

„Beam me up, Scotty!“

Digitale Transformation der Chirurgie

In Kooperation mit:

medela 



Vorwort

Dass sich Menschen Zukunftstechnologien ausdenken können, die Jahrzehnte später Realität werden, ist ein faszinierender Gedanke. In der Science Fiction Serie „Star Trek“ wurden visionäre Grundlagen für innovative Produkte wie das mobile Telefon („Kommunikator“) und die Smartwatch gelegt. Auch erste 3D-Drucker waren bereits in den Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts angedacht. Auf die Teleportation („Beamen“) muss jedoch noch (lange) gewartet werden.

Heute ist jeder Erstbesuch einer Patientin oder eines Patienten bei einer Ärztin oder einem Arzt bereits die Einholung einer Zweitmeinung. Dr. Google wurde bereits zuvor konsultiert. Neue Technologien revolutionieren scheinbar die Medizin und eröffnen Patient:innen, Ärzt:innen, Kliniken und Unternehmen neue Möglichkeiten. Der digitale Gesundheitsmarkt bietet immense Wachstumschancen und wird zunehmend dominiert von neuen sogenannten „Playern“ und „Stakeholdern“. Durch digitale Transformation soll die Automatisierung gesundheitsbetrieblicher Prozesse optimiert und vorangetrieben werden. Die Idee: Je vernetzter und schneller die Prozesse strukturiert sind, desto effizienter und wirtschaftlicher die Wertschöpfung.

Wohin wird sich in diesem dynamischen Umfeld nun die Medizin von Morgen entwickeln? Welche Gestaltungsrolle werden Ärzt:innen übernehmen können und wie wird die Welt der Operationssäle in Zukunft aussehen? Mit einem Blick auf die technologischen Trends „Robotics“, „5G“, „IoT“, „Sensorik“, „Augmented Reality“, „Big Data“ und „Künstliche Intelligenz“ soll diesen Fragen auf den Grund gegangen werden. Dabei stehen neben dem jeweiligen Status quo vor allem die Chancen und die Risiken für Patient:innen und Ärzt:innen im Fokus.



Dr. André T. Nemat

Arzt | Thoraxchirurg

Gründer | Managing Partner

Institute for Digital Transformation in Healthcare GmbH

Willkommen im Operationssaal der Zukunft

Robotics

Roboter unterstützen die chirurgische Tätigkeit und sorgen für schonendere Eingriffe sowie verbesserter Behandlungsqualität für Patient:innen.

[Ab Seite 4](#)

5G

Der schnelle und fast latenzfreie Datenübertragungsstandard 5G sorgt für eine kabellose Verbindung aller Geräte im Saal und ermöglicht den Einsatz von Telechirurgie.

[Ab Seite 8](#)

IoT & Sensorik

Der sensitive Operationsraum unterstützt das gesamte Ärzt:innenteam bei seinen Aufgaben. Die von Sensoren ermittelten Daten werden im Internet of Things (IoT) zusammengeführt.

[Ab Seite 12](#)

Augmented Reality

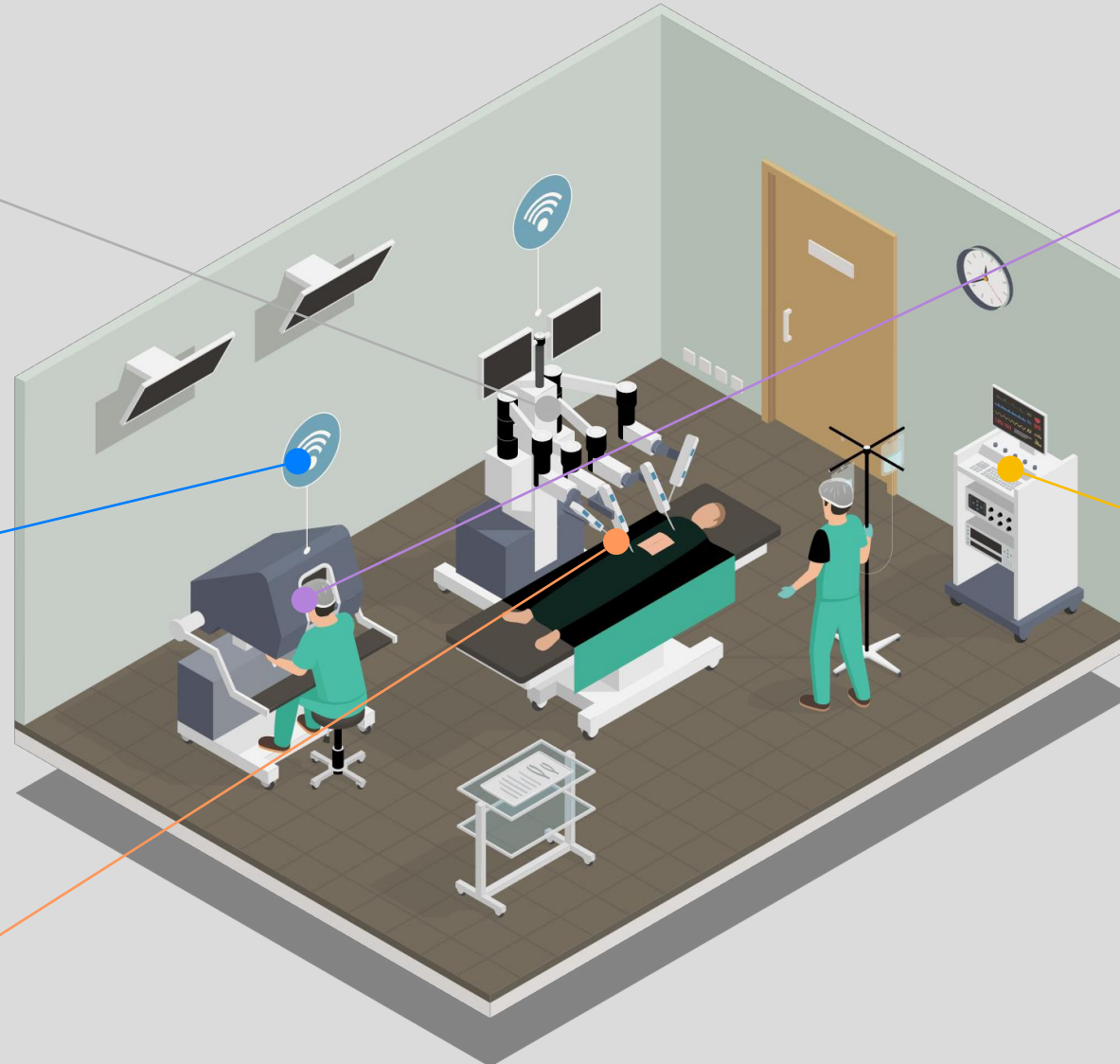
Mit „erweiterter Realität“ werden Operateur:innen relevante Patienteninformationen situativ in das Sichtfeld projiziert.

[Ab Seite 16](#)

Big Data & KI

Big Data und Künstliche Intelligenz unterstützt Chirurg:innen bei ihrer Entscheidungsfindung durch eine algorithmische Aufarbeitung einer Unmenge an Daten.

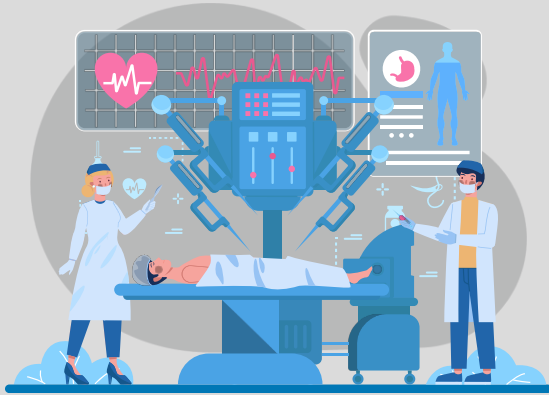
[Ab Seite 20](#)



Patient:innen präziser, effizienter und risikoärmer operieren – das ist das Leitbild der digitalen Transformation der Chirurgie. Der hier abgebildete Operationssaal der Zukunft ist ein Zusammenspiel von sich aktuell schon in der Entwicklung befindlichen Technologien und wird Operateur:innen nicht nur bei ihrer täglichen Arbeit unterstützen, sondern chirurgische Fähigkeiten Schritt für Schritt optimieren oder in Teilen ersetzen.

Robotics

Roboter reichen Chirurg:innen den Arm



Hintergrund

Der Begriff **Robotics** ist im Jahr 2021 genau 100 Jahre alt.¹ Doch was steckt dahinter? Die Robotik bezeichnet einen Teilbereich der Ingenieur- und Naturwissenschaften, der u.a. Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik mit einschließt. Dabei befasst sich die Robotik mit dem Entwurf, der Konstruktion, dem Betrieb und der Nutzung von **Robotern sowie Computersystemen für deren Steuerung**, sensorische Rückkopplung und Informationsverarbeitung.

Roboter sind Einheiten, die Interaktionen mit der physischen Welt auf Basis von Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitungen umsetzen.² Roboter können in der Medizin grundsätzlich in zwei verschiedenen Modi betrieben werden:



Automatik-Modus: Roboter führen selbstständig Aktionen aus. Diese Aktionen beruhen auf einer vorherigen Planung und werden von Operateur:innen überwacht.



Telemanipulation-Modus: Operateur:innen steuern die Arme eines Robotersystems mithilfe von Joysticks. Dabei verfolgen sie die Bewegungen über ein Kamerabild.³

Status quo in der Chirurgie

Roboter werden bereits heute im Operationssaal als präzise Helfer bei minimalinvasiven Eingriffen eingesetzt. Dabei ersetzen sie Chirurg:innen nicht, sondern haben eine unterstützende Funktion. Bei minimalinvasiven Eingriffen werden die chirurgischen Instrumente nur durch einen fingernagelgroßen Schnitt in den Körper eingeführt. Per 3D-Kamera können die Ärzt:innen in die Operationszone schauen. Eingriffe über einen OP-Roboter sind vor allem durch die Reduzierung des Operationstraumas schonender für Patient:innen. Außerdem werden die Risiken von menschlich-handwerklichen Fehler minimiert.

Es gibt unterschiedliche Anwendungsfälle von Robotern in der Chirurgie. Drei davon werden im Folgenden vorgestellt:

Supermikrochirurgie



In der Supermikrochirurgie haben Ärzt:innen den an der TU Eindhoven entwickelten Assistenzroboter „Musa“ erstmals an Menschen erprobt. Im Rahmen einer Pilotstudie stellte ein behandelnder Mediziner lymphatisch-venöse Verbindungsgänge (Anastomosen) bei insgesamt 20 Patienten her. Gerade bei Gefäßen, die kleiner als 0,5 Millimeter im Durchmesser sind, spielt der Einfluss des menschlichen Tremors eine wichtige Rolle. Außerdem können mit „Musa“ auch potenziell in tiefer gelegenen Körperstellen Anastomosen sicherer angelegt werden, an die man manuell nur schwer herankommt.⁵

Laserchirurgie

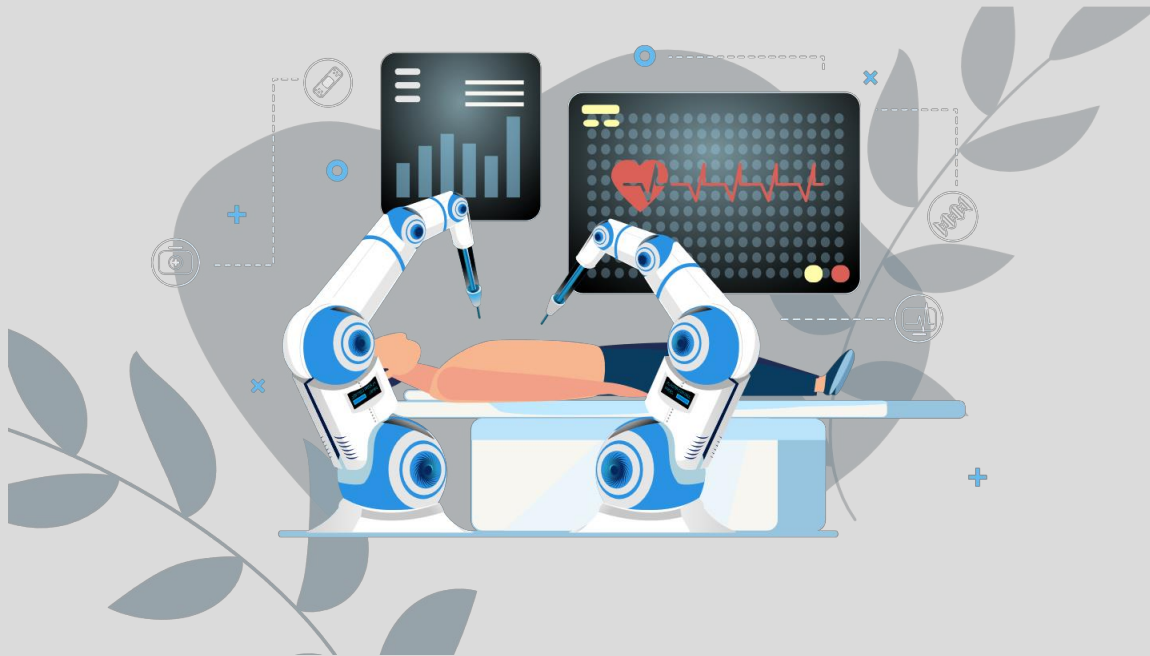


Roboter mit speziellen Laservorrichtungen werden u.a. dafür genutzt, Knochen einzuschneiden oder zu durchtrennen. Mit der Anwendung von Lasern ist es möglich, patient:innen-spezifische Schnittführungen genau zu kalibrieren. Außerdem werden gegenüber der herkömmlichen Methode keine Bohrer oder Sägeblätter benötigt, die abbrechen oder verbiegen können und damit ein Risiko für die Patient:innen darstellen.⁶

3D-RoboticScope



Nicht nur die Roboter an sich werden weiterentwickelt, sondern auch die Art, sie zu steuern. Das 3D-RoboticScope ist ein digitales Mikroskop für die Chirurgie, welches über eine Brille gesteuert wird. Möchten Chirurg:innen ihr Blickfeld ändern, bewegen sie schlicht den Kopf in die Richtung, in die sie schauen möchten - der Roboter steuert dann automatisch zu der gewünschten Position. Für Chirurg:innen hat dies vor allem ergonomische Vorteile: Sie müssen nicht, wie bisher, in einer starren Haltung über ihre Patient:innen gebeugt verharren.⁷



Use Case: Ein modulares Robotersystem

Seitdem die minimal-invasive Operationstechnik vor über vierzig Jahren Einzug in die Medizin gehalten hat, hat sie einen tiefgreifenden Einfluss auf die klinische Versorgung: Sie reduziert Schmerzen, verkürzt die Genesungszeit und senkt das Infektionsrisiko. Allerdings wird sie noch nicht in dem Maße eingesetzt, wie sie eingesetzt werden könnte.

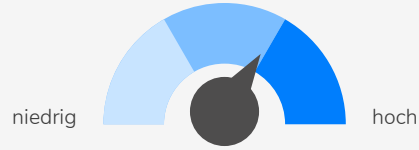
Das aus Cambridge stammende Medizintechnik-Start-up CMR Surgical möchte dies ändern und brachte im vergangenen Jahr ihr Versius Surgical Robotic System auf den Markt. Versius ist ein modulares System aus Roboterarmen und einer Steuerkonsole, das in jeden Operationssaal gerollt werden kann. Bei einer typischen Installation werden drei oder mehr Roboterarme eingesetzt. Die Standardausrüstung besteht aus einem Arm mit einer bildgebenden Sonde sowie Armen mit Skalpell, Greifern und Nahtinstrumenten. Der Aufbau des Systems dauert ca. 15 Minuten. Gesteuert wird der Roboter über eine Steuerkonsole mit implementierten Joysticks und einem 3D-Bildschirm.



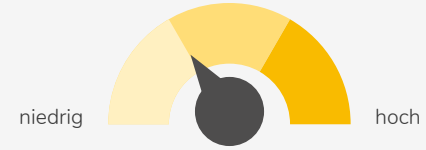
Gegenüber bisherigen Modellen, hat die Handhabung über die Joysticks des Versius Roboter einige Vorteile. Bisher musste die Augen-Hand-Koordination für die Bedienung von Robotern besonders trainiert werden, da die Instrumentenbedienung meist kontraintuitiv angesetzt ist. Um bspw. die Spitze eines Instruments nach links zu steuern, mussten Chirurg:innen ihre Hand nach rechts bewegen. Mit Vorteilen in der Bedienung, der Mobilität des Geräts und auch in der Preisgestaltung soll die Roboterchirurgie mit Versius der breiten Masse zugänglich gemacht werden.⁸ Der Roboter von CMR Surgical wurde bereits für eine Reihe von kolorektalen Eingriffen eingesetzt und half bei der Behandlung von Patient:innen mit schweren Darmerkrankungen oder Darmkrebs.⁹

Reifegrad Technologie

Reifegrad Implementierung



Die Entwicklung medizinischer Roboter ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Zukünftig ist davon auszugehen, dass in regelmäßigen Abständen neue Modelle und Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt bzw. erforscht werden.



Roboter werden schon im chirurgischen Alltag eingesetzt, allerdings sind die aktuellen Modelle teuer und nicht für jedes Krankenhaus finanzierbar. Die sich weiter fortschreitende Entwicklung der Technologie lässt aber auf weitere Marktadaption schließen.

Chancen für die Chirurgie

Roboter können einen positiven Einfluss auf die Arbeit der Chirurg:innen und auf das Behandlungsergebnis der Patient:innen haben. Damit aber das Potenzial von Robotern in der Chirurgie zukünftig vollständig ausgeschöpft werden kann, müssen diese bspw. durch intraoperative Visualisierungs- oder Navigationsmodule erweitert werden. Zudem müssen preisgünstigere Modelle auf den Markt gebracht werden.

Kooperative, interdisziplinäre Chirurgie



Durch die Einbeziehung von mehreren Chirurg:innen und unterschiedlichen Expert:innen in den Operationsprozess wird eine Interaktion und Kooperation bis zu der Übernahme bestimmter chirurgischer Zwischenschritte möglich. Die „Telechirurgie“ kann damit einen gewissen Expertenstandard in (fast) jedem Winkel dieser Welt ermöglichen.

Vollständig integrierte Operationsinstrumente



Durch weitere Miniaturisierung lassen sich Mikroskopie (real time Histologie), Sonographie und weitere Prozeduren in den Operationsablauf bis auf Organebene integrieren.

Mensch-Maschine-Interaktion



Operationsroboter der Zukunft werden viel diverser gestaltet werden können, um Teilaufgaben zu verrichten oder einen Mehrwert durch die spezifische Kooperation mit den Operateur:innen zu ermöglichen.

Risiken

Technologisch: Plötzlicher Ausfall



Beim Einsatz von Robotern besteht immer die Möglichkeit, dass diese aufgrund mangelnder Stromversorgung oder anderer technischer Schwierigkeiten ausfallen. In solchen Situationen muss klar sein, wie die Operation ohne Roboter weitergeführt werden kann.

Ökonomisch: Überinvestition



Einseitiges Investieren in Roboter sollte nicht dazu führen, dass am medizinischen Personal gespart wird. Dies würde die positiven Behandlungseffekte, die durch den Robotereinsatz geschaffen werden, langfristig wieder aufheben.

Ethisch: Doktor Roboter



Der Robotereinsatz hat einen Einfluss auf das Ärzt:innen/Patient:innen Verhältnis. Der Einsatz von Robotern könnte von Patient:innen über- oder unterschätzt werden. Eine evidenzbasierte Aufklärung ist wichtig für eine vertrauensvolle Kommunikation.



Jeder Operationsschritt, jede Handbewegung, jedes (Ver-)Zögern erzeugt Daten, über die die Hersteller von Operationsrobotern verfügen. Operateur:innen werden in Ausübung ihres Handwerkes vollkommen transparent. Werden sich Krankenhäuser, Versicherungen aber auch Patienten möglicherweise zukünftig an diesen Informationen orientieren?



The image features a background with diagonal stripes. A solid blue triangle is in the top-left corner. A grey gradient band runs diagonally from the bottom-left towards the top-right. The text '5G' is positioned in the lower-left area, overlapping the grey band.

5G


Der OP der Zukunft ist grenzenlos




Hintergrund

5G ist der Nachfolger von 4G (LTE) und damit der neue Standard für die mobile Datenübertragung. Telekommunikationsanbieter sind die treibenden Kräfte in der Technologieentwicklung und -implementierung. Gegenüber bisherigen Übertragungsstandards bietet 5G drei große Vorteile, die auch im Gesundheitswesen und vor allem in der Chirurgie entscheidende Vorteile bringen¹¹:

 Sehr hohe Datenraten zur Übertragung großer Datenmengen in kurzer Zeit

 Die Möglichkeit der Vernetzung von tausenden IoT Geräten und Komponenten auf engstem Raum

 Minimale Latenzzeiten von wenigen Millisekunden für die Übertragung von Informationen in Echtzeit

Es ist zudem möglich, private "Campusnetze" mit 5G aufzubauen. Das bedeutet, dass sich der Zugang zum Netzwerk nur auf ein bestimmtes Areal (etwa ein Krankenhaus) beschränkt und daher die verfügbare Geschwindigkeit und die Sicherheit optimiert werden.¹² Damit dient 5G vor allem als Wegbereiter anderer technologischer Trends wie bspw. IoT, Augmented Reality und Robotics.

Status quo in der Chirurgie

Der Aufbau der öffentlichen 5G Netze hat in Deutschland gerade erst begonnen. Bis 2025 ist das Ziel, eine Abdeckung von 99% zu erzielen.¹³ Auch die Anzahl der lokalen Campusnetzwerke in Deutschland hat die 100 noch nicht überschritten.¹⁴ In anderen Ländern sieht das nicht anders aus. Daher beschränkt sich der Status Quo von 5G in der Chirurgie momentan auf viele von einander losgelöste Pilotprojekte, in denen die Möglichkeiten des Übertragungsstandards im Krankenhausumfeld erforscht und erprobt werden. Diese werden in der Regel über Campusnetze realisiert. Dabei kristallisieren sich hier zwei größere Bereiche heraus:

Telechirurgie

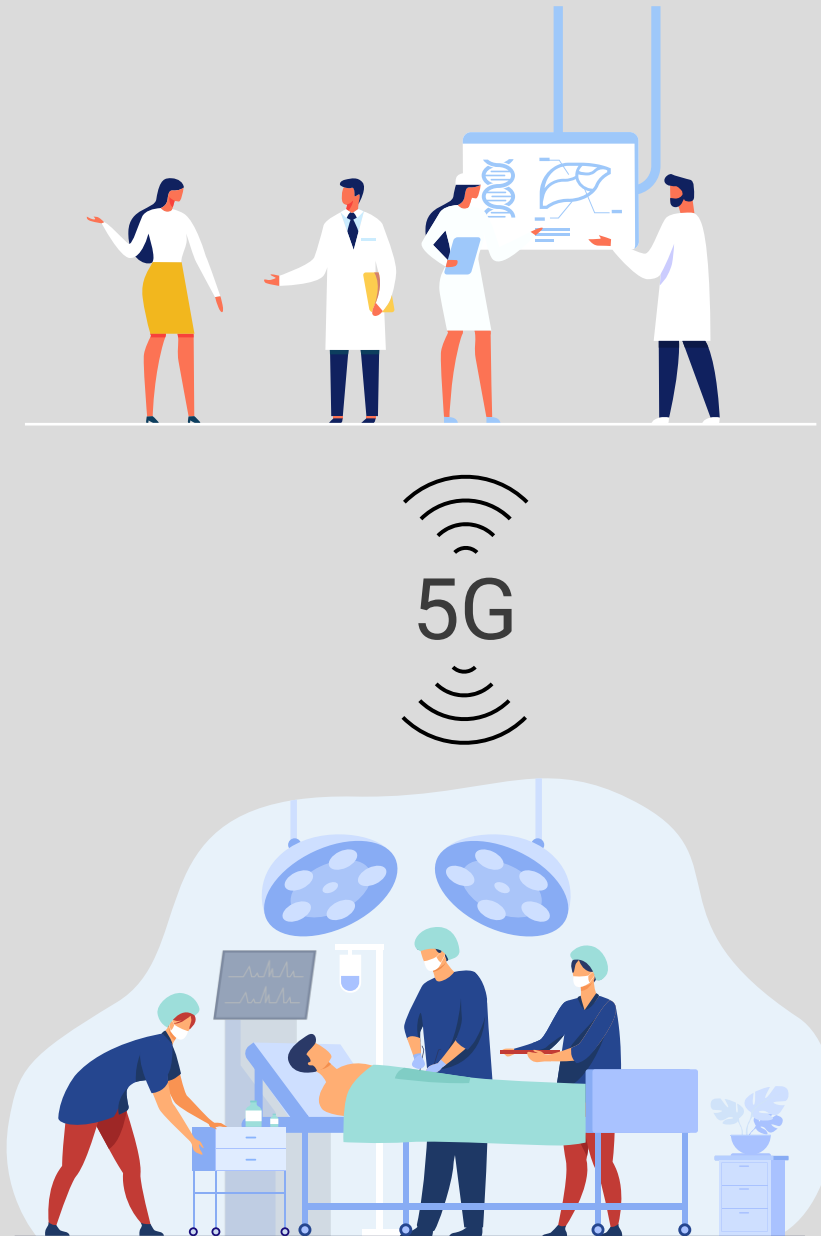


Zu den größten der bereits heute angedachten und erforschten Anwendungsfeldern von 5G in der Chirurgie zählt die Telechirurgie, d. h. die Überwachung und Begleitung oder gar die Durchführung von Operationen über eine große räumliche Distanz. Aufgrund der durch 5G möglichen Reduzierung der Latenzzeiten auf 0,01 Sekunden und der durch hohe Datenraten verbesserten Bildqualität und -scharfe von Live-Videostreams ist es so bspw. möglich, weit entfernte Expert:innen zu einer schwierigen Operation hinzuzuziehen. Bereits 2018 startete in Spanien das Projekt „Remote Surgeon“, welches diesen Ansatz 2019 erfolgreich demonstrierte (siehe nächste Seite). Darüber hinaus gibt es einige Beispiele für das direkte Operieren über große Distanz; vor allem aus China. 5G ermöglicht dabei z. B. die Arme von Operationsrobotern verzögerungsfrei zu steuern, selbst wenn zwischen Patient:innen und Ärzt:innen mehrere hundert Kilometer Distanz liegen. Ein Operationsteam sowie eine Chirurgin oder ein Chirurg sind dabei bisher aber weiterhin vor Ort.¹⁵

Enabler für Augmented Reality und andere Technologien



Ein zweites Feld betrifft die Kombination von 5G mit anderen Technologien, etwa Augmented Reality. Das 2020 in Deutschland gestartete Forschungsprojekt „Giga for Health“ unter der Konsortialführung des Universitätsklinikums Düsseldorf will etwa den europaweit ersten 5G-Medizincampus aufbauen. Neben der Idee, Monitoring-Patches in der Notfallmedizin zu testen, welche Vitaldaten der Patient:innen lücken- und kabellos an die Zentrale übertragen, wird auch im Bereich der computerassistierten Tumorchirurgie geforscht. Hier sollen mittels „Augmented Reality“ bspw. die komplexen dreidimensionalen Strukturen von Organen über spezielle Brillen virtuell im Raum eingeblendet werden.¹⁶



Use Case: „Remote Surgeon“

Mobile World Capital Barcelona, Hospital Clínic de Barcelona und Advances in Surgery (AIS) Channel haben ein Pilotprojekt implementiert, das die 5G-Technologie nutzt, um Fernunterstützung für chirurgische Eingriffe in Echtzeit zu ermöglichen. Anfang 2019 wurde weltweit die erste Operation mit Unterstützung eines „Remote Surgeon“ (Fernchirurg:in) durchgeführt.

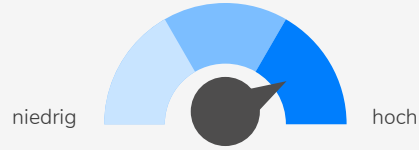
Die Operation des Patienten fand im Hospital Clínic von Barcelona statt. Die Geschehnisse im Operationssaal wurden über die 5G-Technologie live in ein Auditorium der GSMA MWC19, der größten Mobilfunk Messe Europas, übertragen. Der im Auditorium anwesende Leiter des gastrointestinalen chirurgischen Dienstes, Dr. Antonio de Lacy, leitete und kommentierte die Operation per Videostream in Echtzeit. Durchgeführt wurde die Operation in dem Operationssaal Optimus – einem Zukunftsprojekt des Hospital Clínic de Barcelona.¹⁷ Optimus ist ein integrierter robotergestützter und digitaler Operationssaal, der u. a. Technologien wie Big Data oder intelligente schattenlose Beleuchtung beinhaltet. Die in ihm integrierten Sensoren registrieren die gesamte Operation audiovisuell und senden alle wichtigen Daten an den leitenden Chirurgen oder die leitende Chirurgin.¹⁸



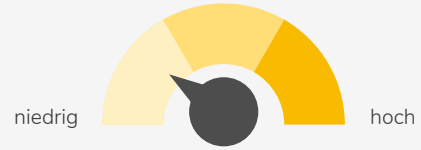
Eingebettet war die Operation in das Pilotprojekt „Remote Surgeon“. Ziel des Projektes war es, genau diese Art von medizinischer Versorgung möglich zu machen. In Zukunft wird es überall dort, wo eine sichere 5G-Verbindung angeboten werden kann, möglich sein, dass erfahrene Chirurg:innen ihre Kolleg:innen bei Operationen unterstützen können, ohne dabei physisch anwesend zu sein. Damit wird ein so noch nie da gewesener Wissenstransfer realisiert.¹⁹ Von der Fernschulung bis zur allgemeinen Überwachung der Operation stehen den leitenden Chirurg:innen alle Möglichkeiten offen. Gerade Entwicklungsländer könnten von dem „Remote Surgeon“ profitieren. Sobald es für diese Länder möglich ist, gezielt Krankenhäuser mit 5G auszustatten, könnte die medizinische Versorgung mithilfe von internationalen Expert:innen weltweit entscheidend verbessert werden.²⁰

Reifegrad Technologie

Reifegrad Implementierung



5G-Netze werden zurzeit weltweit aufgebaut, auch wenn es zu einer flächendeckenden Nutzung noch Jahre dauern wird. Die Technologie an sich ist bereit für den Einsatz.



Bisher beschränkt sich der Einsatz von 5G in der Chirurgie auf die Erprobung unterschiedlicher Szenarien im Rahmen von lokalen Pilotprojekten. Bis zur Implementierung in die Regelversorgung ist es noch ein weiter Weg.

Chancen für die Chirurgie

5G wird in Zukunft einen großen Beitrag zur Digitalisierung und damit auch zur Weiterentwicklung der Chirurgie leisten. Mit zunehmender Verbreitung und Verfügbarkeit können 5G-unterstützte Operationen in den Versorgungsalltag einziehen. Die folgenden drei Bereiche kristallisieren sich zurzeit als diejenigen mit dem größten Potenzial heraus:

Telechirurgie und Telemedizin



Wie die aktuellen Pilotprojekte bereits verdeutlicht haben, liegt eine der Möglichkeiten in der Durchführung von Operationen über große Entfernungen. Damit könnten auch schwierige Operationen in unterversorgten Gebieten von Expert:innen durchgeführt werden, was die Versorgungslage insgesamt ortsunabhängiger machen würde.

Kabelloser Operationssaal



Die latenzfreie und hohe Datenübertragung des 5G Standards kann in Zukunft dazu genutzt werden, sämtliche Geräte in einem Operationssaal zu einem Netzwerk zusammen zu schalten. Damit könnten die Ergonomie und die Effizienz der Prozesse verbessert werden, zumal Maschinen mit Maschinen (IoT) auch unabhängig von menschlichen Akteuren kommunizieren und interagieren können.²¹

Enabler für IoT, Virtual und Augmented Reality, Robotics etc.



Die Vorteile einer schnellen und latenzfreien Vernetzung über 5G sind auch für die Weiterentwicklung anderer Technologien außerhalb des OPs unerlässlich. Mit lokalen Campusnetzen können einzelne Krankenhäuser sich hier vernetzen und Informationen in Echtzeit und über weite Distanz miteinander austauschen.

Risiken

Technologisch: Verbreitung



Damit die Vorteile von 5G vollständig genutzt werden können, muss dieses flächendeckend verfügbar sein. Dies gestaltete sich bisher schwierig, so sind einige Anbieter noch damit beschäftigt, 4G-Funklöcher zu schließen.

Ökonomisch: Leuchtturmprojekte



Zurzeit steht 5G flächendeckend nicht zur Verfügung. Pioniere, die eigene Netze aufbauen möchten, müssen Kosten und Nutzen genau einschätzen. Nach der Etablierung eines 5G-Standards müssen auch Geräte vorhanden sein, die diesen sinnvoll nutzen.

Ethisch: Berührungspunkt Mensch



Wenn sich die Telechirurgie über mehrere Kilometer wirklich einmal durchsetzen sollte, stellt sich die Frage, wie Zuwendung und persönliche Fürsorge gewährleistet werden. Neben der Beziehung zu Gesundheitspfleger:innen ist eine persönliche Beziehung zu dem bzw. der ausführenden Chirurg:in wichtig.

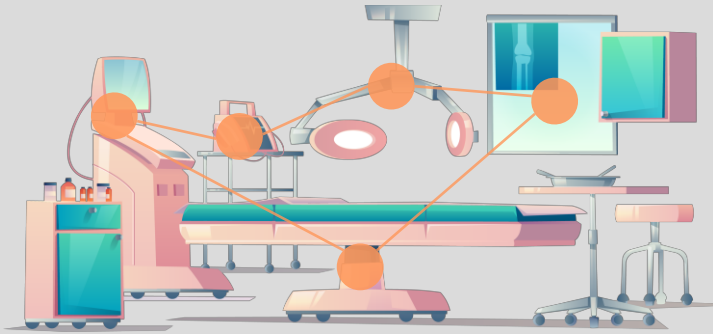


Mit der flächendeckenden Verbreitung von 5G werden sich völlig neue Möglichkeiten für die Chirurgie ergeben. Zum einen wird die Chirurgie dank des Übertragungsstandard ein Stückweit ortsunabhängiger, da hochspezialisierte Operateure von überall auf der Welt in Echtzeit Operationen begleiten können. Zum anderen sorgt 5G als Vernetzungstechnologie dafür, dass viele andere Technologietrends wie IoT, Robotics oder Augmented Reality im Operationssaal ihr volles Potenzial ausschöpfen können.



IoT & Sensorik

Medizinische Geräte lernen Sprechen




Hintergrund

Das **Internet of Things (IoT)** ist ein Sammelbegriff für Technologien einer globalen Infrastruktur der Informationsgesellschaften, die es ermöglicht, physische und virtuelle Gegenstände miteinander zu vernetzen und sie durch Informations- und Kommunikationstechniken zusammenarbeiten zu lassen.²² Im IoT werden Geräte mit einer Identität im Netzwerk und einer elektronischen Intelligenz ausgestattet. Dadurch sind sie in der Lage, über das Internet zu kommunizieren und Aufgaben voll automatisiert auszuführen. Zusätzlich ist es möglich, dass Benutzer:innen von einem beliebigen Ort die Geräte bedienen und steuern können.²³

Der größte Datenlieferant für das IoT ist die **Sensorik**.²⁴ Sensoren sind technische Bauteile, die an einer geeigneten Messstelle einen Messwert im Ist-Zustand erfassen. Zusätzlich können sie Maßnahmen auslösen, wenn ein Wert von einem Soll-Wert abweicht. Sensoren können verschiedene Arten von physikalischen Zuständen erfassen, u. a.:²⁵

 Klima: Feuchtigkeit, Druck, Temperatur

 Licht: Bildschärfe, Opazität


 Lage: Neigung, Position

Mit der Kombination aus IoT und Sensorik lassen sich Geräte so vernetzen, dass diese Daten über sich und ihre Umwelt miteinander austauschen und aufeinander reagieren können.

Status quo in der Chirurgie

Im medizinischen Kontext wird der Begriff IoT entsprechend angepasst. Zentrale Eigenschaften des Internet of Medical Things (IoMT) sind die selbstständige Kommunikation der medizinischen Geräte miteinander oder mit dem medizinischen Personal. Zudem geht es um den Anschluss lokaler Systeme an die breitere Gesundheitsinfrastruktur.²⁶ Anwendungsfelder für den Einsatz der beiden Technologien sind u. a.:

Der sensitive Operationsraum

 Chirurg:innen und das gesamte Team werden schon heute von einer Vielzahl von Sensoren im Operationssaal unterstützt. Durch das IoMT werden medizinische Geräte in Zukunft gesammelte Daten untereinander austauschen und dem Operationsteam zu Verfügung stellen können. Die Sensoren können in verschiedenste Geräte eingebaut werden:



Chirurgische Instrumente werden mit Sensoren ausgerüstet, die Lage- und Temperaturinformationen sowie das Drehmoment und die eingesetzte Kraft erfassen. Mithilfe von Lichtsignalen können Chirurg:innen erkennen, ob sie mit der gewünschten Kraft arbeiten oder das Risiko besteht, Gewebe oder Knochen zu schädigen.²⁷



OP-Tische reagieren mithilfe von Sensoren sensibel auf einwirkende Kräfte. Veränderungen werden über die Sensoren erfasst, in Echtzeit ausgelesen und verarbeitet. Ziel der Messung ist es, Überlastungssituationen und Verletzungen der Patient:innen zu verhindern.²⁸



Chirurgische Roboter sollen in Zukunft mithilfe von Sensoren tasten, hören, interpretieren und selbstständig Handeln können. In den Robotern werden dafür u. a. Ultraschall- und Hyperspektralkameras sowie Kraftsensoren und Beschleunigungssensoren eingebaut.^{29 30}

Intelligente Medizinische Geräte



Die Verbindung von medizinischen Geräten durch das IoMT ermöglicht, dass Schäden an teuren Geräten rechtzeitig erkannt und Fehlfunktionen oder eine falsche Bedienung vermieden werden können. Techniker:innen können dies zentral von ihrem Standort erledigen und müssen nicht mehr in jedes einzelne Krankenhaus fahren.³¹ Die Anwendung des IoMT kann es zudem ermöglichen, Geräte oder Patient:innen zu orten bzw. eindeutig zu identifizieren. Patient:innen erhalten dafür z. B. ein intelligentes Armband, um eine etwaige Verwechslung auszuschließen.^{32 33}

Use Case: Die Entwicklung eines herztinneren Mikrocomputers mithilfe des IoMT

Etablierte IoMT-Strukturen können die Entwicklungszeit von neuen innovativen Konzepten stark reduzieren. Der erste herztinnerne Mikrocomputer der Welt, „V-LAP“ des Unternehmens Vectorious Medical Technologies, wurde mit Unterstützung einer IoMT-Plattform entwickelt. Der V-LAP überwacht den Druck im linken Vorhof des Herzens und hilft Ärzt:innen, Patient:innen auf der Grundlage von physiologischen Echtzeitdaten und leistungsstarken KI-Algorithmen eine bessere Behandlung anzubieten.

Vectorious arbeitete in der Entwicklung und darüber hinaus mit einer IoMT-Plattform zusammen. Die Plattform in Verbindung mit einem Cloud-Service ermöglicht eine schnelle, durchgängige Konnektivität für IoMT-Geräte und mobile Apps. Der Anbieter legte bei der Erstellung seiner Plattform insbesondere Wert darauf, dass das gesamte System den HIPAA-, DSGVO- und weiteren regulatorischen Compliance-Anforderungen genügt. Vectorious konnte seine Entwicklungszeit für V-LAP beschleunigen, da es keine eigenen IoT-Konnektivitäts- und Sicherheitslösungen erstellen und integrieren musste.

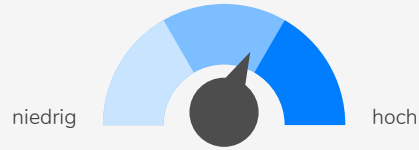


In der Praxis sendet V-LAP die Sensordaten von der linksatrialen Druckmessung an eine Cloud Datenbank. Patient:innenbetreuende können dann über Dashboards auf die Daten in einer zentralen Datenablage zugreifen.³⁴ Herzinsuffizienz resultiert aus einem geschwächten Blutfluss aufgrund eines "Pumpenversagens" des Herzens, was sowohl zu einem Druckaufbau in der Lunge ("Stauung") als auch zu einer unzureichenden Sauerstoffversorgung des Gewebes führt, was in Atembeschwerden sowie Müdigkeit endet. Wenn dieser Zustand schwerwiegend ist, kann er sogar zu einem Lungenödem führen, bei dem sich die Lungen mit Flüssigkeit füllt. Durch die frühzeitige Erkennung des Drucks im Herzen können Ärzt:innen jedoch einfachere und weniger invasive Eingriffe vornehmen, um den Betroffenen zu helfen und eine Verschlechterung zu verhindern. Tägliche Druckmessungen vom Herzen der Patientin oder des Patienten durch das V-LAP und über die IoMT-Plattform zu erhalten, ermöglichen den Ärzt:innen frühzeitig Trends zu erkennen und die Medikamentendosierung entsprechend anzupassen.³⁵

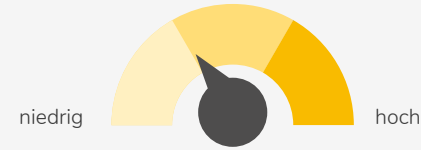


Reifegrad Technologie

Reifegrad Implementierung



Das IoT und die Sensorik wird stetig weiterentwickelt. Die Zukunft der beiden Technologien steht in einer engen Wechselbeziehung. Es stellen sich Fragen wie: Welche Sensoren werden für dieses neue IoT-Konzept benötigt? Oder: Welches IoT-Konzept wird durch diesen neuen Sensor möglich?



Die Implementierungsmöglichkeiten sind bei dem Thema noch nicht ausgeschöpft. Grundsätzlich ergibt es Sinn, bei jedem Gerät zu fragen, ob durch eine Anbindung an das IoT eine Verbesserung der Behandlungsqualität zu erreichen ist.

Risiken

Technologisch: Cybersecurity



Die Vernetzung von medizinischen Geräten kommt nicht ohne Risiken. Umso mehr Geräte vernetzt sind, umso höher ist die Sicherheitsanforderung für das Gesamtsystem. Hackern reicht ein schwach Geschütztes Gerät in der Kette, um das System zu missbrauchen oder ihm Schaden hinzuzufügen.

Ökonomisch: Aufwand



Bei dem Anschließen von Geräten an das Internet der Dinge sollte auf den Nutzen geachtet werden. Jedes Gerät, was begründet nicht angeschlossen wird, verringert den Gesamtaufwand.

Ethisch: Vermessung des Menschen



Sind Sensoren, die z. B. die Vitalwerte von Patient:innen überwachen, ständig an das IoT angeschlossen, wirft dies ethische Fragen auf. Wie werden die persönlichen Informationen vor Übergriffen geschützt? Welchen Einfluss hat eine, zumindest mögliche, ständige Überwachung auf das Verhältnis zwischen Ärzt:innen und Patient:innen?

Chancen für die Chirurgie

IoT und Sensorik erweitern die Wahrnehmung der Chirurg:innen. Beide Technologien werden zukünftig in ihrer gemeinsamen Anwendung zu einem Informationsgewinn führen, der in diesem Ausmaß vor ein paar Jahren noch nicht möglich war. Auf dieser Basis können sich Ärzt:innen einen besseren Eindruck über die Gesamtsituation der Patient:innen machen und diese zielgerichtet behandeln.

Der sensitive Operationsraum



Egal ob im chirurgischen Instrument, OP-Tisch oder Roboter, Sensoren werden Chirurg:innen und ihre Teams bei ihrer Arbeit im OP unterstützen. Zukünftige Entwicklungen – wie die der Quantensensoren – werden die Anwendungsmöglichkeiten zusätzlich erweitern.³⁶

Intelligente medizinische Geräte



Die durch das IoT geschaffene Möglichkeit, die Verwendung bzw. den Zustand von medizinischen Geräten zu überwachen, führt dazu, Fehlfunktionen zu vermeiden und Kosten dauerhaft einzusparen. Das Orten von Geräten sowie die Identifikation von Patient:innen können wichtige Zeit einsparen, die für die Betreuung bzw. die Behandlung der Patient:innen eingesetzt werden kann.



Chirurg:innen nutzen alle ihre Sinne, um schwierige Operationen zu meistern. IoT und Sensorik erweitern diese Sinne immens. Der Einsatz beider Technologien bietet die Möglichkeit, die für die Patient:innen entscheidende Information bereitzustellen. Gleichzeitig ist IoT ein Baustein für die technologische Skalierung des Konzeptes eines digitalen Zwillinges.




Augmented Reality


Der virtuelle Röntgenblick für Chirurg:innen




Hintergrund

Augmented Reality (AR) ist eine Technologie, mit deren Hilfe Informationen virtuell in das Sichtfeld eines Nutzenden eingeblendet werden können. Dies kann über drei Wege realisiert werden:³⁷

 **Video see-through:** Bei Video see-through wird ein Video-Feed der realen Welt auf einem Bildschirm angezeigt, dem digitale Informationen hinzugefügt werden. Diese Art von AR wird häufig auf Smartphones verwendet, bspw. bei dem Spiel „Pokémon Go“.

 **Optical see-through:** Bei solchen Systemen werden die Bilder der realen Welt nicht auf einem Bildschirm dargestellt, sondern auf einen schrägen, halbtransparenten Spiegel projiziert. Dazu muss der Nutzer in der Regel eine entsprechende Brille wie Microsofts „HoloLens“ tragen.

 **Projector-based AR:** Die Informationen werden direkt auf die Umgebung projiziert. Dieses Verfahren befindet sich noch in einer frühen Forschungsphase und es sind noch keine kommerziellen Geräte verfügbar.

Neben der Anwendung von AR zu Unterhaltungszwecken wird die Technologie vor allem in der Industrie verwendet, um etwa die Wartung und Reparatur von Maschinen durch direkt verfügbare Zusatzinformationen zu vereinfachen. Auch in der Medizin spielt das Einblenden von Patient:inneninformationen eine immer größere Rolle.

Status quo in der Chirurgie

In der Chirurgie gibt es eine Reihe an Forschungs- und Pilotprojekten, die AR erfolgreich in der Praxis getestet haben. Zudem sind auch erste kommerzielle Lösungen erhältlich, die aber noch nicht in jedem Land zugelassen sind und meist auf bestimmte Eingriffe fokussiert sind (z. B. Knieersatz)³⁸.

Gemeinsame Hardwarebasis



Auch wenn es immer wieder Eigenentwicklungen gibt, nutzt der Großteil der Projekte in der Chirurgie Microsofts AR-Brille HoloLens (2) als Hardwareplattform. Diese verfügt über eine eigene Recheneinheit und ist daher auch ohne einen externen Computer kabellos funktionsfähig. Darüber hinaus erkennen die eingebauten Sensoren der HoloLens die Gestik und die Sprache sowie – per Eye Tracking – den Blick des Nutzenden. Auf diese Weise können Informationen dort in den Raum projiziert werden, wo sie den meisten Nutzen für Chirurg:innen bringen.³⁹

Der virtuelle Röntgenblick



Gerade bei minimalinvasiven Operationen müssen sich Chirurg:innen momentan auf 2D Bilder verlassen. Eine virtuelle Projektion von 3D-Modellen würde ihnen die Orientierung erleichtern. AR kann hier als „virtueller Röntgenblick“ eingesetzt werden. Im Allgemeinen werden dabei 3D-Darstellungen von Organen und Knochen entweder auf bzw. in den Körper der Patient:innen projiziert⁴⁰ oder schweben als holografische Darstellungen über den Patient:innen.⁴¹ Die Daten für die 3D-Modelle stammen dabei aus vorher durchgeführten MRI-/CT-Scans. Bei einer Operation an der Wirbelsäule können Chirurg:innen so etwa die 3D-Wirbelsäulen-anatomie der Patient:innen durch die Haut sehen.⁴² Dies ermöglicht ihnen, die minimal-invasiven Wirbelsäuleninstrumente sehr genau und effizient zu platzieren und damit die Operationszeit und das Komplikationsrisiko zu reduzieren. Auf ähnliche Weise wird AR auch für andere Anwendungsfälle aus der bildgesteuerten minimal-invasiven Therapie genutzt und durch zahlreiche Hersteller vorangetrieben.

Virtuelles Dashboard



Neben der Möglichkeit, einzelne Organe und Knochen direkt auf oder über den Patient:innen einzublenden, gibt es auch Ansätze, die Live-Bilder und Vitaldaten in eine holografische 3D-Augmented-Reality-Umgebung überführen. So können die Bilder für Chirurg:innen ergonomischer und intuitiver dargestellt werden, als dies bisher über 2D-Bildschirme möglich ist. Ärzt:innen bräuchten dann bspw. nicht aufzusehen, um bestimmte Informationen über die Patient:innen zu erhalten.⁴³



Use Case: Holografisch unterstützte Wirbelsäulenoperation

Augmented Reality soll Chirurg:innen vor allem dabei unterstützen, sich auf die Patient:innen konzentrieren zu können und bspw. nicht den Blick abwenden zu müssen, wenn sie Informationen benötigen. Zudem kann die Wahrnehmungsfähigkeit verbessert werden, was zu einer Steigerung der vorhandenen chirurgischen Fähigkeiten führt.

Wie sich die Versprechen von Augmented Reality in der Praxis bemerkbar machen, zeigt das Forschungsprojekt SURGENT (Surgeon Enhancing Technologies) der Universität Zürich.⁴⁴ Ziel war es, ein chirurgisches Navigations-Framework auf Basis von AR Technologie zur Verbesserung der Durchführung von orthopädischen und neurochirurgischen Operationen zu entwickeln. Mit Hilfe holografischer Echtzeit-Visualisierung von präoperativen Planungsinformationen sowie der Lokalisierung von chirurgischen Werkzeugen sollte Chirurg:innen während der Operation Feedback gegeben werden, das ein tieferes Verständnis der aktuellen Situation ermöglicht. Da der chirurgische Workflow dabei permanent analysiert wird, kann stets der aktuelle Operationsschritt entsprechend dem Fortschritt der Operation angezeigt werden.⁴⁵



Im Rahmen von SURGENT fand Ende 2020 am Universitätsklinik Balgrist in Zürich eine holografisch navigierte Wirbelsäulenoperation statt. Der Patient litt an Schmerzen und Sensibilitätsstörungen, die durch abgenutzte Lendenwirbel und einen stark verengten Wirbelkanal verursacht wurden. Während des Eingriffs trug der Wirbelsäulenspezialist Prof. Dr. med. Mazda Farshad eine AR-Brille (HoloLens 2) und konnte so die 3D-Anatomie des Patienten direkt vor sich sehen. Diese wurde zuvor durch CT-Bildgebungen generiert und dann auf den Patienten projiziert. Jeder Schritt der Operation wurde dabei durch die AR-Navigationssoftware angezeigt. So konnte beispielsweise das exakte Setzen einer Schraube am richtigen Ort und im korrekten Winkel angezeigt und verifiziert werden. Mit der Operation begann eine angeschlossene randomisiert kontrollierte klinische Studie, die den langfristigen Nutzen von SURGENT ermitteln wird.⁴⁶

Reifegrad Technologie

Reifegrad Implementierung



Aktuelle AR-Umsetzungen auf Smartphones zeigen, dass die Technologie für einfache Anwendungszwecke bereits reif ist. AR-Brillen sind jedoch noch zu unhandlich und schränken das Sichtfeld stark ein. Hier benötigt vor allem die Hardware noch ein Update.



Auch wenn es bereits eine Vielzahl von Pilotprojekten in der Chirurgie gibt, ist der Reifegrade der Implementierung noch gering. Damit AR-Headsets den OP erobern können, müssen sie kleiner, leichter und funktionaler werden.

Chancen für die Chirurgie

Trotz der zahlreichen erfolgreichen Pilotprojekte steht fest: Zum Alltag gehört Augmented Reality noch nicht. Mit der Weiterentwicklung sowohl der Software als auch der Hardware besteht jedoch die Chance, die Chirurgie sicherer, präziser und ergonomischer zu gestalten.

Akzeptanzsteigerung durch Weiterentwicklung der Hardware

Aktuelle Brillen wie Microsofts HoloLens sind verhältnismäßig schwer und auf die Dauer unangenehm zu tragen. Zudem ist das Sichtfeld mit einem Bildwinkel von 52° noch stark auf den mittleren Bildausschnitt eingeschränkt.⁴⁷ Zukünftige Geräte mit größerem Sichtfeld und leichter Bauart werden daher für mehr Akzeptanz sorgen können. Für einen großen Schritt nach vorne wird die Kombination von AR und 5G sorgen. Durch die hohen Datenraten und die geringe Latenz von 5G wird es möglich sein, bei den AR-Brillen auf eigene CPUs zu verzichten und die Rechenleistung in die Cloud auszulagern. Die Brille wird so zum „Streaming Client“, der entsprechend dünner und leichter sein wird, als aktuelle Geräte.

Augmented Reality in der Ausbildung von Operateur:innen

In der Ausbildung von Operateur:innen bietet AR in Zukunft die Möglichkeit, Patient:inneninteraktionen oder chirurgische Behandlungen zu simulieren. Das hilft beim Erlernen der richtigen Diagnosestellung, da in einer solchen AR-Trainings-Operation Fehler ohne reale Konsequenzen bleiben. Monitoring und Feedback der angehenden Operateur:innen werden ebenfalls vereinfacht. Auf diese Weise wird die Ausbildung unabhängiger vom Sektionssaal.⁴⁸

Risiken

Technologisch: Tägliche Nutzung



Die Abhängigkeit zu AR-Lösungen sollte in einem Rahmen gehalten werden. Werden andere Geräte mit wichtigen Anzeigefunktionen abgeschafft, kann dies zu Problemen führen, sollte die Brille ausfallen. Zudem müssen Ärzte:innen bei der Nutzung solcher Lösungen aufmerksam bleiben. Zeigt die Brille alles korrekt an, was sie anzeigen soll?

Ökonomisch: Ausbildungskosten



Bildungseinrichtungen werden die Kosten von AR-Systemen selbst übernehmen müssen. Neben der reinen Anschaffung der Geräte wird auch die Schulung des Lehrpersonals Kosten verursachen.

Ethisch: Verhältnismäßigkeit



Die Zusammenführung einer Unmenge an individualisierten Daten aus unterschiedlichen Quellen erfordert einen besonderen Umgang auch aus ethischer Perspektive.



Die Flut an Daten und Informationen wird nicht „ungefiltert“ genutzt werden können. Es wird entscheidend darauf ankommen, dass eine Aufarbeitung der Daten und eine sinnvolle Zusammenstellung der Informationen für den jeweiligen Anlass vorbereitet werden.






Big Data & KI

Big Data und Künstliche Intelligenz ziehen in den Backstagebereich des OPs ein



Hintergrund

Mit dem Begriff **Big Data** bezeichnet man große und komplexe Datensätze.⁴⁹ Wichtige Eigenschaften mithilfe man diese beschreibt, sind u. a.:

-  Data Volume, die quantitative Menge von Daten
-  Data Variety, die Heterogenität von Daten
-  Data Velocity, die Entstehungs- und Veränderungsgeschwindigkeit von Daten

Big Data Datensätze weisen eine starke Ausprägung in diesen Eigenschaften auf. Synonym sind mit Big Data Methoden und Technologien gemeint, die eine Analyse enormer Mengen von Daten ermöglichen.⁵⁰ **Künstliche Intelligenz (KI)** ist keine Technologie, die unter den Begriff Big Data gefasst wird, allerdings ist es eine Technologie, die u.a. auf die durch Big Data generierten Daten angewendet wird. Mit ihr kann die Analyse der enormen Datenmengen zum Teil erst möglich gemacht bzw. verbessert werden. Die Daten werden dabei auf der Basis von Algorithmen strukturiert und analysiert. Umso mehr diese Algorithmen kognitive Fähigkeiten wie Lernen, Planen oder eigene Problemlösungsstrategien umsetzen können, umso eher können diese Systeme als künstliche Intelligenz bezeichnet werden.⁵¹

Während Big Data und KI grundsätzlich unabhängig voneinander eingesetzt werden können, kann erwartet werden, dass in Zukunft beide Technologien immer häufiger simultan aufeinander abgestimmt und angewendet werden.

Status quo in der Chirurgie

In der Chirurgie wird Big Data und KI heute schon zusammen eingesetzt, da chirurgische Entscheidungen maßgeblich von Daten und ihrer Auswertung abhängen. In der Medizin werden zahllose Daten erhoben und gesammelt, so z.B. menschliche Genomdaten, Bilddaten, akustische Daten oder Ultraschalldaten. Die Analyse dieser Daten hat bereits heute positive Auswirkungen auf die Patient:innenversorgung, Forschung und Verwaltung in medizinischen Einrichtungen und unterstützt damit auch Chirurg:innen bei ihrer täglichen Arbeit.⁵² Anwendungsfelder für den Einsatz der beiden Technologien sind u. a.:

Die Bildanalyse

Vor allem in der Analyse von medizinischen Bildaufnahmen hat KI in den vergangenen Jahren ihr Potenzial gezeigt. Dabei wird meist eine KI mit einer hohen Anzahl von Bildern (>10.000) trainiert, um bestimmte Muster wieder zu erkennen. Eine trainierte KI schneidet dann oft bei Einschätzungen von einzelnen Bildaufnahmen besser ab als ihre menschlichen Kolleg:innen. Dies wurde u.a. bei der Erkennung von Lungenkrebs mithilfe der Computertomografie oder bei der Klassifizierung von Hautläsionen in vielen Studien gezeigt.^{53 54 55} Die Bildanalyse ist ein wichtiges diagnostisches Instrument für Chirurg:innen, entscheidet sie doch oft darüber, ob ein Eingriff durchgeführt wird oder nicht.



Navigationsysteme

Die Präzisionschirurgie wird zurzeit mithilfe von KI gestützten Navigationssystemen vorangetrieben. Das OP-Team wird während der Operation durch das Navigationssystem mit wichtigen Informationen versorgt. So wird etwa die voraussichtliche Dauer angezeigt oder es werden zu bestimmten Zeitpunkten der Operation Vorschläge für das weitere Vorgehen gemacht. Big Data und KI agieren dabei im Hintergrund und vergleichen das Geschehen im Operationssaal mit anderen ähnlichen Fällen in Echtzeit.^{56 57}



Tumorboards

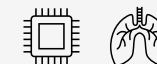
Tumorboards sind Konferenzen, in denen der Gesundheitszustand und die Therapiemöglichkeiten von einzelnen Krebspatient:innen durch ein interdisziplinäres Team an Ärzt:innen diskutiert werden. Der bestmögliche Behandlungsplan kann dann gefunden werden, wenn die Ärzt:innen alle wichtigen Patient:innendaten und Zugriff auf die zum Fall passenden Behandlungsvorschläge haben. Dieser Prozess wird schon heute durch Big Data und KI unterstützt. So gibt es Big Data Dashboards, die die wichtigsten Daten für den Entscheidungsprozess anzeigen oder eine KI, die Ärzt:innen bei der Literaturrecherche für die Vorbereitung auf ein Tumorboard unterstützt.^{58 59}



Use Case: KI-gesteuerte Assistenzsysteme in der Chirurgie

Alle bis hierhin vorgestellten Anwendungsfälle, die auf Big Data und KI basieren, sollen im Kern den Chirurg:innen bei ihrer täglichen Arbeit oder speziell im Operationssaal dabei unterstützen, bessere Entscheidungen zu treffen und damit bessere Behandlungsergebnisse zu erzielen. Es soll da assistiert werden, wo Ärzt:innen an ihre mentalen bzw. physischen Grenzen kommen.

So etwa auch bei der Durchführung von minimal-invasiven Operationstechniken. Diese werden heutzutage vielfach angewendet, weil sie Patient:innen weniger belasten. Der Nachteil dieser Methode ist, dass den Chirurg:innen zur Orientierung während der Operation bisher nur ein zweidimensionales Videobild, das mithilfe der Endoskop-Kamera aufgenommen wird, zur Verfügung stand. Forscher des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen aus Dresden haben daher eine Methode speziell für den Bauchraum entwickelt, die Chirurg:innen eine bessere Übersicht liefert. Bei der Operation eines Organs im Bauchraum soll zukünftig ein virtuelles 3D-Modell zur Verfügung stehen. Dieses wird aus den vorhandenen radiologischen Bilddaten des Patienten bzw. der Patientin individuell errechnet und bildet alle Strukturen ab, die für Operateur:innen relevant sind. Zusätzlich werden diese Bilddaten mit den zweidimensionalen Videobild, welches das Endoskop bei der Operation liefert, in Echtzeit miteinander verknüpft.



Die große Herausforderung liegt darin, dass Patient:innen nicht starr auf dem Operationstisch liegen. Durch die Atmung bewegen sich die Organe und das Gewebe des Bauchraums. Zusätzlich beeinflussen Chirurg:innen immer wieder selber das Umfeld in dem sie operieren, etwa durch das Berühren von Organen mit den chirurgischen Instrumenten. Das angezeigte 3D-Modell muss dadurch ununterbrochen neu berechnet werden. Für diese ständige Neuberechnung entwickelten Forscher:innen eine KI. Diese trainierten sie mit zufällig generierten, organähnlichen Objekten. Das aktuelle 3D-Modell liegt wie ein digitales Netz über dem zu behandelnden Organ, das sich entsprechend der Bewegung im Bauchinneren mitbewegt.⁶⁰

Bis diese Technologie allerdings serienreif ist, können noch 10 Jahre vergehen, so die Forscher:innen aus Dresden. Zuletzt wurde aus dem gleichen Forschungsumfeld ein Assistenzsystem vorgestellt, das Ärzt:innen bei der Nutzung ihrer chirurgischen Instrumente unterstützt. Das System soll bspw. früh vor typischen Komplikationen im Verlauf einer Operation warnen.⁶¹



Reifegrad Technologie

Reifegrad Implementierung



Big Data wird bereits in verschiedenen Kontexten umfassend genutzt. An der Entwicklung von künstlichen Intelligenzen muss noch mehr geforscht werden. Gerade in der gemeinsamen Anwendung steckt noch viel Potenzial für die Chirurgie.




Leuchtturm- und Pilotprojekte machen vor, wie der moderne Operationsaal durch den Einsatz von Big Data und KI gestaltet werden kann. Beide Ansätze müssen verfolgt und auf die breite Fläche gebracht werden.


Chancen für die Chirurgie

Der Einsatz von Big Data und KI in der Chirurgie bietet die Chance, Ärzt:innen zu entlasten und die Patient:innenversorgung zu verbessern. Von der Indikationsstellung über die Begleitung der Operation durch ein Assistenzsystem bis hin zum post-operativen Monitoring scheinen die Möglichkeiten immens.


Bildanalyse

 Die Analyse medizinischer Aufnahmen durch KI auf der Basis von Big Data bietet Chirurg:innen zukünftig die Möglichkeit, eine zweite Meinung, die auf der Basis von tausenden Vergleichsaufnahmen beruht, per Mausklick einzuholen.

Navigationsysteme

 Navigations- bzw. Assistenzsysteme unterstützen Mediziner:innen direkt im Operationsaal. Bis zum chirurgischen Cockpit, das alle potenziell nutzbaren Daten verwendet und das OP-Team umfänglich unterstützt, wird es noch dauern.⁶² Allerdings deuten die bereits heute durchgeführten Projekte genau in diese Richtung.

Tumorboards

 Die Unterstützung von Tumorboards durch die beiden Technologien kann für jeden Patienten bzw. jede Patientin den entscheidenden Unterschied ausmachen, da die zukünftigen Entscheidungen, die in solchen Boards getroffen werden, auf mehr Informationen basieren und schneller getroffen werden können.

Risiken

Technologisch: Datenanalyse



Die Analysen von großen Datenmengen sind nur so gut wie die Algorithmen, auf denen sie basieren. Diese können Daten über- bzw. fehlinterpretieren. Big Data Analysen sollten von anderen Arten evidenzbasierter Medizin unterstützt werden. Dabei geht es auch immer darum, die Qualität der Daten einzuschätzen und sicherzustellen.

Ökonomisch: Big Data Projekte



Der Prozess des Speicherns, Archivierens, Analysierens, Berichtens und Verwaltens von Big Data ist mit Kosten verbunden. In Krankenhäusern ist gerade das Auflösen von Datensilos der einzelnen Abteilungen eine große Herausforderung, die zu Mehrkosten führen kann.

Ethisch: Verantwortung



Auf Röntgenbilder spezialisierte KI kann bereits heute Tumore teilweise schneller und präziser erkennen, als erfahrene Ärzt:innen. Bei zunehmender Weiterentwicklung von KI auch in anderen Bereichen der Medizin werden sich Ärzt:innen zukünftig daher die Frage stellen müssen, ob sie es verantworten können, KI nicht zu nutzen.



Der Einsatz von Big Data und KI in der Chirurgie eröffnet die Möglichkeit und Notwendigkeit eines erneuten Paradigmenwechsels in der Medizin und in den chirurgischen Fachgebieten. Dafür müssen das Fachwissen und die Empathie von Ärzt:innen mit der durch Big Data und KI gewonnenen Information aufeinander abgestimmt werden. Wenn dies erreicht wird, unterstützen sich Mensch und Technik gegenseitig und es werden besser Behandlungsergebnisse erzielt werden.



Der Operationssaal der Zukunft – Nur eine Frage der Zeit?

Robotics

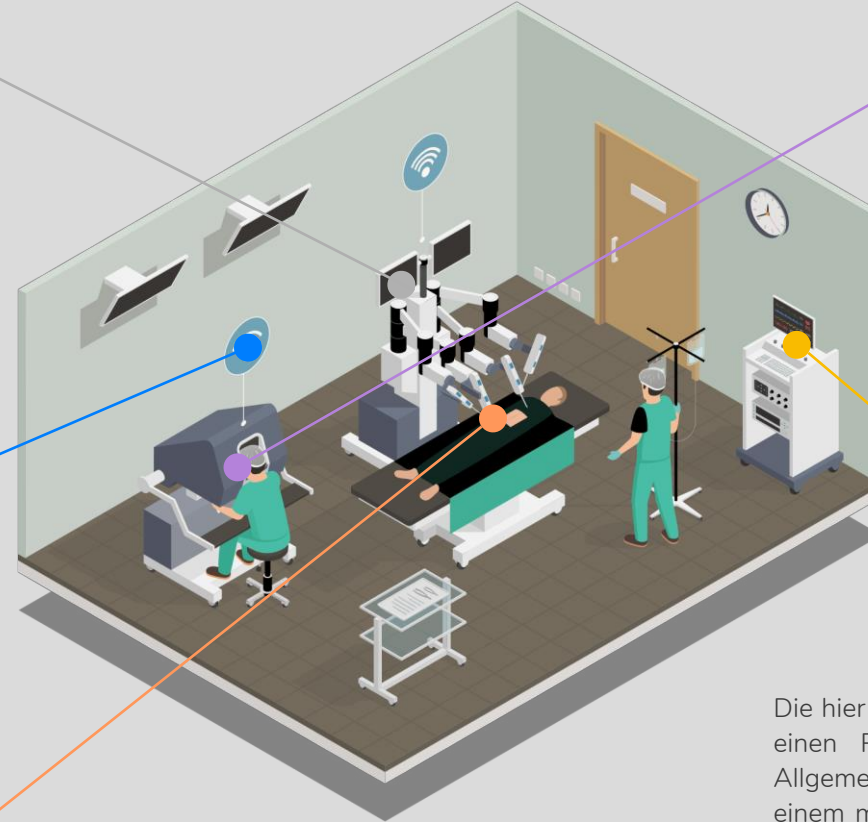
Eine neue Art von kooperativer, interdisziplinärer Chirurgie, weiterentwickelte Mensch-Maschine-Interaktion und vollständig integrierte Operationsinstrumente werden die Zukunft der Roboterchirurgie bestimmen. Die damit einhergehende Abhängigkeit von möglicherweise fehleranfälliger Technik, Überschätzen der Leistungsfähigkeit von Robotern und ein Übermaß an Transparenz der chirurgischen Arbeit sind jedoch Herausforderungen, die es zukünftig zu lösen gilt.

5G

5G wird als Vernetzungstechnologie zum Enabler des technologischen Fortschritts – im Operationssaal und darüber hinaus. Sie wird Telechirurgie und kabellose Operationssäle ermöglichen. Bis es soweit ist, müssen jedoch u. a. noch Fragen nach der verlässlichen und flächendeckenden Verfügbarkeit sowie der Akzeptanz einer ortsunabhängigen Chirurgie durch Patient:innen beantwortet werden.

IoT & Sensorik

Ein sensibler Operationsraum, in dem medizinische Geräte untereinander Informationen austauschen und so die Sinne von Chirurg:innen erweitern, ist das Versprechen der Zukunft. Doch bis jedes einzelne Medizingerät an das IoT angeschlossen und eine Lösung für die steigende Gefahr von Cyberattacken gefunden ist, wird es noch dauern.



Augmented Reality

Kaum spürbare Brillen, mit denen sämtliche relevanten Informationen immer im Blick behalten werden können; dazu eine durch Simulationen verbesserte Ausbildung junger Chirurg:innen – dies lässt sich nur bewerkstelligen, wenn die dafür notwendigen Daten ausreichend auf- und vorbereitet werden. Damit gehen auch digital-ethische Fragen einher, denn die notwendige Zusammenführung von individualisierten Daten aus unterschiedlichen Quellen ist durchaus kritisch zu betrachten.

Big Data & KI

Die automatisierte Analyse medizinischen Bildmaterials, Navigationssysteme für jede Art von Operation und algorithmengestützte Entscheidungsfindung werden Ärzt:innen in Zukunft unter die Arme greifen. Auf dem langen Weg dorthin gibt es jedoch noch einige technologische, ökonomische und ethische Hindernisse zu überwinden, die eine kurzfristige Implementierung behindern.

Die hier vorstellten Technologietrends versprechen in ihrem Zusammenspiel einen Paradigmenwechsel in der Chirurgie und in der Medizin im Allgemeinen. Mit ihm werden Operateur:innen als menschliche Akteure in einem medizinisch-technischen Umfeld agieren, welches ihre chirurgischen Fähigkeiten optimal unterstützt, aber auch neue Anforderungen an sie stellt. Gelingt es jedoch nicht, die technologischen, ökonomischen und ethischen Herausforderungen der einzelnen Trends zu lösen, wird der Operationssaal der Zukunft noch lange auf sich warten lassen.

Das Institute for Digital Transformation in Healthcare (idigiT) ist ein Spin-off der Universität Witten/Herdecke und agiert in Forschungs- und Beratungsprojekten. Dabei konzentriert sich das interdisziplinäre Team aus Wirtschaftswissenschaftlern, Medizinerinnen, Soziologen und Philosophen auf die Fokusfelder „Digital Health“ und „Digital Ethics“.

Als Strategiepartner für Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft arbeitet idigiT so an einer digitalen Transformation, die den Menschen in den Mittelpunkt stellt.

Isabel Gadea
Business Development

Telefon +49 (0) 2302 926 874
Mobil +49 (0) 171 4053106
isabel.gadea@transforming-healthcare.com

Treten Sie mit uns in Kontakt!



medela

Medela Healthcare ist ein global agierender Hersteller medizinischer Vakuumlösungen, auf die Ärzte und medizinisches Fachpersonal weltweit bauen und vertrauen.

Wir möchten das Leben von Patienten verbessern, sowohl durch stetige Innovationen als auch durch das Bestreben, die Herausforderungen im Alltag von Patienten und Medizinerinnen zu verstehen. Das Leben ist kostbar, und es braucht engagierte Menschen für eine fortschrittliche Patientenversorgung.

Elena Fomin
Head of Healthcare Marketing Europe

Telefon +49 (0) 89 319 759-215
Mobil +49 (0) 170 363 08 17
elena.fomin@medela.com

- 1 Mims, C. (2021, Jan. 23.): On the 100th Anniversary of ‚Robot,‘ They’re Finally Taking Over. <https://www.wsj.com/articles/on-the-100th-anniversary-of-robot-theyre-finally-taking-over-11611378002>
- 2 Infineon (n.d.): Grundlagen der Robotik. <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/grundlagen-robotics/>
- 3 Kaeseberg, N. (n.d.): Roboter im OP. <https://www.zukunftstechnologien.info/life-sciences/roboter-im-op/>
- 4 Menn, A. (2021, Jan. 23.): Wenn Roboter den OP-Saal erobern. <https://amp2-wiwo-de.cdn.ampproject.org/c/s/amp2.wiwo.de/erfolg/gruender/medizinetechnik-wenn-roboter-den-op-saal-erobern/26829542.html>
- 5 Krempf, S. (2020, Feb. 12.): Musa: Robotergestützte Supermikrochirurgie erstmals an Menschen getestet. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Musa-Robotergestuetzte-Supermikrochirurgie-erstmals-an-Menschen-getestet-4658498.html>
- 6 PresseBox (2021, Jan. 15.): AOT AG (AOT) erhält die CE-Zertifizierung für die weltweit erste am Menschen zugelassene, berührungsfreie Laser-OP von Knochen durch einen Roboter. <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/aot-ag-advanced-osteotomy-tools/ADVANCED-OSTEOTOMY-TOOLS-AOT-AG-AOT-erhaelt-die-CE-Zertifizierung-fuer-die-weltweit-erste-am-Menschen-zugelassene-beruehrungsfreie-Laser-OP-von-Knochen-durch-einen-Roboter/boxid/1040113>
- 7 Blume, E. (2020, Okt. 08.): 3D-RoboticScope: operieren mit einer Kopfbewegung. https://www.medica.de/de/News/Interviews/%C3%84itere_Interviews/Interviews_2020/3D-RoboticScope_operieren_mit_einer_Kopfbewegung
- 8 Excell, J. (2020, Jan. 06.): How the Versius robot could bring keyhole surgery to the masses. <https://www.theengineer.co.uk/versius-robot-cmsurgical-nhs/>
- 9 Crouch, H. (2020, Feb. 20.): Versius robot used in minimal access surgery for the first time. <https://www.digitalhealth.net/2020/02/versius-robot-minimal-access-surgery/>
- 10 Tectales (2020, Dez. 01.): Microrobots of metal and plastic. <https://tectales.com/bionics-robotics/microrobots-of-metal-plastic.html>
- 11 Infineon (n.d.): 5G – Das Highspeed-Mobilfunknetz der Zukunft. <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/mobile-communication-5g/>
- 12 Deutsche Telekom (n.d.): 5G Technologie in industriellen Campus-Netzen. <https://www.telekom.com/de/konzern/details/5g-technologie-in-campus-netzen-556690>
- 13 Bundesregierung (2017, Jul. 12.): Eine 5G-Strategie für Deutschland. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/eine-5g-strategie-fuer-deutschland-389380>
- 14 Bundesnetzagentur (2020, Nov. 23.): Pressemitteilung - Ein Jahr Antragsverfahren für lokale 5G-Campus-Netze. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilung/n/2020/20201123_5gCampusNetze.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- 15 Demaitre, E. (2019, Sep. 09.): Remote surgery using robots advances with 5G tests in China. <https://www.therobotreport.com/remote-surgery-via-robots-advances-china-5g-tests/>
- 16 Universitätsklinikum Düsseldorf (2020, Jul. 01.): Europaweit erster 5G-Medizincampus: NRW fördert Schlüsselprojekt an der Uniklinik Düsseldorf. <https://www.uniklinik-duesseldorf.de/ueber-uns/pressemitteilungen/detail/europaweit-erster-5g-medizincampus-nrw-foerdert-schlueselprojekt-an-der-uniklinik-duesseldorf>
- 17 Mobile World Capital Barcelona (2019, Feb. 27.): Barcelona hosts the first 5G tele-mentored surgery. <https://mobileworldcapital.com/pressrelease/barcelona-hosts-the-first-5g-tele-mentored-surgery/>
- 18 Optimus (n.d.): OPTIMUS The Integrated Surgical Environment ISE. <https://www.optimus-ise.com/>
- 19 zm online (2019, Mrz. 06.): Erste Telemedizin-Operation in Echtzeit via 5G. <https://www.zm-online.de/news/nachrichten/erste-telemedizin-operation-in-echtzeit-via-5g/>
- 20 de Lacy, A. (2018): 5G opens the future of telesurgery. https://healthmanagement.org/uploads/article_attachment/hm-v18-i4-a-delacy-5g-future-telesurgery.pdf
- 21 Koll, S. (2019, Aug. 15.): Wenn Maschinen über 5G drahtlos kommunizieren. <https://medizin-und-technik.industrie.de/digitalisierung/wenn-maschinen-ueber-5g-drahtlos-kommunizieren/>
- 22 Enterprise Application Software Magazine (n.d.): IoT- Internet of Things. <https://de.eas-mag.digital/trends/iot-internet-of-things/>
- 23 Luber, S. und Nico Litzel (2016, Sep. 01.): Was ist das Internet of Things?. <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-das-internet-of-things-a-590806/>
- 24 Gutensohn, S. (n.d.): Mit Sensorik Geräte effizienter einsetzen und warten. <https://www.lufthansa-industry-solutions.com/de-de/loesungen-produkte/industrie-40-iot/mit-sensorik-geraete-effizienter-einsetzen-und-warten/>
- 25 Lüke, P. (2020, Nov. 18.): Sensorik: Die Technologie, die IoT möglich macht. <https://www.robotic.com/de/blog/posts/sensorik-die-technologie-die-iot-moeglich-macht/>
- 26 Atlas (2020, Mrz. 19.): Wie das Internet der medizinischen Dinge unser Gesundheitssystem transformiert. <https://www.atlas-digitale-gesundheitswirtschaft.de/internet-der-medizinischen-dinge/>
- 27 medizin & technik (2013, Apr. 03.): Instrument meldet sich mit Licht. <https://medizin-und-technik.industrie.de/technik/forschung/instrument-meldet-sich-mit-licht/#slider-intro-2>
- 28 Hellmann, A. und Julia Engelke (2019, Mrz. 26.): OP ruft Sensorik: Tastsinn für die Medizintechnik. <https://www.devicemed.de/op-ruft-sensorik-tastsinn-fuer-die-medizintechnik-a-814366/>
- 29 Universitätsklinik Balgrist (2021, Jan. 21.): Universitätsklinik beteiligt sich an EU-Horizon-Projekt - Chirurgische Robotik, die tastet, hört, fühlt, interpretiert und handelt. https://www.balgrist.ch/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Aktuelles/2021/Universitaetsklinik_Balgrist_an_EU-Horizon-Projekt_beteiligt_d.pdf
- 30 Schiner, S. (2017, Jul. 04.): Chirurgie-Roboter mit Tastsinn in Darmstadt. https://www.echo-online.de/lokales/darmstadt/chirurgie-roboter-mit-tastsinn-in-darmstadt_18013748
- 31 Tracy, P. (2016, Jul. 07.): Case study: PTC helps health care manufacturer cut MTTR in half. <https://www.rcrwireless.com/20161207/internet-of-things/ptc-axeda-cancer-tag31-tag99>
- 32 Brandao, I. (2020, Mrz. 11.): Das Internet der Dinge (IoT) als wertvolle Innovation in der Medizin. <https://www.fellow-consulting.de/das-internet-der-dinge-iot-als-wertvolle-innovation-in-der-medizin/>
- 33 Johner, C. (2017, Apr. 12.): Internet der Dinge (IoT) im Gesundheitswesen. <https://www.johner-institut.de/blog/medizinische-informatik/internet-der-dinge-iot-im-gesundheitswesen/>
- 34 bio-T (n.d.): Vectorious Uses the bio-T platform on AWS to Improve Heart Failure Patients' Lives. <https://www.biot-med.com/knowledge-center/case-studies/vectorious-uses-the-bio-t-platform-on-aws-to-improve-heart-failure-patients-livesa/>
- 35 The Journal of mHealth (2021, Sep. 04.): World's First Wireless, In-heart Micro-computer Implanted in UK Patient for First Time. <https://thejournalofmhealth.com/worlds-first-wireless-in-heart-micro-computer-implanted-in-uk-patient-for-first-time/>
- 36 Giegerich, P. (2019, Mai 23.): MiLiQuant: Quantentechnologie nutzbar machen. <https://idw-online.de/de/news716285>

- ³⁷ Winterer, M. (2016, Nov.): Einsatz von Augmented Reality in der Schweißtechnik. https://www.researchgate.net/publication/312034370_Einsatz_von_Augmented_Reality_in_der_Schweisstechnik
- ³⁸ DGAP (2020, Jul. 13.): Medacta to Introduce NextAR(TM): First FDA-Cleared Augmented Reality-Based Surgical Platform for Total Knee Replacement. <https://www.dgap.de/dgap/News/adhoc/medacta-introduce-nextartm-first-fdacleared-augmented-realitybased-surgical-platform-for-total-knee-replacement?newsID=1367739>
- ³⁹ Microsoft (n.d.): HoloLens 2. <https://www.microsoft.com/de-de/hololens>
- ⁴⁰ Pape, K. (2019, Jan. 04.): Volumetric Surgery und Microsoft HoloLens: Operative Risiken im Fokus. <https://www.aspekts.com/volumetric-surgery-und-microsoft-hololens-operative-risiken-im-fokus/>
- ⁴¹ Sentiar (n.d.): Transforming interventional procedures with Augmented reality. <https://sentiar.com/>
- ⁴² Tectales (2020, Jun. 23.): First AR minimally-invasive spine surgery. <https://tectales.com/ar-vr/first-ar-surgical-guidance-in-minimally-invasive-spine-surgery.html>
- ⁴³ Tectales (2019, Mrz. 02.): AR concept for minimally invasive therapies unveiled. <https://tectales.com/ar-vr/ar-concept-for-minimally-invasive-therapies-unveiled.html>
- ⁴⁴ swissinfo.ch (2020, Dez. 11.): Erste holografisch unterstützte Wirbelsäulen-Operation weltweit. <https://www.swissinfo.ch/ger/alle-news-in-kuerze/erste-holografisch-unterstuetzte-wirbelsaeulen-operation-weltweit/46217864>
- ⁴⁵ Fürnstahl, P. und Mirko Meboldt (2019, Jun. 05.) Holographic Navigation during Surgical Execution. <https://www.hochschulmedizin.uzh.ch/de/projekte/surgent/projekt-details/holographic-navigation.html>
- ⁴⁶ Universitätsklinik Balgrist (2020, Dez. 11.): Augmented Reality im Operationssaal: Erste holografisch navigierte Wirbelsäulen-Operation weltweit. https://www.balgrist.ch/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Aktuelles/2020/Hololens/AR_Operation/Balgrist_Medienmitteilung_holographische_Operation.pdf
- ⁴⁷ Pertzborn, D. (2019, Feb. 25.): Microsoft HoloLens 2: Mehr Sichtfeld, mehr Komfort und Hand-Iris-Erkennung. <https://www.computerbase.de/2019-02/microsoft-hololens-2-rundum-unternehmen/>
- ⁴⁸ Medical Learning (2019, Okt. 20.): AR in der Medizin. <https://www.medicallearning.de/ar-in-der-medizin/>
- ⁴⁹ Oracle (n.d.): Was ist Big Data?. <https://www.oracle.com/de/big-data/what-is-big-data/>
- ⁵⁰ Engels, B. und Henry Goecke (2019): Big Data in Wirtschaft und Wissenschaft: Eine Bestandsaufnahme. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/201760/1/1670732177.pdf>
- ⁵¹ Müller-Quade et al. (2019, Apr.): Künstliche Intelligenz und IT-Sicherheit. https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/20190403_Whitepaper_AG3_final.pdf
- ⁵² Healthcare-in-europe (2016, Feb. 18.): Die Zukunft von Big Data in der Medizin. <https://healthcare-in-europe.com/de/news/die-zukunft-von-big-data-in-der-medizin.html>
- ⁵³ Merkert, P. (2019, Mai 21.): Google-KI erkennt Lungenkrebs in CT-Aufnahmen besser als Ärzte. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Google-erkennt-Lungenkrebs-in-CT-Aufnahmen-4427496.html>
- ⁵⁴ Ärztezeitung (2019, Apr. 11.): „Künstliche Intelligenz“ schlägt Hautärzte bei Krebsdiagnose. <https://www.aerztezeitung.de/Medizin/Kuenstliche-Intelligenz-schlaegt-Hautaerzte-bei-Krebsdiagnose-256254.html>
- ⁵⁵ Jutzi, T. und Titus Brinker (2020): Hautkrebserkennung: Wie künstliche Intelligenz die Differenzialdiagnose schärft. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/214284/Hautkrebserkennung-Wie-kuenstliche-Intelligenz-die-Differenzialdiagnose-schaerft>
- ⁵⁶ ICCAS Leipzig (2012, Aug. 20.): ICCAS Research Video Journal #1 – Surgical Process Navigator. <https://www.youtube.com/watch?v=nbmUoti3voQ>
- ⁵⁷ Medical Device News Magazine (n.d.): First Surgical Procedure Utilizing the ARAI™, an Augmented Reality and Artificial Intelligence Based Surgical Navigation System. <https://infomednews.com/first-surgical-procedure-utilizing-the-arai-an-augmented-reality-and-artificial-intelligence-based-surgical-navigation-system/>
- ⁵⁸ Kent, J. (2020, Okt. 12.): Big Data Dashboard Could Optimize Cancer Clinical Decision Support. <https://healthitanalytics.com/news/big-data-dashboard-could-optimize-cancer-clinical-decision-support>
- ⁵⁹ Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018, Okt. 04.): KI in der Krebstherapie: Sind Computer bald die besseren Ärzte?. <https://www.bmbf.de/de/ki-in-der-krebstherapie-sind-computer-bald-die-besseren-aerzte-7074.html>
- ⁶⁰ Rass, L. (2020, Mrz. 02.): Künstliche Intelligenz in der Medizin: Berechnen, wie sich Organe verschieben. <https://medizin-und-technik.industrie.de/digitalisierung/kuenstliche-intelligenz-in-der-medizin-berechnen-wie-sich-organe-verschieben/>
- ⁶¹ Healthcare-in-europe (2020, Okt. 19.): KI-assistierte Chirurgie: Vorhersagen, was im OP gebraucht wird. <https://healthcare-in-europe.com/de/news/ki-assistierte-chirurgie-vorhersagen-was-im-op-gebraucht-wird.html>
- ⁶² Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018, Feb. 23.): Der intelligente Operationssaal: Ein Navi für Chirurgen. <https://www.bmbf.de/de/der-intelligente-operationssaal-4312.html>





Institute for
Digital Transformation
in Healthcare

In Kooperation mit:

