

EXPERTENSTATEMENT // Der Einsatz KI-gestützter Bildanalytik in der Zahnmedizin birgt viel Potenzial, auch für die zahnärztliche Praxis. Die Autoren geben einen aktuellen Überblick der Studienlage und stellen die vier Schritte, vor, welche eine KI-gestützte Anwendung von der Entwicklung bis hin zur klinischen Anwendung durchlaufen muss. Sie sind Mitgründer der dentalXrai GmbH, eines Start-ups, welches ein KI-gestütztes Diagnoseassistenzsystem entwickelt hat.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IN DER ZAHNMEDIZIN: REALITÄT ODER WUNSCHGEDANKE?

Dr. Robert Gaudin, Dr. Joachim Krois, Prof. Dr. Falk Schwendicke / Berlin

Einführung

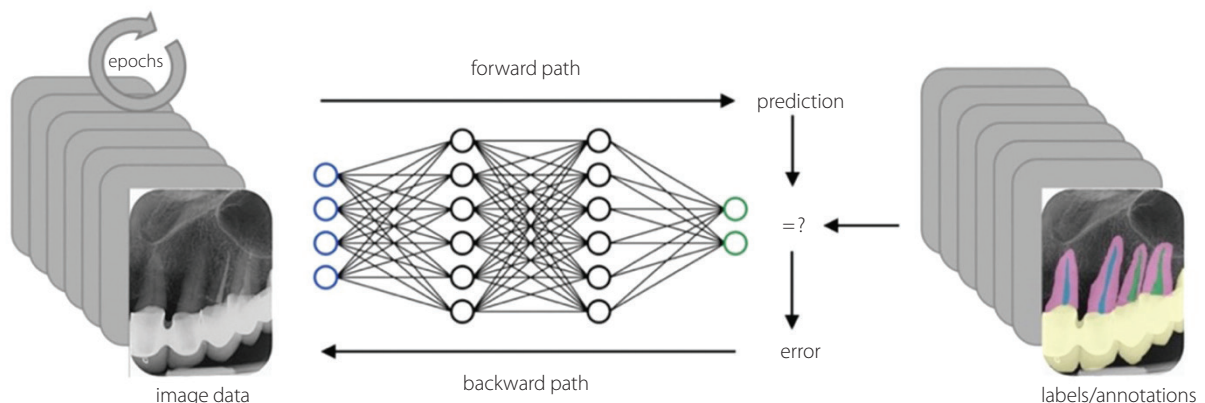
Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) sind heute nicht nur reine Forschungsthemen, sondern auch für die Wirtschaft hochrelevante Geschäftsfelder. Der Begriff KI wurde Mitte der 1950er-Jahre geprägt, jedoch veränderte sich die Begriffsdefinition über die Zeit aufgrund seiner universellen Natur und des soziotechnologischen Wandels. In dem *American*

National Standard Dictionary of Information Technology (ANSIT 1996) wird KI definiert als: „Die Fähigkeit eines Geräts, Funktionen auszuführen, die normalerweise mit menschlicher Intelligenz verbunden sind, wie z.B. Denken, Lernen und Selbstverbesserung.“¹

In der Medizin, vornehmlich in der medizinischen Bildanalyse, wird KI bereits heute erfolgreich eingesetzt. Insbesondere die Anwendung von sogenannten

Konvolutionalen Neuronalen Netzwerken (Convolutional Neural Networks, CNNs) ermöglicht das Erkennen von Krankheiten (z.B. Hauterkankungen, Pathologien auf Röntgenbildern, Erkrankungen des Auges) mit übermenschlicher Geschwindigkeit und mit einer mit Experten vergleichbaren Genauigkeit.²⁻⁵ Dies kann Diagnosen und Behandlungen sicherer, personalisierter und effizienter machen. Das menschliche Auge kombiniert das Farb- und Kon-

Abb. 1: Training eines CNN: Durch Wiederholung und Iteration wird das neuronale Netzwerk optimiert, indem der Vorhersagefehler minimiert wird. Ein trainiertes neuronales Netzwerk ist in der Lage, auf neuen Daten Vorhersagen mit sehr hoher Genauigkeit zu treffen.



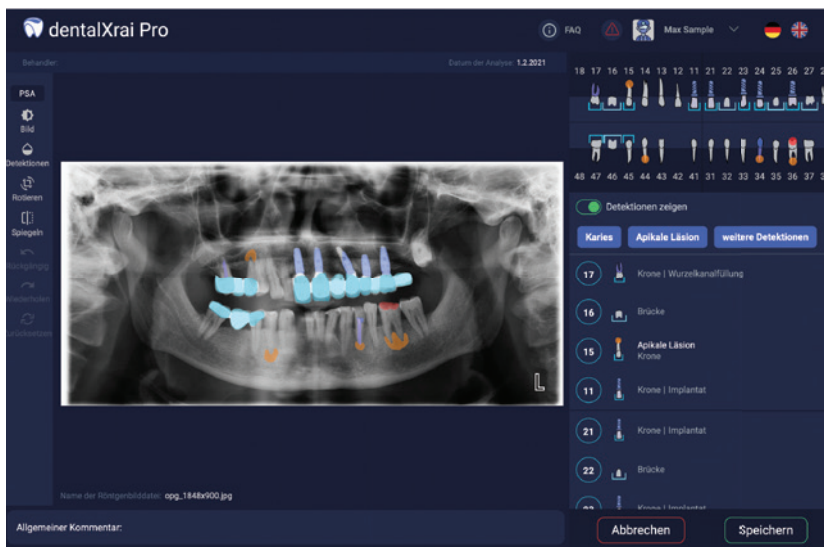


Abb. 2: Zahnärztliche KI aus Deutschland: dentalXrai Pro ist ein KI-Diagnoseassistenzsystems des Charité-Start-ups dentalXrai. Die Software nutzt KI, um Zähne, Restaurationen, Karies und apikale Läsionen zu detektieren und in einem zahnbasierten Vorbefund darzustellen. Die Detektionen werden farblich dargestellt (Karies in Rot, apikale Läsionen in Orange, Kronen, Füllungen, Implantate und Wurzelkanalfüllungen in Grün-Blau). Eine Liste von Detektionen und die Zahnkarte geben einen detaillierten Überblick zum dentalen Status des Patienten. Interaktive Schaltelemente erlauben das schnelle Hinzu- und Wegschalten der Detektionen. Abschließend kann ein Bericht erstellt werden.

trastsehen mit erlernter Strukturerkennung, während KI-Algorithmen Bilder pixelbasiert analysieren und abstrahieren. Diese unterschiedliche Art „zu sehen“ führt dazu, dass einige Aufgaben, die für den Menschen relativ schwierig erscheinen, von Algorithmen einfacher zu bewältigen sind. Gleichzeitig können aber auch für den Menschen einfache Aufgaben Algorithmen vor große Probleme stellen.

Die Zahnmedizin stand in den vergangenen Jahren bei der KI-gestützten Bildanalytik allerdings weniger im Fokus. Dies überrascht, da eine bildgebende Diagnostik in der Zahnmedizin oft unverzichtbar ist: Die zahnärztliche Röntgenologie macht beispielsweise mehr als die Hälfte aller in der Medizin aufgenommenen Röntgenaufnahmen aus.⁶ Des Weiteren ist der Ausbildungsabschnitt, in dem angehende Zahnärzte speziell in der Bild diagnostik (u. a. Röntgenbilder) unterwiesen werden, relativ kurz: Ein Facharzt für Radiologie durchläuft eine um ein Vielfaches längere Spezialausbildung, um ein Experte für Diagnostik zu werden.⁷ Aus diesen Gründen wäre eine KI-gestützte Bildanalytik gerade für unerfahrene Zahnärzte eine hilfreiche Unterstützung.

Studienlage

Wissenschaftliche Studien, die CNNs erfolgreich anwenden, um zahnmedizinische Strukturen (Zähne, Knochen) oder Pathologien (Karies, apikale Läsionen) zu detektieren und klassifizieren, verwenden meist kleine Datensätze (< 10.000 Bilder). Ein breites und experimentelles Methodenspektrum und eine geringe Berichtsqualität führen dazu, dass die Mehrzahl der Studien und die entwickelten KI-Lösungen oft nicht robust und generalisierbar sind.^{8,9} Zudem ist der klinische Einsatz von KI-Anwendungen bisher nur in den seltensten Fällen untersucht worden. Eine wissenschaftlich fundierte mehrdimensionale Bewertung des Nutzens für den Patienten durch KI-Anwendungen findet bisher zu selten statt.

Dort, wo allerdings ein solcher Nutzen evaluiert wird, sind die Ergebnisse vielversprechend: Unsere Arbeitsgruppe hat in einer Studie ein CNN zur Detektion von Karies in Bissflügelaufnahmen untersucht. Hierbei konnte eine signifikant bessere Sensitivität des CNN im Vergleich zu Zahnärzten zur Erkennung früher Karies gezeigt werden (für vorangeschrittene

Karies war der Unterschied begrenzt).¹⁰ Bei Einsatz eines solchen CNNs in der Praxis könnten Zahnärzte frühzeitiger und weniger invasiv Karies therapieren, was hilft, Zähne langfristig zu erhalten.^{11,12}

Zahnärzte sollten verstehen, wie KI-basierte Bilddiagnostik funktioniert und entsprechende Softwareanwendungen entwickelt werden. Sie sollten auch in die Lage versetzt werden, KI-Anwendungen kritisch zu begutachten. Im Folgenden geben wir einen Überblick über die Entwicklungsschritte einer KI-gestützten Anwendung von der Planung bis hin zur klinischen Anwendung.

Von der fundierten Planung zum klinisch anwendbaren Algorithmus

Erster Schritt: Definition des Anwendungszieles sowie der notwendigen Datengrundlage

Es ist wichtig, frühzeitig das Ziel und den Umfang der KI-Anwendung zu definieren. Anwendungsziele können zum Beispiel die Detektion von Kariesläsionen in Bissflügelaufnahmen oder apikalen Läsionen auf Panoramaschichtaufnahmen sein. In dieser frühen Phase sollten bereits regulatorische Anforderungen, Ethik und Datenschutz berücksichtigt und eingeplant werden.

Ein Schlüsselfaktor bei der Entwicklung von KI-Modellen sind Daten. Um einen generalisierbaren Algorithmus zu entwickeln, sollten möglichst Daten aus verschiedenen Datenquellen (Kliniken, Patientengruppen, Geräteherstellern) genutzt werden, damit das Modell letztendlich generalisierbare und robuste Vorhersagen treffen kann. Insbesondere in der Zahnmedizin sind Datensätze häufig klein und wenig repräsentativ. Das heißt wiederum, dass zum Beispiel eine Pathologie unterrepräsentiert ist, was das Training von KI-Modellen erschwert. Dem kann durch bestimmte Strategien wie z. B. Datenaugmentierung begegnet werden.

Zweiter Schritt: Modellentwicklung

Die Entwicklung eines KI-Modells erfolgt durch das sogenannte Training. Auf dem Trainingsdatensatz wird üblicherweise zunächst durch Zahnärzte das Anwendungsziel (apikale Läsion, Karies) markiert

(mit einem Kästchen eingegrenzt oder ausgemalt). Diesen Prozess nennt man Annotation. Oftmals werden die Bilder nicht nur von einem, sondern von mehreren Ärzten annotiert, um einen gewissen Qualitätsstandard sicherzustellen und die individuelle Varianz bei der Befundung zu überwinden. Zum Training von KI-Modellen werden dann Datensätze aus dem jeweiligen Bild und den zugeordneten Koordinaten der Annotation (apikale Läsion, Karies) eingesetzt.

Vorab muss entschieden werden, welcher Modelltyp eingesetzt werden soll: Unterschiedliche Modelle erfordern unterschiedliche Herangehensweisen. Oftmals wird ein Klassifizierungsmodell angewendet, bei dem das Bild mit einer relativ unspezifischen Information versehen ist, wie zum Beispiel „eine Kariesläsion ist am Bild vorhanden?“. Ein Modell, das auf einen solchen Datensatz trainiert wird, kann dann auch genau eine solche Frage beantworten („Ja, dieses Bild enthält Karies“); es wird nicht ausgehen, wo im Bild sich die Kariesläsion befindet (weil diese Informationen auch nicht Teil der Eingangsdaten waren).

Eine andere Möglichkeit stellen Detektionsmodelle dar, bei denen Zielobjekte (z.B. Karies) mit einem Kästchen ausgewiesen werden. Trainiert auf einem Datensatz aus Bildern und zugeordneten Kästchen, wird das Modell schlussendlich auch solche Kästchen zur Darstellung etwaiger Detektionen auf neuen Bildern ausgeben. Verwendet man Segmentierungsmodelle, werden Annotationen pixelbasiert vorgenommen, entsprechend trainierte Modelle heben dann die gesuchten Objekte pixelweise, z.B. farblich, auf dem zu analysierenden Bild hervor (Abb. 1). Sind ausreichend Daten annotiert, kann das Modell trainiert werden. Durch Wiederholung und Iteration wird das neuronale Netzwerk optimiert, indem der Vorhersagefehler minimiert wird. Ein trainiertes neuronales Netzwerk ist dann in der Lage, auf neuen Daten Vorhersagen mit sehr hoher Genauigkeit zu treffen.

Dritter Schritt: Testen

Ist das KI-Modell trainiert, muss geprüft werden, wie gut das Modell auf bisher ungesehenen Bildern funktioniert. Bei der Entwicklung von Modellen ist es oft eine der größten Herausforderungen, für

solch einen Testdatensatz einen soliden „Goldstandard“ zu definieren. In Laborstudien wird dieser Goldstandard oft durch einen histologisch gesicherten Befund etabliert; dies ist klinisch kaum möglich. Ein geläufiger Ansatz ist die Mehrfachannotation desselben Bildes, zum Beispiel mit drei Ärzten. Das Modell kann dann an diesen neuen Bildern demonstrieren, „was es kann“: Hierzu werden nach der Testung Genauigkeitsmetriken wie die Sensitivität, die Spezifität oder die Fläche unter der sogenannten ROC-Kurve (Receiver-Operating-Characteristics; Grenzwertoptimierungskurve) eingesetzt.

Vierter Schritt: Klinische Implementierung

Mit den oben genannten Schritten kann unter idealen Umständen ein valides, klinisch einsetzbares KI-Modell entwickelt werden. Dieses gilt es, als nächstes in eine Software einzubetten, die wiederum als Medizinprodukt zertifiziert werden muss. Ist dies erfolgt, wird die Applikation im klinischen Alltag implementiert, bspw. über die Integration in die Patientenmanagementsoftware, die Bildverarbeitungssoftware eines Röntgengeräteherstellers oder als unabhängig laufende Befundungssoftware (Abb. 2).

In Deutschland gibt es bisher zwei Firmen, die mit ihrer KI-basierten Software die zahnmedizinische Bilddiagnostik unterstützen wollen und alle o.g. Schritte durchlaufen haben. Eine dieser zwei Firmen ist die dentalXrai GmbH, eine Ausgründung der Charité – Universitätsmedizin Berlin (die Autoren sind Mitgründer). Die an der Charité entwickelte Software bietet zurzeit die Analyse von Panoramaschichtaufnahmen und Bissflügelaufnahmen an. Das zweite Unternehmen, CellmatiQ mit Sitz in Hamburg, zielt darauf ab, die Auswertung und Befundung von Fernröntgenseitenbildern in der Kieferorthopädie zu erleichtern.

Zusammenfassung

KI-Anwendungen überschreiten gerade die Schwelle zum zahnärztlichen Alltag. Moderne KI-Software unter Rückgriff auf CNNs oder andere Ansätze des maschinellen Lernens werden in einem mehr-

schrittigen Prozess entwickelt und versprechen, den Zahnarzt in seiner Praxis zu unterstützen und zudem die Befund- und Reportqualität zu erhöhen. Fragen zur Generalisierbarkeit und Robustheit der Anwendungen sollten kritisch beleuchtet und der Alltagsnutzen solcher Anwendungen demonstriert werden.

Fotos: Prof. Dr. Falk Schwendicke

Literatur kann in der Redaktion unter dz-redaktion@oemus-media.de angefordert werden.

UNIV.-PROF. DR.
FALK SCHWENDICKE, MDPH

Direktor Abteilung für Orale Diagnostik, Digitale Zahnheilkunde und Versorgungsforschung
DGZ-Spezialist für Präventive und Restaurative Zahnerhaltung
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Abmannshäuser Straße 4–6
14197 Berlin