

Daniel Sonntag

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), Saarbrücken, Deutschland

Künstliche Intelligenz in der Medizin – Holzweg oder Heilversprechen?

Die Bundesregierung ist entschlossen, sowohl Forschung und Entwicklung als auch Anwendung von künstlicher Intelligenz (KI) in Deutschland und Europa auf ein weltweit führendes Niveau zu bringen. Die Eckpunkte für eine „Strategie Künstliche Intelligenz“ sind Ende Juli 2018 veröffentlicht worden. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Eckpunkte herausgegriffen, um sie in den Anwendungsbereich der Medizin und der HNO-Heilkunde zu übertragen. Beleuchtet werden die Ausgangssituation, die Handlungsfelder und der Transfer in die medizinische Versorgung vor dem Hintergrund der KI-Forschung in Deutschland, Europa und den USA. Welche Bedeutung hat KI für das Gesundheitswesen? Welche Potenziale und Limitationen können aufgeführt werden? Welche positiven und negativen Beispiele gibt es?

Entscheidend für die erfolgreiche Anwendung von künstlicher Intelligenz (KI) sind der Zugang zu Daten und die Integration in komplexe medizinische Dienstleistungen im klinischen und nichtklinischen Umfeld. Darum muss die Menge an nutzbaren, qualitativ hochwertigen Daten deutlich erhöht werden.

» Technologien können relativ leicht repliziert werden, qualitative Daten nicht

der Wissensakquisitionsstrategie liegen. Technologien können relativ leicht repliziert werden, qualitative Daten nicht, weil sie auf längere Sicht zur Verarbeitung mit KI-Technologien mühsam aufgebaut werden müssen. Darum kann Deutschland längerfristig damit punkten, die Erfassung patientenrelevanter Basisdaten und anderer digitaler Informationen zum Krankheitsstand zu motivieren und auszubauen.

Entwicklung des Forschungsfelds Künstliche Intelligenz in Deutschland

Nach der ersten Jahresversammlung der 1969 gegründeten Gesellschaft für Informatik (GI) lässt sich die KI in Deutschland auf das Jahr 1975 datieren, etwa 20 Jahre nach der Dartmouth Conference in den USA, wo der Begriff „artificial intelligence“ geprägt wurde. Der KI-Unterausschuss der GI war nach 1972 entscheidend zur Etablierung des Forschungsfelds in der Bundesrepublik. Dieser Unterausschuss wurde sehr durch die Arbeitsgruppe Mustererkennung geprägt, das Feld der KI, das momentan die größte Aufmerksamkeit in der Medizin genießt. Der heutige Fachbereich der KI zählt über 1000 Mitglieder.¹

Die Teilgebiete der KI sind Datenbanken und Wissensrepräsentation, Deduktion und Verifikation, Sprachverarbeitung, Computersehen und Bildverarbeitung, Robotik, Multiagentensysteme, maschinelles Lernen (ML) und andere. Wie in der Arbeit von Siekmann [27]

angedeutet, gibt es keine offizielle Gliederung des Fachs in Teildisziplinen, und die Veränderungen sind selbst in kurzen Zeiträumen von 2–3 Jahren oft erheblich. Einen Anhaltspunkt bieten nach wie vor die großen internationalen Konferenzen (International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI; Association for the Advancement of Artificial Intelligence, AAAI; European Conference on Artificial Intelligence, ECAI) und neuerdings Konferenzen mit starker Betonung der Mensch-Maschine-Interaktion wie die ACM-Konferenzen (Association for Computing Machinery) in diesem Bereich (Intelligent User Interfaces, IUI; Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI; International Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, UMAP). Die Gliederung auf der Webseite des Fachbereichs KI der GI ist auch ein guter Anhaltspunkt.

Die *Deutsche Zeitschrift für Künstliche Intelligenz* (*German Journal of Artificial Intelligence, KI – Künstliche Intelligenz, KI-Journal*) ist das offizielle Sprachrohr der deutschen KI-Community neben der deutschen KI-Konferenz. Beide entwickelten sich aus dem Rundbrief zur Vorbereitung der erwähnten GI-Fachgruppe „Künstliche Intelligenz“ im Jahre 1975. Die Hefte ab 1988 sind bei dblp (früher: „database systems and logic programming“, dann „Digital Bibliography & Library Project“, heute: „dblp computer science bibliography“ oder nur „dblp“) indiziert und verfügbar und immer noch sehr lesenswert, wie beispielsweise über Expertensysteme im medizinischen Bereich [37]. Seit 2010 wird das KI-Journal im Zusammenarbeit

Nach Auffassung des Autors wird in Zukunft der Schlüssel zum Erfolg in

¹ <https://fb-ki.gi.de>

mit dem Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg) mit weiterer Internationalisierung herausgegeben [29]. Das letzte Heft mit Fokus auf KI in der Medizin wurde 2015 veröffentlicht [13] mit dem Versuch, klinische und nichtklinische Systeme in der KI-Community zu fördern. Die Publikationsorgane der KI-Community sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt immer noch stark getrennt von den medizinischen Publikationsorganen. Eine Ausnahme sind Fachkonferenzen und Journals im bildgebenden Bereich wie z.B. RSNA (Radiological Society of North America), MICCAI (International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention) oder CBMS (Symposium on Computer-Based Medical Systems). Es bleibt zu hoffen, dass z.B. Journals wie *Artificial Intelligence in Medicine* oder JAMIA (*Journal of the American Medical Informatics Association*) sich als Brücke in Zukunft weiter etablieren können, auch im Hinblick auf frei verfügbare KI-Software für den medizinischen Bereich, was auch am DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz) stark gefördert wird [31], oder Analysen von Fehlfunktionen klinischer Entscheidungsunterstützungssysteme [39]. Neben Entscheidungsunterstützungssystemen setzen sich Monitoringssysteme für Patienten und Roboter im OP durch; dies deckt sich mit den internationalen Vorhersagen [36]. Ein Blick auf die KI-Strategie der Bundesregierung von 2018 identifiziert 12 Handlungsfelder, u. a. Daten verfügbar und nutzbar zu machen (Handlungsfeld 8) sowie nationale und internationale Vernetzung (Handlungsfeld 11).²

Transferziele und Beispiele

Mit der Verfügbarkeit höherer Rechenleistung und der Fokussierung auf spezielle, realitätsnahe Aufgaben (z. B. Bilderkennung in der Dermatologie mit über 100.000 Bildern [11] oder auf Röntgenaufnahmen [38] mit über 80.000 Bildern für ML) wird es der KI-Forschung wahrscheinlich in den nächsten 6 Jahren gelin-

gen, sich erfolgreich zu etablieren. Hier ist die Qualität der Ergebnisse bei ganz speziellen Fragestellungen mit der von Fachärzten vergleichbar.

Ein weiterer Anreiz für Ärzte ist eine schnelle und kostengünstige Zweitmeinung. Die Bedeutung für das Gesundheitswesen kann beispielhaft aufgezeigt werden: Die KI wird erstens dazu beitragen, dass Ärzte durch geschickte Vorverarbeitung von medizinischen Texten und medizinischen Bildern Dinge erkennen, die ihnen nicht ohne Weiteres aufgefallen wären. Ein zweites Beispiel ist im nichtklinischen Bereich zu finden: Um den Angehörigen von Pflegebedürftigen mehr Alltagsfreiheit zu verschaffen, werden Roboter einfache Haushaltsaufgaben mithilfe ihrer sensomotorischen Intelligenz übernehmen und durch Sprach- und Videofunktionen eine Brücke zur Außenwelt schaffen. Drittens wird durch KI-Systeme auch jeder Patient die Möglichkeit haben, von zu Hause per Knopfdruck eine Meinung zur Diagnose und Therapie einzuholen, schon bevor er zum Arzt geht.

Es gibt prinzipiell 3 inhaltliche Problemstellungen:

- die robuste Vorhersage,
- die Abdeckung der Krankheitsfälle der Entscheidungsunterstützung und
- die Nachvollziehbarkeit.

Die ersten beiden Herausforderungen beziehen sich auf die Qualität und Verfügbarkeit von Trainingsdaten. Eine Lösungsarchitektur wird mit inkrementeller Wissensakquisition bereitgestellt. Ein technisches Problem stellt die Forderung zur Kontrolle und Nachvollziehbarkeit KI-basierter Prognose- und Entscheidungssysteme dar. Es muss daher von Fall zu Fall unterschieden werden, wann diese Anwendung finden sollen und wann nicht. In diesem Beitrag wird explizit auf inkrementelle Wissensakquisition eingegangen, das Thema der Nachvollziehbarkeit wird ausgeklammert und ist Gegenstand von aktuellen Forschungsgruppen wie z. B. im Interaktiven Maschinellen Lernen (IML) am DFKI.³ Die menschliche In-

telligenz ist der Maschinenintelligenz in wesentlichen Aspekten wie Nachvollziehbarkeit unter Berücksichtigung von Kontextfaktoren und Patientenmodellen immer noch deutlich überlegen, der Blick auf die Geschichte der Kognitionswissenschaft lohnt sich, um mögliche Zukunftsszenarien medizinischer Versorgung realistischer einzuschätzen [6], auch im Pflegebereich mit Robotern und einhergehenden ethischen Fragen [7]. Die Industrie beginnt auch, transparente Modelle wieder in den Vordergrund zu rücken [40].

» Die Früherkennung von Krebserkrankungen wird durch bildgebende Verfahren mit KI-Methoden unterstützt

Oft scheitert es nicht an der KI-Methodik, sondern daran, dass viele Kliniken keine vernetzten digitalen Daten ihrer Patienten bereitstellen. Mit der Durchsetzung einer standardisierten elektronischen Patientenakte würde sich das schnell ändern, auch wenn alle technisch nachrüsten müssen. Dann können Diagnostik, Behandlungs- und Versorgungsprozesse und sogar Heilungschancen in verschiedenen Gebieten entscheidend verbessert werden. Onkologiezentren, die bereits KI einsetzen oder dies in Zukunft machen wollen, gibt es beispielsweise am DKFZ (Deutsches Krebsforschungszentrum) und DKTK (Deutsches Konsortium für Translationale Krebsforschung, mit 8 Standorten).⁴ Bei der molekularen Diagnostik von Krebserkrankungen werden in Zukunft KI-Verfahren eingesetzt, zusätzlich zu der Früherkennung von Krebserkrankungen, die durch bildgebende Verfahren bereits heute mit KI-Methoden unterstützt wird.

² <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>

³ <http://iml.dfki.de>

⁴ <https://www.bmbf.de/de/deutsches-konsortium-fuer-translationale-krebsforschung-395.html>

Inkrementelle Wissensakquisition

In **Abb. 1** ist erklärt, wie die 4 Schritte der Wissensakquisition durchzuführen und anwendbar sind:

1. Strukturiertes Wissen in Form medizinischer Ontologien ist die Basis für die medizinische Wissensverarbeitung („structured/structural knowledge“). In radiologischen und anderen bildverarbeitenden Anwendungsszenarien werden oft medizinische Ontologien wie FMA (Foundational Model of Anatomy) [21], RadLex („radiology lexicon“) [18] und eine aufbereitete Form der ICD-10 (International Classification of Diseases) [22] einzeln oder zusammen [32] verwendet. Strukturiertes Wissen kann durch Sensorinterpretationen wie Herzfrequenz oder Hautleitfähigkeit ergänzt werden.
2. Um Bildannotationen zu erhalten, werden klinische Desktop-Tools verwendet („desktop annotation“). Alternativ wird an strukturierter Befundung geforscht, die eine direkte Digitalisierung und Annotation erlaubt [34].⁵
3. Dann können annotierte Datensätze zur automatischen Bild- und Videoanalyse manuell erzeugt werden („automatic image recognition“, „spatial reasoning“) [30, 33].
4. Dialogbasierte multimodale Interaktionssysteme stehen dann dem Arzt zur Verfügung, in neuester Form in virtueller Realität [19, 25] mit 3-D-Bild-Effekten [24].⁶ Konkrete Anwendungsfelder neben Tumorboards sind z. B. die Vermeidung schmerzhafter Biopsien oder andere Eingriffe, wie in der Prostatadiagnostik oder bei Brustkrebsdiagnostik [2]. Ein weiteres Beispiel ist die Segmentierung und Klassifikation vom Weichteilen bis hin zu automatisierten Brustultraschalluntersuchungen [9].

⁵ <http://medicalcps.dfki.de/www/wp-content/uploads/BIRADS-30-seconds.mp4>

⁶ http://medicalcps.dfki.de/www/wp-content/uploads/KDI_V2_Pro_v04_2.mp4

D. Sonntag

Künstliche Intelligenz in der Medizin – Holzweg oder Heilversprechen?

Zusammenfassung

Künstliche Intelligenz (KI) hat in den letzten Jahren eine neue Reifephase erreicht und entwickelt sich zum Treiber der Digitalisierung in allen Lebensbereichen. Die KI ist eine Querschnittstechnologie, die für alle Bereiche der Medizin mit Bilddaten, Textdaten und Biodaten von großer Bedeutung ist. Es gibt keinen medizinischen Bereich, der nicht von KI beeinflusst werden wird. Dabei spielt die klinische Entscheidungsunterstützung eine wichtige Rolle. Gerade beim medizinischen Workflow-Management und bei der Vorhersage des Behandlungserfolgs bzw. Behandlungsergebnisses etablieren sich KI-Methoden. In der Bilddiagnose und im Patientenmanagement können KI-Systeme bereits unterstützen, aber sie können keine kritischen Entscheidungen vorschlagen.

Die jeweiligen Präventions- oder Therapie-maßnahmen können mit KI-Unterstützung sinnvoller bewertet werden, allerdings ist die Abdeckung der Krankheiten noch viel zu gering, um robuste Systeme für den klinischen Alltag zu erstellen. Der flächendeckende Einsatz setzt Fortbildungsmaßnahmen für Ärzte voraus, um die Entscheidung treffen zu können, wann auf automatische Entscheidungsunterstützung vertraut werden kann.

Schlüsselwörter

Bildauswertung, computergestützte · Medizinische Informatikanwendungen · Computergestützte Diagnostik · Entscheidungsunterstützung · Maschinelles Lernen

Artificial intelligence in medicine—the wrong track or promise of cure?

Abstract

Artificial intelligence (AI) has attained a new level of maturity in recent years and is developing into the driver of digitalization in all areas of life. AI is a cross-sectional technology with great importance for all branches of medicine employing imaging as well as text and biodata. There is no field of medicine that remains unaffected by AI, with AI-assisted clinical decision-making assuming a particularly important role. AI methods are becoming established in medial workflow management and for prediction of therapeutic success or treatment outcome. AI systems are already able to lend support to imaging-based diagnosis and patient management, but cannot suggest critical

decisions. The corresponding preventive or therapeutic measures can be more rationally assessed with the help of AI, although the number of diseases covered is currently far too low for the creation of robust systems for clinical routine. Prerequisite for the comprehensive use of AI systems is appropriate training to enable physicians to decide when computer-assisted decision-making can be relied upon.

Keywords

Image interpretation, computer-assisted · Medical informatics applications · Diagnosis, computer-assisted · Decision making, computer-assisted · Machine learning

Inkrementelle Wissensakquisition dient dazu, für zukünftige KI-Systeme eine Brücke zwischen wissensfreien und wissensbasierten KI-Verfahren zu schlagen. Statistische und neuronale Lernverfahren (Deep Learning), die z. B. in der Bildverarbeitung eingesetzt werden, können nur dann robuster und plausibler werden, wenn sie mit Wissensgraphen und Ontologien kombiniert und damit erklärbarer werden. Verfügbare Daten

müssen auf ihren Aggregierungsstand im Sinne der Wissensakquisition und ontologischer Modellierung zur Steigerung der Datenqualität hin untersucht werden.

Es wäre sinnvoll, den nationalen Anteil der Fördermittel im Bereich Digitalisierung zu verdoppeln und im Bereich der Medizin zu verdreifachen, um die Wissensakquisition zu verbessern. Davon profitieren würde beispielsweise

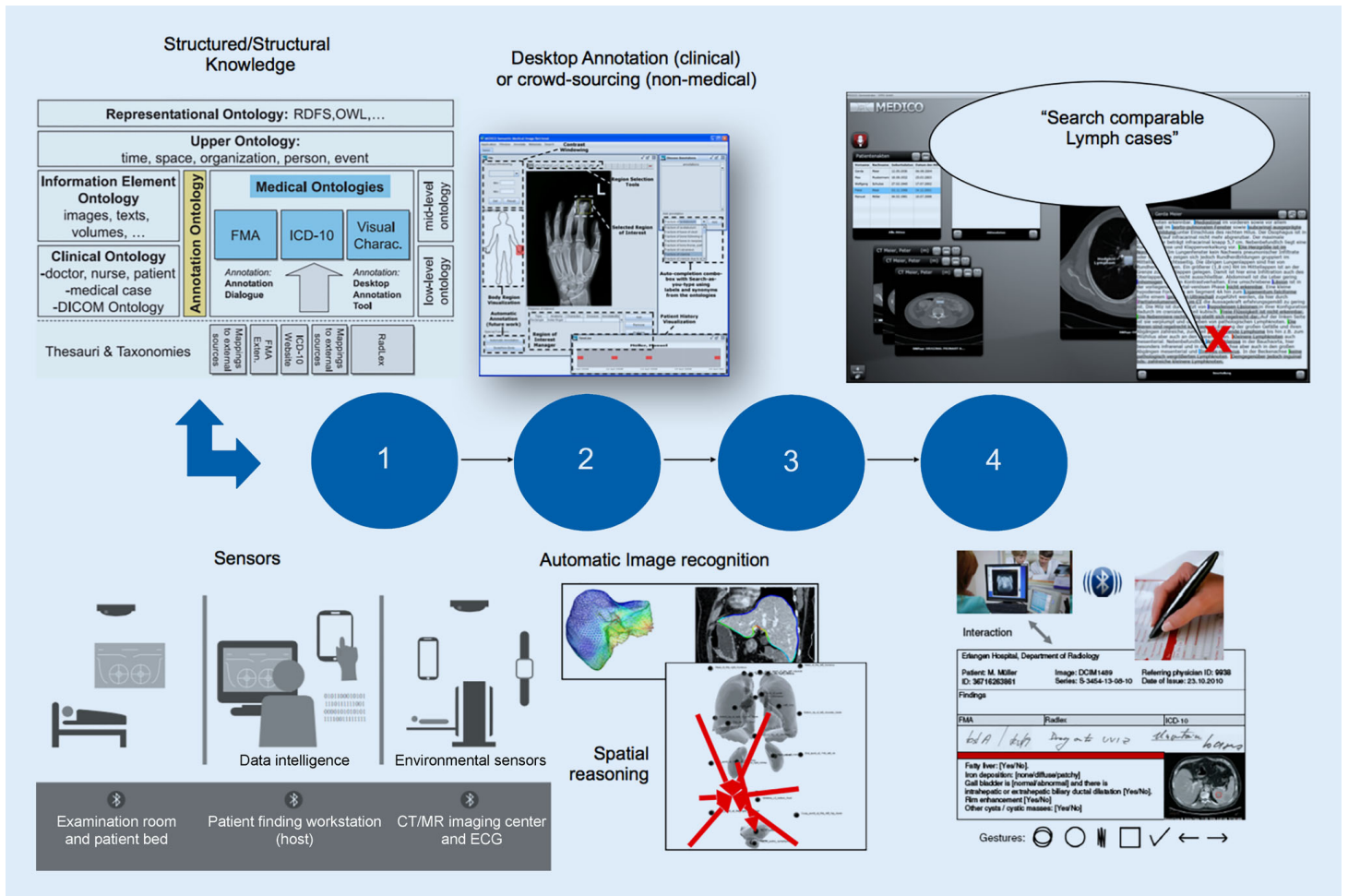


Abb. 1 ▲ Inkrementelle Datenakquisition. Erläuterung s. Text. (Mit freundl. Genehmigung © D. Sonntag, alle Rechte vorbehalten)

die schnelle Umsetzung von digitalen Testverfahren und Entscheidungsunterstützungssystemen, computergestützten Navigations- und Assistenzsystemen und Lösungen einer digitalen elektronischen Patientenakte mit webbasiertem Lese- und Schreibzugriff, basierend auf den Entwicklungen abgeschlossener Forschungsprojekte [14, 28, 35].

Verfügbare Daten

Das Programm Medizininformatik⁷, das 2016 initiiert wurde, hat zum Ziel, in Deutschland Datenzentren bereitzustellen. Für die Anwendung der KI, multimodale Daten zu verarbeiten [3, 23], Deep Learning [5, 17] und Wissensmanagement zu betreiben [1], müssen umfangreiche Aggregationen der Daten in

den nächsten Jahren vorgenommen werden (vgl. inkrementelle Wissensakquisition). Es ist sinnvoll, extern verfügbare strukturierte Datenbanken anzupapfen, beispielsweise Linked Open Drug Data (LODD) [26]; diese bieten allerdings keine Bilddaten und Patientendaten, wie sie in einer elektronischen Patientenakte und einem technischen Patientenmodell vorhanden wären [35]; europäische Projekte zur Datenmodellierung und Standardisierung existieren ebenfalls.⁸

Diagnostik und Entscheidungsunterstützung

Neben dem ersten Beispiel zur klinischen Entscheidungsunterstützung des Arztes gibt es beispielsweise die Notwendigkeit einer Entlastung von Patienten, Ärzten und des Gesundheitssystems in

Form von computergestützten Hilfssystemen, die den Arzt oder Patienten bei der Vorinterpretation von Krankheiten unterstützt. Spezielle KI-Anwendungen für spezielle onkologische Krankheitsfälle sind deswegen vielversprechend. Ein Beispiel sind die Dermatologie und spezielle Untererkrankungen.

Die KI ist da gut, wo eine ganz spezifische Klassifikation ermittelt werden soll, nicht aber bei zu vielen Entscheidungsmöglichkeiten.⁹ Darum muss beispielsweise die Anwendung in der Dermatologie mit über 2000–3000 definierbaren Krankheitsbildern stark eingeschränkt werden. Dies gilt insbesondere für statistische und neuronale Lernverfahren, wie sie im Moment stark eingesetzt werden, da die reine Bildinterpretationsleistung basierend auf den

⁷ http://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/_media/Medizininformatik_englisch_barrierefrei.pdf

⁸ <http://www.transformproject.eu/>

⁹ Es gibt aber auch Ansätze, die Diagnostik vorwiegend auf das Finden ähnlicher Patientenfälle zu beschränken [4].

Tab. 1 Dermatologiedatensätze für maschinelles Lernen

Name	#Bilder	Klassen	Bemerkung
ISIC	~23.000	Mal/ben and 18 Subklassen	Unbalanciert: über 19.000 benign
HAM10000	10.000	Mal/ben	Enthalten in ISIC. Unbalanciert: 6702 benign
MedNode	170	Melanoma/naevus	Verteilung: 70/100
PH2	200	Common Nevus, Atypical Nevus, Melanoma	Balanciert

Bildpixeln nur dann sehr hoch ist, wenn geschätzt mindestens 1000 Bilder pro Krankheitsbild vorliegen.

In **Tab. 1** sind die momentan für die Forschung öffentlich verfügbaren Bilddatensätze aufgeführt, die auch für die ML-Klassifikation verwendet werden können.¹⁰ Seit 2016 wird eine ML-Challenge organisiert, um die besten ML-Verfahren bei Krankheitsklassifikation, Feature-Klassifikation oder Segmentierung zu vergleichen [10, 20]. Potenzielle Vorreiter für klinische Anwendungen sind beispielsweise Segmentierungsmasken [8] und Tumordiagnosen [12] sowie Klassifizierungen anderer Hautkrankheiten [41]. In der Pathologie gibt es erste anonyme Datensätze zur Metastasenerkennung, um international KI-Forschungssysteme zu vergleichen (Camelyon).¹¹

HNO-Transfer

Analysen von Fehlfunktionen klinischer Entscheidungsunterstützungssysteme legen offen, dass oft keine Transfermöglichkeit der KI-Methodik, insbesondere des gelernten Datenmodells, von einem Anwendungsfall zum nächsten besteht [39]. Dennoch lässt sich der Ansatz der inkrementellen Datenakquisition für KI übertragen. Mittlerweile sind insbesondere für Bilderkennung Standard-Pipelines mit Bildvorverarbeitung vorhanden, die bei entsprechender Datenlage im HNO-Bereich ML-Experimente prinzipiell zulassen (z. B. NiftyNet [15]). Dies betrifft v. a. komplexe Vorverarbeitungsschritte, beispielsweise aus

den Bereichen der medizinischen Bildregistrierung. Es sei an dieser Stelle an die zentralen Aufgaben der Bildverarbeitung, die Abgrenzung, Analyse, Identifizierung und Visualisierung medizinischer Bildobjekte (Gewebe, Tumoren, Läsionen, Gefäßsysteme) erinnert [16].

» Diagnostische Verfahren werden zunehmend automatisiert

Otologische und audilogische HNO-Daten sind ähnlich wie Bild- und Ultraschalldaten (in der Brustdiagnostik). Mit einem ontologischen Ansatz könnten diese nicht nur digital vorliegen, sondern auch schon mit wichtigen Metainformationen angereichert werden [32]. Diagnostische Verfahren werden zunehmend automatisiert, d. h. es besteht ein Bedarf, Datenmaterial für ML zu erzeugen. Digitale ML-basierte Volumetomographie erlaubt die Darstellung von Weichteilen und potenziell die automatische Beurteilung von Strukturen. Computergestützten Navigations- und Assistenzsystemen, die in der komplexen dreidimensionalen Anatomie des Kopfs und Halses unterstützen, wird ebenfalls ein großes Potenzial zugemessen. Dementsprechend sind 3-D-Bildverfahren mit Darstellung automatisch gefundener anatomischer Strukturen und Auffälligkeiten in Virtual Reality ein potenzielles Anwendungsfeld (vgl. virtuelle Endoskopie).

Ausblick

Man muss sich für einen flächendeckenden Einsatz der KI folgende Frage stellen: „Welche KI-Methoden brauchen

tatsächlich vollständige Transparenz bei welchen Diagnoseentscheidungen?“ und „Wo können statistische Ansätze direkt verwendet werden?“ Dies bedarf nicht nur der Ausbildung neuer KI-Experten für die Medizin, sondern auch einer Schulung der Ärzte. Bei lebensbedrohlichen Entscheidungen fehlt oft die nötige Robustheit der KI-Systeme. Viele medizinische Fragestellungen müssen kausale Zusammenhänge aufdecken oder nutzen.

Große Herausforderungen sind die Standardisierung der medizinischen Begriffswelten in Form von technischen Ontologien und die Informationsextraktion aus Texten und Bildern. Es gibt bereits Prototypenanwendungen, die mithilfe hochqualitativer Daten einer klinischen Studie im Projekt KDI (Klinische Datenintelligenz) des BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) realisiert wurde [35]. Viele ähnliche Entscheidungsunterstützungssysteme wären heute schon möglich, wenn Datenpartnerschaften zwischen Kliniken und Forschungsinstituten existierten. Dann würden die Potenziale des Einsatzes von KI in der Medizin besser ausgeschöpft werden können. Analysen von Fehlfunktionen klinischer Entscheidungsunterstützungssysteme sind aber unbedingt notwendig.

Fazit für die Praxis

- Einige Datentöpfe stehen bereits für KI(Künstliche Intelligenz)-Anwendungen bereit, v. a. im Bereich der Bildverarbeitung.
- Entscheidend für die erfolgreiche Anwendung von KI sind der Zugang zu qualitativ hochwertigen Daten und die Integration in komplexe medizinische Dienstleistungen im klinischen und nichtklinischen Umfeld.
- Darum muss die Menge an nutzbaaren, qualitativ hochwertigen Daten deutlich erhöht werden.
- Die Mensch-Maschine-Schnittstelle gewinnt an Bedeutung, weil der Arzt in einer Behandlungssituation, auch während einer Operation, schnell entscheiden muss.
- Ein technisches Problem stellt die Forderung zur Kontrolle und Nach-

¹⁰ International Skin Imaging Collaboration, <https://isic-archive.com/> Letzter Download am 5. Februar 2019. Dank an Fabrizio Nunnari.

¹¹ <https://camelyon17.grand-challenge.org>

vollziehbarkeit KI-basierter Prognose- und Entscheidungssysteme dar.

- Es muss daher von Fall zu Fall unterschieden werden, wann diese Anwendung finden und kommuniziert werden soll.
- Die Zukunft wird so aussehen, dass KI-Computer mit Klinikern zusammenarbeiten werden (Machine vs. Human vs. Machine + Human).

Korrespondenzadresse



Dr. Daniel Sonntag
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
Stuhlsatzenhausweg 3,
66123 Saarbrücken,
Deutschland
sonntag@dfki.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. D. Sonntag gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden vom Autor keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Alpaydin E (2018) Classifying multimodal data. In: The handbook of multimodal-multisensor interfaces, signal processing, architectures, and detection of emotion and cognition, Bd. 2. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael
- Bahl M, Barzilay R, Yedidia A, Locascio N, Yu L, Lehman C (2018) High-risk breast lesions: a machine learning model to predict pathologic upgrade and reduce unnecessary surgical excision. *Radiology* 286:810–818
- Baltrusaitis T, Ahuja C, Morency L-P (2018) Multimodal machine learning. In: The handbook of multimodal-multisensor interfaces: signal processing, architectures, and detection of emotion and cognition, Bd. 2. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael
- Bates DW, Saria S, Ohno-Machado L, Shah A, Escobar G (2014) Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health Aff (Millwood)* 33(7):1123–1131
- Bengio S, Deng L, Morency L-P, Schuller B (2018) Multidisciplinary challenge topic: perspectives on predictive power of multimodal deep learning: surprises and future directions. In: The handbook of multimodal-multisensor interfaces: signal processing, architectures, and detection of emotion and cognition, Bd. 2. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael
- Boden MA (2008) Mind as machine: a history of cognitive science. Clarendon Press, Oxford, England. (<https://books.google.de/books?id=yRyETy43AdQC>)
- Boden MA, Bryson J, Caldwell DG, Dautenhahn K, Edwards L, Kember S, Newman P, Parry V, Pegman G, Rodden T, Sorrell T, Wallis M, Whitby B, Winfield AFT (2017) Principles of robotics: regulating robots in the real world. *Connect Sci* 29(2):124–129. <https://doi.org/10.1080/09540091.2016.1271400>
- Burdick J, Marques O, Weinthal J, Furht B (2018) Rethinking skin lesion segmentation in a convolutional classifier. *J Digit Imaging* 31(4):435–440. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-0026-y>
- Choi J-H, Kang BJ, Baek JE, Lee HS, Kim SH (2018) Application of computer-aided diagnosis in breast ultrasound interpretation: improvements in diagnostic performance according to reader experience. *Ultrasonography* 37(3):217–225. <https://doi.org/10.14366/usg.17046>
- Codella NCF, Gutman D, Celebi ME, Helba B, Marchetti MA, Dusza SW, Kallou A, Liopyris K, Mishra N, Kittler H, Halpern A (2018) Skin lesion analysis toward melanoma detection: a challenge at the 2017 International symposium on biomedical imaging (ISBI), hosted by the international skin imaging collaboration (ISIC). In: 2018 IEEE 15th international symposium on biomedical imaging (ISBI 2018). IEEE, Washington, DC <https://doi.org/10.1109/ISBI.2018.8363547>
- Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, Thrun SJ (2017) Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 542:115. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- Fujisawa Y, Otomo Y, Ogata Y, Nakamura Y, Fujita R, Ishitsuka Y, Watanabe R, Okiyama N, Ohara K, Fujimoto M (2018) Deep-learning-based, computer-aided classifier developed with a small dataset of clinical images surpasses board-certified dermatologists in skin tumour diagnosis. *Br J Dermatol* 1111. <https://doi.org/10.1111/bjd.16924>
- Gelissen J, Sonntag D (2015a) Special issue on health and wellbeing. *KI Künstliche Intell* 29(2):111–113. <https://doi.org/10.1007/s13218-015-0360-5>
- Gelissen J, Sonntag D (2015b) Special issue on health and wellbeing. *KI Künstliche Intell* 29(2):111–113. <https://doi.org/10.1007/s13218-015-0360-5>
- Gibson E, Li W, Sudre C, Fidon L, Shakeri D, Wang G, Eaton-Rosen Z, Gray R, Doel T, Hu Y, Whyntie T, Nachev P, Modat M, Barratt DC, Ourselin S, Cardoso MJ, Vercauteren T (2018) NiftyNet: a deep-learning platform for medical imaging. *Comput Methods Programs Biomed* 158:113–122. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.01.025>
- Handels H (2015) Medizinische Bildverarbeitung. Springer, Heidelberg, Berlin
- Keren G, Mousa AE-D, Pietquin O, Zafeiriou S, Schuller B (2018) Deep learning for multisensorial and multimodal interaction. In: The handbook of multimodal-multisensor interfaces: signal processing, architectures, and detection of emotion and cognition, Bd. 2. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael
- Langlotz CP (2006) Radlex: a new method for indexing online educational materials. *Radiographics* 26:1595–1597. <https://doi.org/10.1148/rg.266065168>
- Luxenburger A, Prange A, Moniri MM, Sonntag D (2016) Medicalvr: towards medical remote collaboration using virtual reality. In: Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct, UbiComp '16. ACM, New York, S 321–324 <https://doi.org/10.1145/2968219.2971392>
- Marchetti MA, Codella NC, Dusza SW, Gutman DA, Helba B, Kallou A, Mishra N, Carrera C, Celebi ME, DeFazio JL, Jaimes N, Marghoob AA, Quigley E, Scope A, Yáñez O, Halpern AC (2018) Results of the 2016 international skin imaging collaboration international symposium on biomedical imaging challenge: comparison of the accuracy of computer algorithms to dermatologists for the diagnosis of melanoma from dermoscopic images. *J Am Acad Dermatol* 78(2):270–277.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2017.08.016>
- Mejino JL, Rubin DL, Brinkley JF (2008) FMA-RadLex: an application ontology of radiological anatomy derived from the foundational model of anatomy reference ontology. In: Proc. of AMIA symposium, S 465–469
- Möller M, Sintek M, Biedert R, Ernst P, Dengel A, Sonntag D (2010) Representing the international classification of diseases version 10 in OWL. In: Filipe J, Dietz JLG (Hrsg) KEOD 2010—proceedings of the international conference on knowledge engineering and ontology development Valencia, 25.10.–28.10. SciTePress, Lisbon, S 50–59. ISBN 978-9-898-42529-4
- Panagakis Y, Rudovic O, Pantic M (2018) Learning for multi-modal and context-sensitive interfaces. In: The handbook of multimodal-multisensor interfaces: signal processing, architectures, and detection of emotion and cognition, Bd. 2. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael
- Prange A, Barz M, Sonntag D (2018) Medical 3d images in multimodal virtual reality. In: Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion, IUI'18. ACM, New York, S 19:1–19:2 <https://doi.org/10.1145/3180308.3180327>. ISBN 978-1-4503-5571-1
- Rizzo A, Talbot TJ (2016) Virtual reality standardized patients for clinical training. In: The digital patient. John Wiley & Sons, Hoboken, S 255–272 <https://doi.org/10.1002/9781118952788.ch18>. ISBN 978-1-118-95278-8
- Samwald M, Jentzsch A, Bouton C, Kallesøe C, Willighagen EL, Hajagos J, Marshall MS, Prud'hommeaux E, Hassanzadeh O, Pichler E, Stephens S (2011) Linked open drug data for pharmaceutical research and development. *J Cheminform* 3:19. <https://doi.org/10.1186/1758-2946-3-19>
- Siekmann JH (2009) Die entwicklung der disziplin in deutschland. *KI*, 23(1): 47–52. http://www.kuenstliche-intelligenz.de/fileadmin/template/main/archiv/pdf/ki2009-01_page47-52_web_full.pdf. Zugegriffen: 28.1.2019
- Sonntag D (2016) Medical cyber-physical systems. In: Cyber-physical system design with sensor networking technologies, control, robotics and sensors. Institution of Engineering and Technology, London, England, S 311–333
- Sonntag D (2018) AI in germany: well-prepared and eager to do something. *KI Künstliche Intell* 32(2–3):97–99. <https://doi.org/10.1007/s13218-018-0555-7>
- Sonntag D, Möller M (2010) A multimodal dialogue mashup for medical image semantics. In: Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '10. ACM, New York, S 381–384 <https://doi.org/10.1145/1719970.1720036>. ISBN 978-1-60558-515-4

-
31. Sonntag D, Profitlich H (2019) An architecture of open-source tools to combine textual information extraction, faceted search and information visualisation. *ArtifIntell Med* 93:13–28. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.08.003>
 32. Sonntag D, Wennerberg P, Buitelaar P, Zillner S (2009) Pillars of ontology treatment in the medical domain. *J Cases Inf Techn* 11(4):47–73
 33. Sonntag D, Schulz C, Reuschling C, Galarraga L (2012) Radspeech's mobile dialogue system for radiologists. In: *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '12*. ACM, New York, S 317–318 <https://doi.org/10.1145/2166966.2167031>. ISBN 978-1-4503-1048-2
 34. Sonntag D, Weber M, Cavallaro A, Hammon M (2014) Integrating digital pens in breast imaging for instant knowledge acquisition. *AI Mag* 35(1):26–37
 35. Sonntag D, Tresp V, Zillner S, Cavallaro A, Hammon M, Reis A, Fasching PA, Sedlmayr M, Ganslandt T, Prokosch H, Budde K, Schmidt D, Hinrichs C, Wittenberg T, Daumke P, Oppelt PG (2016) The clinical data intelligence project—a smart data initiative. *Inform Spektrum* 39(4):290–300. <https://doi.org/10.1007/s00287-015-0913-x>
 36. Stone P, Brooks R, Brynjolfsson E, Calo R, Etzioni O, Hager G, Hirschberg J, Kalyanakrishnan S, Kamar E, Kraus S, Leyton-Brown K, Parkes D, Press W, Saxenian A, Shah J, Tambe M, Teller AS (2016) Artificial intelligence and life in 2030. Technical report, one hundred year study on artificial intelligence: report of the 2015–2016 study panel. Stanford University, Stanford
 37. Strecker H, Pfitzner K (1988) XRAY – ein prototypisches konfigurierungs-expertensystem für die automatische röntgenprüfung. *KI Kunstliche Intell* 2(2):4–8
 38. Wang I, Peng Y, Lu L, Lu Z, Bagheri M, Summers RM (2017) Chestx-ray8: Hospital-scale chest x-ray database and benchmarks on weakly-supervised classification and localization of common thorax diseases. *CoRR*, abs/1705.02315
 39. Wright A, Hickman T, McEvoy D et al (2016) Analysis of clinical decision support system malfunctions: a case series and survey. *J Am Med Inform Assoc* 23:1068–1076
 40. Yang Y, Tresp V, Wunderle M, Fasching PA (2018) Explaining therapy predictions with layer-wise relevance propagation in neural networks. 2018 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI), S 152–162 <https://doi.org/10.1109/ICHI.2018.00025>
 41. Zhang X, Wang S, Liu J, Tao C (2017) Computer-aided diagnosis of four common cutaneous diseases using deep learning algorithm. In 2017 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM). IEEE, Kansas City, S 1304–1306 <https://doi.org/10.1109/BIBM.2017.8217850>. ISBN 978-1-5090-3050-7