

MEDIZIN DER ZUKUNFT

Kleiner, schonender, minimalinvasiv war das Credo der Chirurgie in den letzten Jahrzehnten. In Zukunft werden zunehmend robotische Assistenzsysteme die Chirurgen unterstützen. Die Vorteile: Eingriffe werden für den Patienten sicherer. In der Medizin heißen die roboter-unterstützten Systeme „robotically assisted surgical system“ (RASS). Inzwischen gibt es rund 45 Systeme für Diagnose und Chirurgie. Die nächsten 40 Systeme stehen kurz und mittelfristig vor der Markteinführung.

VON KATHRIN REISINGER

Professor Thomas Hoffmann, Ärztlicher Direktor der Klinik für HNO/Kopf-Hals-Chirurgie, entwickelt mit einer Robotik-Forschungsgruppe am Uniklinikum Ulm solche Systeme interdisziplinär und ist sicher: „In vielen Fachbereichen stehen wir erst am Anfang.“ Das wohl bekannteste System ist bislang „Da Vinci“ der Firma Intuitive Surgical. In Deutschland sind derzeit rund 135 Da-Vinci-Systeme installiert. In diesem Jahr laufen wesentliche Patente aus. Am Start stehen Konkurrenten aus Nordamerika, Asien, Europa. Damit könnten auch die Kosten von 750.000 bis 2,3 Millionen Euro pro Gerät sinken.

Die Urologen operieren inzwischen routinemäßig mit Da Vinci, vor allem an der Prostata. „Doch“, so Hoffmann, „wir Kopf-Hals-Chirurgen haben bei Eingriffen noch eine andere Sichtweise. Die Instrumente haben beim Da Vinci einen Durchmesser von fünf bis acht Millimetern und starre Achsen – das stellt uns vor ein Problem.“ Im Rachen gäbe es eine geschwungene, enge Anatomie. Deshalb sind er und seine Kollegen auf einen flexiblen, geschwungenen Roboterarm für die HNO umgestiegen. Das „Flex-System“ von MedRobotics legt sich wie eine „Schlange“ in den Hals, so dass sich bis dahin verborgene Strukturen erreichen lassen. Die Krebschirurgie ist besonders anspruchsvoll. Dort kommt es auf jeden Millimeter an, so Hoffmann. Die Ulmer Robotik-Gruppe hat jüngst mit einer Arbeitsgruppe in Hannover Tubular-Systeme entwickelt, die sich Kurven anpassen können.

Stark in die chirurgische Robotik-Forschung involviert ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Am dortigen Institut für Robotik und Mechatronik wird an einem modularen System mit bis zu vier Roboterarmen, namens „Miro“ geforscht. Medtronic lizenzierte Teile dieser Technologie. Im nächsten Jahr soll das neue robotergestützte System auf den Markt kommen. Der Chirurg kann von einer Konsole aus die OP fernsteuern, schaut aber nicht ausschließlich in die virtuelle Konsole, sondern hat über den Bildschirm hinweg einen Blick in den OP. Julian Klodmann, Leiter der Forschungsgruppe Medizinrobotik am DLR: „Der Arzt ist dann nicht komplett im ‚Patienteninneren‘ versunken, sondern kann den gesamten OP-Prozess verfolgen. Dies ist besser für die Kommunikation im OP.“

Jetzt schon teilen sich ärztliche Kollegen solche Systeme. Wie an der Berliner Charité. In der Urologie, Chirurgie, Thoraxchirurgie, Gynäkologie und HNO werden mit mehreren Da Vinci-Systemen Krebsoperationen durchgeführt, erklärt Professor Thorsten Schlomm, Direktor der Klinik für Urologie. Deutschlandweit läuft rund die Hälfte der Prostatakrebsoperationen so ab. „Gerade bei übergewichtigen Patienten, bei denen wir durch die Bauchdecke nur



Wenn ROBOTER und Chirurg gemeinsame Sache machen

Mit Hilfe von Präzisionsinstrumenten sollen Operationen zielgenauer und sicherer durchgeführt werden. Noch steht die Entwicklung am Anfang

schwer an die tiefen Strukturen kommen würden, hilft die neue Technik“, versichert Schlomm.

Da die Prostata sehr nah an Blase, Harnschließmuskel und Erektionsnerven liegt, müssen die Chirurgen äußerst vorsichtig vorgehen. Schlomm: „Wir haben OP-Methoden zur Erhaltung von Kontinenz und Potenz entwickelt und für die Anwendung mit dem Robotersystem optimiert.“ Die Vorteile zeigen sich auch bei Nierenkrebs-Operationen, wo angestrebt wird, nur den Tumor zu entfernen, die Niere intakt zu lassen. Derzeit arbeiten mehrere Firmen mit Expertise von Chirurgen aus der Charité und dem Uniklinikum Eppendorf an einer neuen Generation von digital unter-

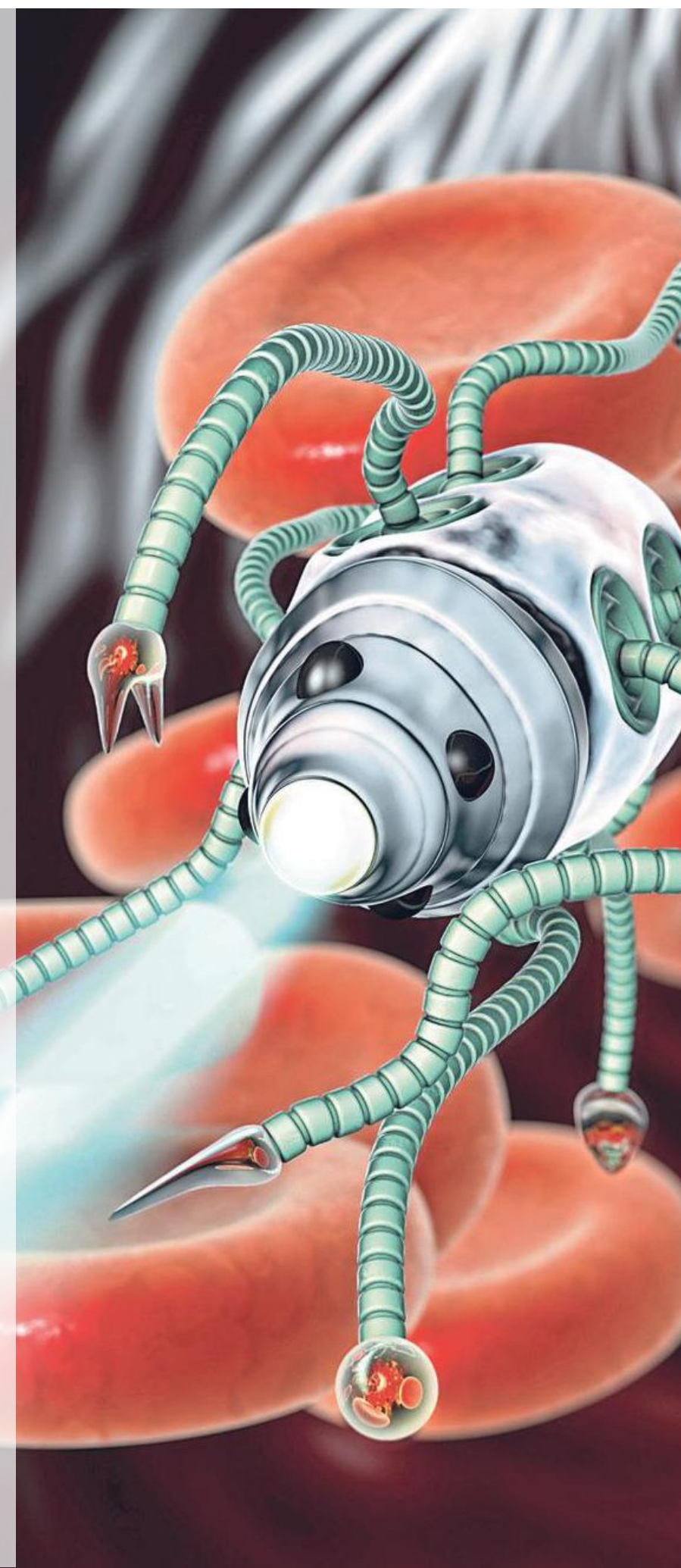
stützten Chirurgie-Systemen. „Das geht weit über das hinaus, was wir bisher kennen. Wie beim Auto werden digitale Assistenzsysteme Einzug halten, die Operationen noch präziser machen. Auch künstliche Intelligenz und teilautonome Operationsschritte werden eine Rolle spielen.“ An der Ludwig-Maximilians-Universität München widmen sich u.a. Professor Martin Canis, Direktor der HNO-Klinik, und Professor Christoph Reichel, Koordinator des Kopf-Hals-Tumorzentrums am Comprehensive Cancer Center, dem Thema der Roboter-assistierten Systeme. Derzeit wird auch dort mit Da Vinci gearbeitet, vor allem bei bösartigen Tumoren am Zungengrund und im Rachen.

Wie wichtig gute Daten sind, weiß auch Philipp Kellmeyer: „Forscher in Freiburg haben mit Epilepsie-Patientendaten herausgefunden: Egal wie sie das System trainierten, es kam nicht über 85 bis 90 Prozent Genauigkeit bei der Diagnose hinaus.“ Ursache: Die Experten hätten teils unterschiedlich diagnostiziert. „Aktuelle Forschungsergebnisse mit Hautkrebs-Daten zeigen, man kann die Erkennungsrate auf 90 bis 95 Prozent steigern, und zwar durch die Kooperation von sehr gut trainiertem Netzwerk und Experte.“ Und es gibt weitere Herausforderungen. Transparenz ist eine davon. Denn wie KI-basierte Systeme letztlich Entscheidungen treffen, welche interne Lerndynamik die Algorithmen vollziehen, ist nicht ganz klar. Ein gewisser Black-Box-Aspekt bleibt vor allem bei Deep Learning-Modellen bestehen. Eine andere ist die Verlässlichkeit. „Im medizinischen Kontext möchte man natürlich versuchen zu vermeiden, dass trainierte Systeme in der Anwendung

schwer an die tiefen Strukturen kommen würden, hilft die neue Technik“, versichert Schlomm.

Das Beispiel zeigt gut, wie es um den Einsatz künstlicher Intelligenz auf professioneller Ebene steht. „In Deutschland gibt es momentan kein KI-System, das für die breite klinische Anwendung zugelassen ist beziehungsweise komplett verwendet wird“, sagt Philipp Kellmeyer, Neurologe am Uniklinikum Freiburg und Wissenschaftler in der Forschungsgruppe „Verantwortliche Künstliche Intelligenz“ am Freiburg-Institut für Advanced Studies (FRIAS). Das Maximum seien sogenannte Empfehlungssysteme: „Zum Beispiel haben viele Hausärzte in ihren EKG-Geräten ein Analyse-Tool drin, das die Kurven auswertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-

testet. Mit KI sind dabei maschinelle Lernverfahren gemeint, darunter zum Beispiel künstliche neuronale Netze oder Deep Learning-Modelle, die anhand von Daten lernen, ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen oder neue Muster und Zusammenhänge zu erkennen. Das können Daten aus klinischen Studien oder der elektronischen Patientenakte sein, die bald kommen wird, sowie Text- oder Sprachdaten. Herausforderung ist die Datenqualität. „Lieber haben wir weniger, dafür aber qualitativ hochwertige Daten. Der Grund ist einfach: Die Algorithmen sind nur so gut, wie die Daten, die sie gesehen haben“, so Jil Sander, Geschäftsführerin bei Healthcare Analytics am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS). Enthaltene Datensätze eine falsche Tendenz, werde der Algorithmus darauf ausgewertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-



Roboter in der Chirurgie werden immer kleiner und präziser. Der Nanoroboter auf der Abbildung, der in einer Blutbahn operiert, ist derzeit noch eine mutige Vision

einträchtig ist. Kinevo, an dessen Arm das Mikroskop und zwei Joysticks befestigt sind, ist eine Plattform aus mehr als 100 Einzelpatenten. „Während der Operationen greifen wir zusätzlich auf das integrierte Gefäßbildgebungsverfahren zu. Durch Kontrastmittel angefärbte Tumoren oder die Durchblutung von Gefäßen lassen sich jetzt noch viel deutlicher darstellen.“ So sollen schwierige Gehirnoperationen sicherer werden. Der Experte betont: „In Zukunft geht es weg vom Mikroskop, hin zu Kameras, Videobrille und 3-D-Bildschirm.“ Für die Operateure sei das wie ein Hindurchsehen durch eine Glasscheibe auf die Struktur, mit Einblendungen erweiterter Konturen – wie im 3-D-Kino. Olympus, Zeiss, Storz und Brainlab entwickeln Systeme und sind kurz vor der Zulassung. Doch Roboter werden den Operateur nicht ersetzen: „Nicht das Gerät operiert, sondern es wird durch uns gesteuert.“

Überzeugt von der Unterstützung durch roboterartige Systeme ist auch Professor Ulrich Nöth, Klinikdirektor der Orthopädie und Unfallchirurgie am Evangelischen Waldkrankenhaus Spandau. Ein semi-aktiver Roboter namens „Rosa“ von Zimmer Biomet hilft, Knieprothesen in richtiger Lage einzubauen. Nach exaktem Röntgen und operativer Vorplanung wird der Roboter mit Daten gefüttert. Eine Software überträgt die räumliche Stellung des Beines an die Navigationseinheit. Der Roboter hält dann eine Schnittebene über das Bein, so dass der Chirurg sich innerhalb dieser bewegen muss. Nöth: „So haben wir keine Abweichungen mehr. Ziel ist eine gerade, Millimeter-genaue Beinachse. Der Roboter kann das viel genauer als der Mensch.“ Schon ab 2021/22 soll es den Roboter auch für Knie-Teilersatz und Hüftgelenke geben, entwickelt von Nöth und einem kanadischen Team. Daneben wird in der Wirbelsäulenchirurgie derzeit viel an Assistenzsystemen zur Wirbelkörperverblockung geforscht. In der Herz- und Gefäßchirurgie wiederum soll mithilfe von RASS eine höhere Präzision bei der Platzierung von Stents erreicht werden.

Seit Oktober 2020 gibt es Da Vinci auch in der Allgemein- und Viszeralchirurgie am Uni-Klinikum Ulm. „Das intuitiv zu bedienende System gibt uns Leitplanken für die OP“, sagt der Ärztliche Direktor Professor Christoph Michalsky. Die Entwicklung, vor allem in der Bildgebung, nehme Fahrt auf. MRT-Bilder könnten in der Konsole bald in 3-D eingeblendet werden. Durch winzige Löcher in der Bauchdecke werden Kanülen hineingeschoben, daran die Roboterarme befestigt. Ein Laser markiert das zu operierende Gebiet, der Roboter richtet sich danach aus. Geeignet sei das System jetzt auch in der Chirurgie von Tumoren im Bauchraum, aber auch in der Reflux (Sodbrennen)-Chirurgie, bei Zysten und in der Kinderchirurgie. Michalsky hat mit seinen Kollegen ein Programm zur interdisziplinären Ausbildung am roboterassistierten System entworfen. Am Simulator wird geübt – das „ist wie den Führerschein machen“.

Michalsky: „Die Systeme werden bald kostengünstiger, besser, einfacher zu bedienen sein. Die Hybrid-Robotik in der breiten Versorgung wird kommen.“

Entscheiden am Ende Algorithmen über Leben und Tod?

Künstliche Intelligenz gilt vielen als Schlüsseltechnologie im Gesundheitswesen. Die Systeme sollen auch helfen, Ärzte bei der Triage zu unterstützen

In der Corona-Krise kommen Krankenhäuser an ihre Grenzen. Wenn zu wenig Pflegepersonal da ist, muss im Notfall entschieden werden, welcher Patient behandelt wird. Ziel dieser sogenannten Triage im Sinne der Notfallmedizin ist laut internationaler Definition, dass „der Richtige Patient zum Richtigen Zeitpunkt am Richtigen Ort“ ist. Um diese „3Rs“ umzusetzen, werden in Krankenhäusern weltweit verschiedene fünfstufige Systeme angewendet, die bekanntesten sind wohl der in den USA entwickelte Emergency Severity Index (ESI) und das Manchester Triage System (MTS), erdacht in Großbritannien. Während der ESI einbezieht, wie dringend der Patient versorgt werden muss und welcher Aufwand damit verbunden ist, gruppiert das MTS nach Dringlichkeitsstufen, die jeweils mit einer maximalen Wartezeit bis zur Behandlung verbunden sind.

Jüngst hat das britische Start-up Babylon Health bekanntgegeben, ein KI-System entwickelt zu haben, das in ei-

ner medizinischen Triage-Situation nicht schlechter abschneiden soll als Fachärzte. Datengestützt könnten damit künftig Entscheidungen im Notfall automatisiert werden, heißt es in einer gesponserten Studie.

Das Beispiel zeigt gut, wie es um den Einsatz künstlicher Intelligenz auf professioneller Ebene steht. „In Deutschland gibt es momentan kein KI-System, das für die breite klinische Anwendung zugelassen ist beziehungsweise komplett verwendet wird“, sagt Philipp Kellmeyer, Neurologe am Uniklinikum Freiburg und Wissenschaftler in der Forschungsgruppe „Verantwortliche Künstliche Intelligenz“ am Freiburg-Institut für Advanced Studies (FRIAS). Das Maximum seien sogenannte Empfehlungssysteme: „Zum Beispiel haben viele Hausärzte in ihren EKG-Geräten ein Analyse-Tool drin, das die Kurven auswertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-

testet. Mit KI sind dabei maschinelle Lernverfahren gemeint, darunter zum Beispiel künstliche neuronale Netze oder Deep Learning-Modelle, die anhand von Daten lernen, ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen oder neue Muster und Zusammenhänge zu erkennen. Das können Daten aus klinischen Studien oder der elektronischen Patientenakte sein, die bald kommen wird, sowie Text- oder Sprachdaten. Herausforderung ist die Datenqualität. „Lieber haben wir weniger, dafür aber qualitativ hochwertige Daten. Der Grund ist einfach: Die Algorithmen sind nur so gut, wie die Daten, die sie gesehen haben“, so Jil Sander, Geschäftsführerin bei Healthcare Analytics am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS). Enthaltene Datensätze eine falsche Tendenz, werde der Algorithmus darauf ausgewertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-

testet. Mit KI sind dabei maschinelle Lernverfahren gemeint, darunter zum Beispiel künstliche neuronale Netze oder Deep Learning-Modelle, die anhand von Daten lernen, ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen oder neue Muster und Zusammenhänge zu erkennen. Das können Daten aus klinischen Studien oder der elektronischen Patientenakte sein, die bald kommen wird, sowie Text- oder Sprachdaten. Herausforderung ist die Datenqualität. „Lieber haben wir weniger, dafür aber qualitativ hochwertige Daten. Der Grund ist einfach: Die Algorithmen sind nur so gut, wie die Daten, die sie gesehen haben“, so Jil Sander, Geschäftsführerin bei Healthcare Analytics am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS). Enthaltene Datensätze eine falsche Tendenz, werde der Algorithmus darauf ausgewertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-

Wie wichtig gute Daten sind, weiß auch Philipp Kellmeyer: „Forscher in Freiburg haben mit Epilepsie-Patientendaten herausgefunden: Egal wie sie das System trainierten, es kam nicht über 85 bis 90 Prozent Genauigkeit bei der Diagnose hinaus.“ Ursache: Die Experten hätten teils unterschiedlich diagnostiziert. „Aktuelle Forschungsergebnisse mit Hautkrebs-Daten zeigen, man kann die Erkennungsrate auf 90 bis 95 Prozent steigern, und zwar durch die Kooperation von sehr gut trainiertem Netzwerk und Experte.“ Und es gibt weitere Herausforderungen. Transparenz ist eine davon. Denn wie KI-basierte Systeme letztlich Entscheidungen treffen, welche interne Lerndynamik die Algorithmen vollziehen, ist nicht ganz klar. Ein gewisser Black-Box-Aspekt bleibt vor allem bei Deep Learning-Modellen bestehen. Eine andere ist die Verlässlichkeit. „Im medizinischen Kontext möchte man natürlich versuchen zu vermeiden, dass trainierte Systeme in der Anwendung

schwer an die tiefen Strukturen kommen würden, hilft die neue Technik“, versichert Schlomm.

schwer an die tiefen Strukturen kommen würden, hilft die neue Technik“, versichert Schlomm.

Das Beispiel zeigt gut, wie es um den Einsatz künstlicher Intelligenz auf professioneller Ebene steht. „In Deutschland gibt es momentan kein KI-System, das für die breite klinische Anwendung zugelassen ist beziehungsweise komplett verwendet wird“, sagt Philipp Kellmeyer, Neurologe am Uniklinikum Freiburg und Wissenschaftler in der Forschungsgruppe „Verantwortliche Künstliche Intelligenz“ am Freiburg-Institut für Advanced Studies (FRIAS). Das Maximum seien sogenannte Empfehlungssysteme: „Zum Beispiel haben viele Hausärzte in ihren EKG-Geräten ein Analyse-Tool drin, das die Kurven auswertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-

testet. Mit KI sind dabei maschinelle Lernverfahren gemeint, darunter zum Beispiel künstliche neuronale Netze oder Deep Learning-Modelle, die anhand von Daten lernen, ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen oder neue Muster und Zusammenhänge zu erkennen. Das können Daten aus klinischen Studien oder der elektronischen Patientenakte sein, die bald kommen wird, sowie Text- oder Sprachdaten. Herausforderung ist die Datenqualität. „Lieber haben wir weniger, dafür aber qualitativ hochwertige Daten. Der Grund ist einfach: Die Algorithmen sind nur so gut, wie die Daten, die sie gesehen haben“, so Jil Sander, Geschäftsführerin bei Healthcare Analytics am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS). Enthaltene Datensätze eine falsche Tendenz, werde der Algorithmus darauf ausgewertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-

schwer an die tiefen Strukturen kommen würden, hilft die neue Technik“, versichert Schlomm.

Das Beispiel zeigt gut, wie es um den Einsatz künstlicher Intelligenz auf professioneller Ebene steht. „In Deutschland gibt es momentan kein KI-System, das für die breite klinische Anwendung zugelassen ist beziehungsweise komplett verwendet wird“, sagt Philipp Kellmeyer, Neurologe am Uniklinikum Freiburg und Wissenschaftler in der Forschungsgruppe „Verantwortliche Künstliche Intelligenz“ am Freiburg-Institut für Advanced Studies (FRIAS). Das Maximum seien sogenannte Empfehlungssysteme: „Zum Beispiel haben viele Hausärzte in ihren EKG-Geräten ein Analyse-Tool drin, das die Kurven auswertet, sagt, was auffällig war, und eine Diagnoseempfehlung abgibt.“ Aktuell werden KI-Systeme im klinischen Kontext noch erforscht und ge-