entscheidungen unterstützen, müssen transparent, überprüfbar und frei von Verzerrungen sein – Eigenschaften, die **das Europäische Gesetz über künstliche Intelligenz (AI Act)** insbesondere für risikoreiche Anwendungen wie das Gesundheitswesen gewährleisten soll. Hinzu kommen die Bestimmungen der **Medizinprodukteverordnung (MDR)**, die unerlässlich sind, wenn Software oder ein IoT-System als Medizinprodukt eingestuft wird, und die präzise Validierungs- und Zertifizierungsverfahren vorschreiben.

Unser Unternehmen integriert diese Anforderungen bereits in den frühesten Entwurfsphasen. Wir entwickeln Lösungen, die Cyber-Resilienz, DSGVO-Konformität und die neuesten europäischen Vorschriften miteinander verbinden und sicherstellen, dass jedes KI-Modell dokumentiert, rückverfolgbar und kontinuierlich überwacht wird. Auf diese Weise können sich unsere Kunden auf zertifizierungsfähige und wirklich sichere Plattformen verlassen, ohne hierfür langwierige Überprüfungen oder nachträgliche Anpassungen in Kauf nehmen zu müssen.

Innovation im Gesundheitswesen bedeutet aus unserer Sicht, ein Gleichgewicht zwischen technologischer Kreativität und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften zu finden. Diese Arbeit erfordert multidisziplinäres Fachwissen und ständige Wachsamkeit – eine Herausforderung, der sich

unser Unternehmen stellt, um IoT- und KI-Lösungen zu liefern, die nicht nur auf dem neuesten Stand der Technik sind, sondern auch **zuverlässig, konform und zukunftsfähig**.

Schlussfolgerungen

Die Integration des Internets der medizinischen Dinge und der künstlichen Intelligenz entwickelt sich zu einer der tragenden Säulen der Innovation im Gesundheitswesen. Im Zusammenspiel von Intelligenten Sensoren, skalierbaren Infrastrukturen und Vorhersagemodellen werden klinische Daten in sofort nutzbares Wissen umgewandelt, mit dem Diagnose, Behandlung und Ressourcenmanagement verbessert werden können.

Für Gesundheitseinrichtungen, Pharmaunternehmen und Forschungszentren bedeutet dies, dass sie sich auf sichere Plattformen verlassen können müssen, die den europäischen Vorschriften entsprechen und sich im Laufe der Zeit weiterentwickeln, um den Weg für eine zunehmend präventive, personalisierte und nachhaltige Medizin zu ebnen.

Dieser Weg erfordert multidisziplinäres Fachwissen, ständige Aufmerksamkeit für den Datenschutz und einen „Security by Design“-Ansatz – und er führt zu konkreten Resultaten: effizientere Prozesse, evidenzbasierte Entscheidungen und eine Versorgungserfahrung, die den Patienten konsequent in den Mittelpunkt stellt.

Teoresi MedTech hat sich der Weiterentwicklung von IoMT- und KI-Lösungen verschrieben, die nicht nur den höchsten Qualitäts- und Sicherheitsstandards entsprechen, sondern auch zukünftige Herausforderungen vorwegnehmen und so zu einer intelligenten, vorausschauenden Gesundheitsversorgung beitragen, die für die Anforderungen von morgen gerüstet ist.