

## DENTISTA FOKUS

# ZUKUNFT DER ZAHNMEDIZIN

Liebe Leserinnen,

in unserer ersten Ausgabe der Dentista in diesem Jahr wenden wir uns der Zukunft der Zahnmedizin zu. Die Entwicklung von Wissenschaft und Technik schreitet rasch voran, weshalb es sich immer lohnt einen Blick auf Neuheiten und Innovationen zu werfen.

Ein zunehmend relevantes Thema ist die künstliche Intelligenz (KI). Was darunter verstanden wird und inwiefern KI in der Zahnmedizin eine Rolle spielt, erfahren Sie in dieser Ausgabe.

Wichtige Instrumente der zahnmedizinischen Diagnostik sind Intraoral-scanner. In einem weiteren Beitrag

wird erläutert, welche Systeme derzeit erhältlich sind, was sie unterscheidet und für welche konkreten Einsatzgebiete sie genutzt werden können.

Auch der 3-D-Druck setzt sich zunehmend in der Zahnmedizin durch und bietet modernes, effizientes Arbeiten. Im persönlichen Erfahrungsbericht wird beschrieben, wie man diese Systeme in der Praxis integrieren kann und welche Vorteile sie bieten.

Bei all diesen Themen ist die Fortbildung ein wichtiger unablässiger Aspekt. Berufstätige Frauen zwischen Karriere und Familie benötigen an dieser Stelle ein auf sie zugeschnittenes Format. Das Beispiel des CEREC-Kurses für Zahnärztinnen in

München zeigt eindrucksvoll, wie das erfolgreich gelingen kann. Ich hoffe, Sie sind gut in das neue Jahr gestartet, und wünsche Ihnen viel Vergnügen und Gewinn beim Lesen der Dentista



Ihre  
**Susann Lochthofen**

## KI – Was ist das? Eine Begriffseinordnung im Kontext der Zahnmedizin

Die Verbreitung und auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) sind in den letzten Jahren sicherlich die wichtigsten Innovationstreiber im Gesundheitswesen. Die medizinische sowie die dentomaxillofaziale Radiologie (DMFR) sind in der Medizin bzw. Zahnmedizin momentan die Fächer, in welchen KI-Möglichkeiten wohl am häufigsten erprobt und auch bereits im Einsatz sind. In der DMFR fokussieren die KI-basierten Algorithmen gegenwärtig auf vier Hauptanwendungen:

- die allgemeine Verbesserung der radiologischen Bildqualität,

- die automatische Erkennung von Zähnen und Implantaten einschließlich des rekonstruktiven Versorgungsgrads,
- die Diagnose dentaler und oraler Pathologien sowie
- die Lokalisierung anatomischer Orientierungspunkte für die kieferorthopädische Behandlungsplanung.

KI ist auch ein Promotor für klinisch-technische, das heißt vor allem rekonstruktive Arbeitsabläufe in der Zahnmedizin. Die derzeit prominentesten Bereiche sind dabei das „Rapid prototy-

ping“ (RP) in Kombination mit „Intraoral optical scanning“ (IOS) und „Augmented reality“/„Virtual reality“ (AR/VR). Basierend auf einer wachsenden Menge von digitalen Gesundheitsdaten hat KI das Potenzial, die Routine-Workflows aller zahnärztlichen Disziplinen zu vereinfachen. Insgesamt kann die KI als Türöffner und treibende Kraft für die Entwicklung von der rein evidenzbasierten hin zur personalisierten Zahnmedizin gesehen werden.



## Einleitung und Begriffsbestimmung

Die Verbreitung und auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI bzw. im Englischen „Artificial intelligence“, AI) hat in den letzten Jahren im Gesundheitswesen deutlich zugenommen, was unter anderem auch in der breiten Öffentlichkeit durch eine konstante Medienpräsenz dieser Thematik wahrgenommen wird. KI umfasst dabei Technologien, welche es dem Computer bzw. Softwareprogrammen erlauben, auf der Basis von Algorithmen die Umgebung zu analysieren, menschliches Verhalten nachzuahmen und Aufgaben selbstständig zu lösen. Als einer der Pioniere in der KI gilt heute der britische Mathematiker Alan Turing (1912–1954), der schon in den frühen 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts die These aufstellte, dass Computer in der Zukunft wie Menschen denken könnten. Der sogenannte Turing-Test sollte dabei prüfen, ob ein Computer zu einem dem Menschen ebenbürtigen Denkvermögen fähig bzw. auch die Maschine von einem menschlichen Wesen zu unterscheiden ist<sup>18</sup>.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und auch zu Beginn der 2000er-Jahre konnte die KI nicht wirklich in der Medizin Fuß fassen. Trotz einiger Höhenflüge kam es in der dieser Zeitperiode immer wieder zu Ernüchterungen und Enttäuschungen. Dies änderte sich erst grundlegend vor etwas mehr als einer Dekade mit der Einführung des „Deep learning“. Über den Zugang von Computern zu großen Datensätzen wurde hier mithilfe bestimmter Algorithmen auf der Basis von künstlichen neuronalen Netzwerken eine Erkennung von Mustern möglich, besonders auch zur Strukturidentifikation von Bilddateien<sup>20</sup>. Diese Technologie kann nun in der Medizin zur Diagnosefindung, Therapieentscheidung oder auch bei Verlaufsuntersuchungen eingesetzt werden.

## Einsatz der KI in der Medizin

Der Einsatz von KI im Gesundheitswesen soll zum einen sicherlich die stetig steigenden Kosten senken, da Computer im Vergleich zum Menschen in der Regel schneller, genauer bzw. mit geringerer Variabilität und auch effizienter große Datenmengen verarbeiten können. Zum anderen sollen auch die Patientenversorgung und -sicherheit verbessert werden. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von medizinischen Daten können Muster erkannt werden, was auch das Personal im Gesundheitswesen bei komplexen Entscheidungsfindungsprozessen unterstützt<sup>16</sup>. Ebenso von Vorteil scheint zu sein, dass die diagnostische Genauigkeit verbessert werden kann, dass also keine individuelle Variabilität etwa durch unterschiedliche menschliche Erfahrung und Expertise mehr vorhanden ist. Dies hilft, Fehldiagnosen zu vermeiden bzw. zu verringern<sup>24</sup>.

Eine Frage, welche in diesem Zusammenhang wiederholt gestellt wird, lautet: Werden KI-basierte Algorithmen bzw. Programme in Zukunft den Kliniker ersetzen? Im Prinzip kann dies mit einem klaren „Nein“ beantwortet werden. Moderne KI-Systeme – sofern überhaupt schon im ärztlichen Alltag implementiert – sollen den Kliniker primär unterstützen, da heißt sie machen beispielsweise anhand radiologischer Bilder auf potenzielle Pathologien aufmerksam und überlassen die relevanten, daraus resultierenden Entscheidungsprozesse dem Spezialisten. In der Pathologie könnten so Routineuntersuchungen durch eine automatische Bildauswertung unterstützt werden, was im Alltag zu einer Effizienzsteigerung führt sowie dem Pathologen Freiräume schafft, sich auf schwierige Fälle zu fokussieren<sup>23</sup>. Interessant wird es da, wo KI-Systeme es den Nichtspezialisten ermöglichen, mithilfe des Algorithmus komplexe Ent-

scheidungen bzw. Untersuchungen selber, also ohne initialen Austausch mit oder Hilfe von einem Facharzt durchzuführen. Beispielsweise können KI-basierte Systeme beim Hausarzt, das heißt in der Grundversorgung, unterstützende diagnostische Informationen bei Hautveränderungen zur Verfügung stellen. Bilder können in einer Hausarztpraxis gemacht und umgehend über ein Dermatologie-KI-System ausgewertet werden. So können rasch harmlose von Risikoläsionen der Haut unterschieden und nur noch Patienten mit auffälligen Befunden dem Dermatologen zugewiesen werden<sup>20</sup>.

Die medizinische und auch die dentomaxillofaziale Radiologie (DMFR) sind in der Medizin bzw. Zahnmedizin momentan die Fächer, in welchen KI-Möglichkeiten wohl am meisten erprobt und auch bereits im Einsatz sind<sup>2</sup>. Die Radiologie als jene Disziplin, die ja primär auf Bildgebung und der Interpretation dieser Daten basiert, wird in den nächsten Jahren und auch Jahrzehnten eine Schlüsselrolle in der Erforschung und Implementierung der KI-Technologie in der Allgemein- und Zahnmedizin einnehmen<sup>1</sup>. Um auch für das Fach Radiologie die bereits aufgeworfene Frage zu beantworten, ob KI-Entwicklungen nicht den Radiologen arbeitslos machen, sei hier folgendes zitiert: „AI won't replace radiologist, but radiologists who use AI will replace radiologists who don't.“<sup>21</sup>

## Einsatz der KI in der Zahnmedizin am Beispiel der dentomaxillofazialen Radiologie (DMFR)

Die KI in der DMFR wird erst Mitte der 90er-Jahre des letzten Jahrhunderts richtig zum Einsatz gebracht. Zu Beginn dominierten hier zweidimensionale (2-D)



radiologische Techniken, vor allem die Panoramaschichtaufnahme (PSA) und das Fernröntgenseitenbild (FRS). Hier werden vor allem Möglichkeiten zur diagnostischen Unterstützung bei der Kephalemetrie über eine automatisierte Erkennung der kephalometrischen Bezugspunkte des Schädels, zur Unterstützung bei der Knochenqualitätsanalyse (Osteoporose) oder auch zur Erkennung von parodontalen bzw. periapikalen Pathologien genutzt<sup>9</sup>. Der zunehmende Einsatz von dreidimensionalen (3-D) Bildgebungsverfahren in der Zahnmedizin hat auch die Entwicklung und den Einsatz von KI-Systemen für verschiedene klinische Probleme vorangetrieben. Die digitale Volumentomografie (DVT) und intraorale/faziale Scans sind hier aktuelle Quellen im Bereich von 3-D-Bild-basierenden KI-Systemen<sup>9</sup>.

KI kann in der zahnärztlichen Diagnostik ganz allgemein eingesetzt werden, um erstens die Bildqualität zu verbessern und zweitens die dentale Befunderhebung zu erleichtern. Eine Verbesserung kann einerseits durch die gezielte Reduktion der Strahlendosis, andererseits auch durch die automatische Optimierung des Röntgenbilds mithilfe von KI-Software erreicht werden, die eine Verminderung des Bildrauschens oder die Elimination von Artefakten durch prothetische Rekonstruktion vornimmt<sup>15</sup>. Eine wesentliche Arbeitserleichterung stellt die Option zur automatischen Befunderstellung dar. Anhand von radiologischen Aufnahmen, beispielsweise einer PSA, kann die automatische Zahn- und Implantaterkennung basierend auf der Klassifikation der FDI World Dental Federation erfolgen, sodass ein kompletter dentaler Befund generiert werden kann<sup>14,26</sup>. Hierbei sei hervorgehoben, dass der KI-generierte Befund nochmals von zahnärztlicher Seite kontrolliert und verifiziert werden muss.

Neben dieser eher administrativen Vereinfachung zur Identifikation von vor-

handenen respektive fehlenden Zähnen und ihrem restaurativen Status können aber auch dentale und orale Pathologien durch KI-Systeme automatisch im Röntgenbild erkannt werden. Orhan et al.<sup>17</sup> überprüften die Effizienz und Leistung eines „Deep learning“-Algorithmus anhand von DVT-Aufnahmen zur Erkennung und volumetrischen Vermessung periapikaler Läsionen. In dieser Studie lag die Erkennungsrate bei 92,8%. In einer weiteren klinischen Studie untersuchten Johari et al.<sup>13</sup> das Potenzial von „Deep learning“-Algorithmen zur Identifikation vertikaler Wurzelfrakturen im DVT und im intraoralen 2-D-Röntgenbild. Hierbei zeigten die Ergebnisse, dass das eingesetzte KI-Modell für 3-D-Aufnahmen eine höhere diagnostische Leistung erbrachte als für die 2-D-Einzelnröntgenbilder. Auch zur Diagnostik und Erkennung von Veränderungen der Mukosa in der Kieferhöhle unter Zuhilfenahme von DVT-Aufnahmen haben KI-basierte Algorithmen vielversprechende Ergebnisse gezeigt<sup>7</sup>.

Die korrekte Analyse der anatomischen Verhältnisse und Gesichtsproportionen ist die Grundlage für eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung. Die herkömmliche kieferorthopädische Analyse wird in der Regel anhand von kephalometrischen 2-D-Röntgenbildern durchgeführt, die aufgrund der Bildvergrößerung, der Überlagerung von Strukturen, des ungeeigneten Röntgenprojektionswinkels und der Patientenposition teils ungenau sein können. Seit der Einführung des DVT in der Kieferorthopädie wird die virtuelle Behandlungsplanung als mögliche Alternative bewertet<sup>22</sup>, wobei hier aber die Strahlendosis noch problematisch ist. Cheng et al.<sup>4</sup> haben einen ersten Algorithmus auf der Basis des maschinellen Lernens zur automatischen Lokalisierung eines wichtigen kephalometrischen Orientierungspunkts im DVT vorgestellt. In der Folge wurden mehrere KI-Algorithmen zur automati-

schon Lokalisierung diverser anatomischer Orientierungspunkte entwickelt. Diese Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen und in Zukunft werden hier sicherlich noch einige weitere Fortschritte zu verzeichnen sein<sup>8</sup>.

Es kann zusammenfassend festgehalten werden, dass sich in der DMFR die KI-basierten Algorithmen gegenwärtig auf vier Hauptanwendungen konzentrieren:

- die allgemeine Verbesserung der radiologischen Bildqualität,
- die automatische Erkennung von Zähnen und Implantaten einschließlich des rekonstruktiven Versorgungsgrads,
- die Diagnose dentaler und oraler/kraniofazialer Pathologien sowie
- die Lokalisierung anatomischer Orientierungspunkte für die kieferorthopädische Behandlungsplanung.

## Einsatz der KI in der Zahnmedizin am Beispiel des digitalen Workflows

KI ist auch der Promotor für klinische und technische Arbeitsabläufe in der Zahnmedizin. Die derzeit prominentesten Bereiche sind dabei das „Rapid prototyping“ (RP) in Kombination mit „Intraoral optical scanning“ (IOS) und „Augmented reality“/„Virtual reality“ (AR/VR; Abb. 1).

RP ermöglicht die additive Fertigung mithilfe von 3-D-Druckern zur automatisierten Verarbeitung und kostengünstigen Herstellung beliebiger Geometrien aus unterschiedlichen Materialien<sup>19</sup>. In der Zahnmedizin bietet RP durch die Nutzung digitaler Arbeitsabläufe mit IOS und die anschließende Herstellung von Zahnmodellen für die weitere Bearbeitung komplexer prothetischer Rekonstruktionen ein beachtliches Potenzial. Hierbei unterstützen KI-Algorithmen, die verwendeten Materialien effizient zu nutzen. Aber auch im Bereich des De-



**Abb. 1a bis e** Digitaler Workflow für die Therapie mit einer dreigliedrigen Implantatbrücke im Seitenzahnggebiet: Intraoralscan (IOS; a), virtuelles Design (b), CAD/CAM-gefrästes  $ZrO_2$ -Gerüst (c), definitive Rekonstruktion mit manueller Verblendung und verklebten TiBase-Abutments (Fa. Neoss, Köln; d), klinische Situation von okklusal mit eingesetzter Implantatbrücke (e).

signs von prothetischen Rekonstruktionen lassen sie sich für die automatische Optimierung des okklusalen Reliefs und zur Überprüfung der Verbinderstärke bei Brücken einsetzen. Erste Ergebnisse wurden für die Behandlung mit 3-D-gedrucktem festsitzendem Zahnersatz aus Zirkoniumdioxid ( $ZrO_2$ ) bereits publiziert<sup>5</sup>. Das bahnbrechende Potenzial der RP liegt in der Möglichkeit des 3-D-Bio-printing, sodass individuelle Geometrien nach Bedarf hergestellt werden können. Dies gelingt durch die Verwendung verschiedener Zellen, Wachstumsfaktoren und anderer Biomaterialien zur Schaffung und Nachahmung natürlicher Gewebemerkmale, die auf patientenspezifische Bedürfnisse zugeschnitten sind<sup>3</sup>.

AR ist eine interaktive Technologie, die eine reale Situation mit Computereanimationen anreichert, um die Realität mit virtuellen Inhalten zu erweitern. Im Gegensatz dazu verwendet VR nur simulierte computerisierte Umgebungen, ohne die Realität einzubeziehen<sup>25</sup>. Dabei können – je nach verwendeter Technik – visuelle, auditive und haptische Sinnesqualitäten integriert werden. AR/VR-Technologien gewinnen in allen Disziplinen der Zahnmedizin zunehmend an Bedeutung und bieten interessante Möglichkeiten sowohl zum Nutzen des Patienten als auch zur Unterstützung der Leistungserbringer bei ihren Behandlungsstrategien. Ein wesentliches Merkmal von AR/VR ist die Möglichkeit,

virtuelle Visualisierungen mit Aufnahmen des Patienten in physischer Bewegung abzugleichen. Dies eignet sich insbesondere für die Behandlung in komplexen oralen und maxillofazialen Rehabilitationen mit interdisziplinärer Beteiligung. Das ideale Behandlungsergebnis kann bereits im Vorfeld in das individuelle Patientenszenario eingearbeitet werden. So können z. B. verschiedene prothetische virtuelle Set-ups in Echtzeit auf eine vollständig nichtinvasive Weise getestet und bewertet werden. AR/VR kann helfen, dem Patienten die Auswirkungen verschiedener Therapieoptionen zu erklären und komplexe Behandlungen zu entmystifizieren. Gleichzeitig wird der Austausch zwischen den Zahnärzten

vereinfacht und effizienter gestaltet, was zu besser vorhersehbaren Behandlungsergebnissen führt<sup>10</sup>.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

In naher Zukunft wird KI mit ziemlicher Sicherheit die diagnostische Genauigkeit erhöhen, die Behandlungsplanung vereinfachen und somit zur Entwicklung personalisierter Arbeitsabläufe in der Zahnmedizin beitragen<sup>11</sup>. Momentan sind aber KI-basierte Programme in der Zahnmedizin lediglich schwache bzw. „narrow“ KI-Anwendungen, was bedeutet, dass sie nur für ganz spezifische Anwendungen programmiert wurden und dort Leistungen erbringen, die mit dem Menschen vergleichbar sind. Vernetztes Denken bzw. ein menschenähnlicher Prozess der Entscheidungsfindung und auch ein solches Verhalten ist (noch) nicht Realität<sup>6,18</sup>. Basierend auf einer wachsenden Menge von digitalen Gesundheitsdaten hat KI aber das Potenzial, die Routine-Workflows aller zahnärztlichen Disziplinen zu vereinfachen. Nicht nur die Krankenversorgung, auch die zahnmedizinische Ausbildung wird von KI-Systemen für personalisierte Curricula profitieren, die die Fähigkeiten der einzelnen Studenten berücksichtigen.

AR wird die Kommunikation mit Patienten erleichtern und die klinischen Arbeitsabläufe durch den Einsatz visuell geführter Protokolle verbessern. In diesem Kontext wird die Telezahnmedizin Möglichkeiten für den Fernkontakt zwischen Zahnärzten und Zahntechnikern schaffen und virtuelle Konsultationen von Patienten sowie die Nachsorge nach der Behandlung mit digitalen Applikationen erleichtern. Schließlich könnte ein personalisierter digitaler Zahnpass die individuelle Rehabilitation mit 3-D-gedruckten zahnmedizinischen Biomateri-

alien ermöglichen. Insgesamt kann die KI als Türöffner und treibende Kraft für die Entwicklung von der rein evidenzbasierten hin zur personalisierten Zahnmedizin gesehen werden<sup>12</sup>. Dennoch müssen ethische Bedenken diskutiert, ausgeräumt und internationale Richtlinien für das Datenmanagement und die Rechenleistung festgelegt werden, bevor eine breite Routineimplementierung erfolgen kann.

## Literatur

1. Bornstein MM. The crucial role of dentomaxillofacial radiology for AI research in dental medicine – Why it's time for our specialty to lead the way! *Dentomaxillofac Radiol* 2022;51(1):20229001.
2. Bonekamp D, Schlemmer HP. Künstliche Intelligenz (KI) in der Radiologie? Brauchen wir langfristig noch so viele Radiologen? *Urologie* 2022;61:392–399.
3. Bose S, Ke D, Sahasrabudhe H, Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of biomaterials. *Prog Mater Sci* 2018;93:45–111.
4. Cheng E, Chen J, Yang J et al. Automatic dent-landmark detection in 3-D CBCT dental volumes. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011;2011:6204–6207.
5. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater* 2019;35:825–846.
6. Huang MH, Rust R. Artificial intelligence in service. *J Serv Res* 2018;21:155–172.
7. Hung K, Ai QYH, King AD et al. Automatic detection and segmentation of morphological changes of maxillary sinus mucosa on cone-beam computed tomography images using a three-dimensional convolutional neural network. *Clin Oral Invest* 2022;26(5):3987–3998.
8. Hung K, Montalvo C, Tanaka R, Taisuke K, Bornstein MM. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofac Radiol* 2020;49(1):20190107.
9. Hung K, Yeung AWK, Tanaka R, Bornstein MM. Current applications, opportunities and limitations of A.I. for 3D imaging in dental research and practice. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17(12):4424.
10. Joda T, Gallucci GO, Wismeijer D, Zitzmann NU. Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review. *Comput Biol Med* 2019;108:93–100.
11. Joda T, Yeung AWK, Hung K, Zitzmann NU, Bornstein MM. Disruptive innovation in dentistry – What it is and what could be next. *J Dent Res* 2021;100(5):448–453.
12. Joda T, Zitzmann NU. Personalized workflows in reconstructive dentistry – Current possibilities and future opportunities. *Clin Oral Investig* 2022;26(6):4283–4290.
13. Johari M, Esmaili F, Andalib A, Garjani S, Saberkeri H. Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: An ex vivo study. *Dentomaxillofac Radiol* 2017;46(2):20160107.
14. Miki Y, Muramatsu C, Hayashi T, Zhou X et al. Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network. *Comput Biol Med* 2017;80:24–29.
15. Minnema J, van Eijnatten M, Hendriksen AA et al. Segmentation of dental cone-beam CT scans affected by metal artifacts using a mixed-scale dense convolutional neural network. *Med Phys* 2019;46(11):5027–5035.
16. Obermeyer Z, Emanuel EJ. Predicting the future – Big data, machine learning, and clinical medicine. *N Engl J Med* 2016;375(13):1216–1219.
17. Orhan K, Bayrakdar IS, Ezhov M, Kravtsov A, Ozyurek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J* 2020;53(5):680–689.
18. Pfannstiel MA. Künstliche Intelligenz im Gesundheitswesen. Entwicklungen, Beispiele und Perspektiven. Wiesbaden: Springer, 2022.
19. Quan H, Zhang T, Xu H et al. Photo-curing 3d printing technique and its challenges. *Bioact Mater* 2020;5(1):110–115.
20. Rathmes G, Krauthammer M. Künstliche Intelligenz in der Medizin: Chancen und Risiken. *Hausarzt Praxis* 2021;16(11):6–10.
21. Reardon S. Rise of robot radiologists. *Nature* 2019;576(7787):S54–S58.
22. Scarfe WC, Azevedo B, Toghyani S, Farman AG. Cone beam computed tomographic imaging in orthodontics. *Aust Dent J* 2017;62(Suppl 1):33–50.



23. Schwendicke F, Dommisch H, Krois J. Künstliche Intelligenz in der Bildanalytik. Chancen und Herausforderungen in der Parodontologie. Parodontologie 2020;31(4):417–423.
24. Summerton N, Cansdale M. Artificial intelligence and diagnosis in general practice. Br J Gen Pract 2019;69(684):324–325.
25. Sutherland J, Belec J, Sheikh A et al. Applying modern virtual and augmented reality technologies to medical images and models. J Digit Imaging 2019; 32(1):38–53.
26. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. Dentomaxillofac Radiol 2019;48(4):20180051.



**Michael M. Bornstein**

Prof. Dr. med. dent.  
Klinik für Oral Health & Medicine  
Universitäres Zentrum für Zahnmedizin  
Basel (UZB), Universität Basel  
Mattenstrasse 40, 4058 Basel, Schweiz  
E-Mail: michael.bornstein@unibas.ch

**Tim Joda**

Prof. Dr. med. dent., PhD  
Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin  
Zentrum für Zahnmedizin (ZZM)  
Universität Zürich, Schweiz  
und  
Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin  
Universitäres Zentrum für Zahnmedizin  
Basel (UZB)  
Universität Basel, Schweiz

*Erstveröffentlichung in Quintessenz 9/2022.*

