

Zur Digitalisierung von Abläufen und Verfahren in Praxis und Labor

Ein Beitrag von Prof. Dr. Martin Rosentritt, Dr. Michael Schmidt, Alexander Broll, M.Sc. und Prof. Dr. Sebastian Hahnel

Die digitale Zahnheilkunde zeichnet sich durch den Einsatz computergestützter Verfahren und Technologien in der Zahnarztpraxis und im zahntechnischen Labor aus. Sie umfasst die unterschiedlichsten Bereiche der Diagnostik und der Behandlungsplanung bis hin zur Kontrolle und dem Recall in der Zahnarztpraxis. Die Behandlung kann zudem durch die digitale Darstellung der klinischen Situation sowie durch die computergestützte Fertigung von Zahnersatz im Rahmen eines digitalen Workflows erfolgen. Hierdurch werden auch neue Werkstoffe für die klinische Anwendung in der Zahnmedizin erschlossen.¹ Um die Übersicht über die vielfältigen Materialoptionen und Verfahrensoptionen zu behalten, werden daher E-Learning Verfahren (E-Books, APPs, Podcasts, Tutorials) immer wichtiger.² Großes Potenzial ergibt sich aus der Analyse großer Datenmengen in den Bereichen der Krankheitsentstehung und -prävention sowie Therapie und Fertigung von optimal individualisiertem Zahnersatz. Viele Abläufe der digitalen Zahnheilkunde sind schneller und effektiver, wenn sich Zahnärzte, verschiedene Behandler, Zahntechniker und Patienten auf direktem digitalen Wege austauschen können.³

Zahnarztpraxis und Patient

Digitalisierte organisatorische Verfahren in der Zahnarztpraxis unterstützen das Praxisteam in diagnostischen und therapeutischen Abläufen. Für das Praxisteam und die Patienten ergeben sich Vorteile in der digitalen Terminplanung, die mit automatisierten Terminerinnerungen z. B. über E-Mail, SMS oder soziale Medien gekoppelt sein können.⁴ Die Patientenberatung kann durch den Einsatz digitaler Anamnesebögen und den Zugriff auf Patienteninformationen erheblich verbessert werden. Zudem besteht die Möglichkeit,

diese Beratung durch telemedizinische Sprechstunden zu ergänzen. Informationen und Termine können den Patienten rund um die Uhr zur Verfügung gestellt werden, sodass sie sich jederzeit zusätzlich oder tiefgreifend informieren können. Bilderkennungs- und Bildverarbeitungssoftware ermöglichen die individuelle Beratung durch Simulation des gewünschten Behandlungsergebnisses und der zu erwartenden klinischen Situation. Papierlose Verfahren wie ein digitales Wirtschaftssystem können in Labor und Praxis Zeit sparen und Fehlerquellen reduzieren.⁵

Über entsprechende Software-Systeme werden digitale intraorale Kameras, Scanner, Laser, digitales zwei- oder dreidimen-

sionales Röntgen oder die instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalytik für die Planung und Behandlung effektiv miteinander kombiniert. Produktspezifische Apps unterstützen den Zahnarzt bei Farb- oder Materialauswahl und können wichtige Informationen zur optimalen Verarbeitung der Materialien geben. Zudem können CAD/CAM-Systeme (CAD: Computer Aided Design; CAM: Computer Aided Manufacturing) für die Fertigung von Zahnersatz oder Hilfsteilen die Wertschöpfungskette der Praxis erweitern.

Labor

Auch zahntechnische Labore profitieren von der Digitalisierung der Abläufe und

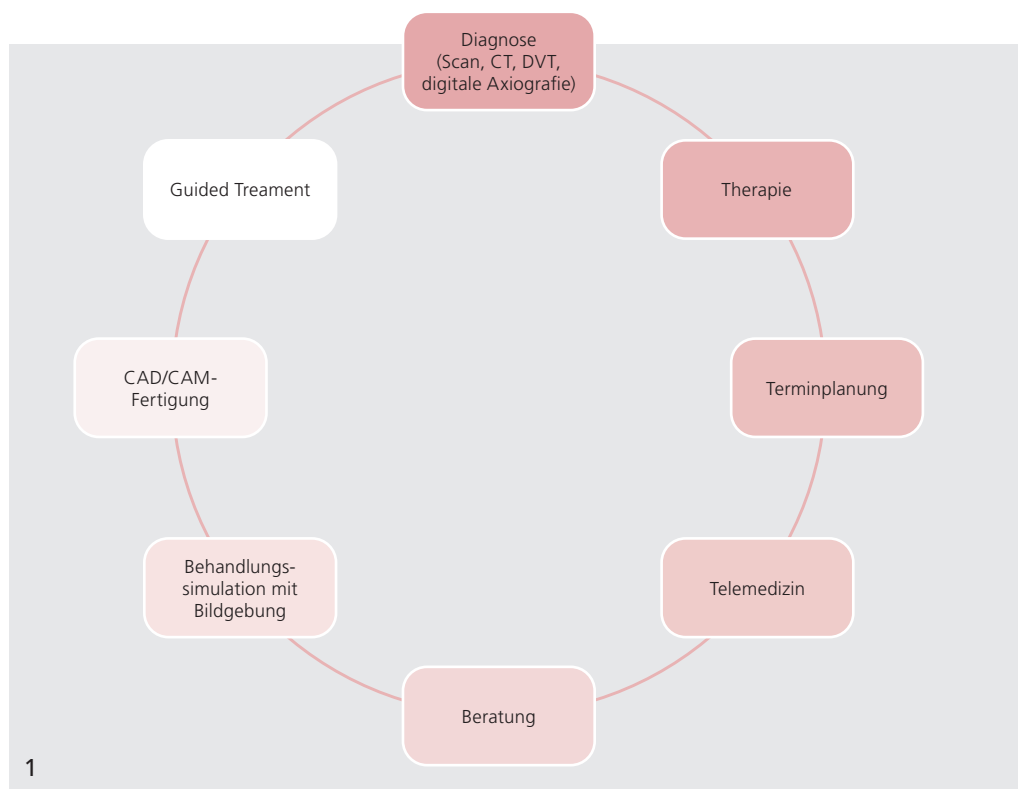


Abb. 1: Digitale Optionen in der Zahnarztpraxis.

Verfahren. Dies betrifft nicht nur die Warenwirtschaft, sondern auch die Planung und Fertigung von Zahnersatz. Die schnelle Kommunikation zwischen Zahn-techniker und Behandler sowie der digitale Austausch von Informationen wie Bildern unterstützen die zahn-technischen Abläufe und können Fahrtzeiten und Transportkosten reduzieren. Im zahn-technischen Labor steht aber sicher die computergestützte Fertigung von Zahnersatz im Vordergrund.⁶ Derartige Fertigungs-methoden erschließen weitere Materialien wie z. B. die Zirkonoxidkeramiken für die klinische Anwendung, ermöglichen die Kombination verschiedenster Verfahrenstechniken und den Laboralltag zeitlich und organisatorisch zu optimieren. Vorteile der computergestützten Fertigung sind die schnellen Fertigungszeiten, aber auch die exakte und schnelle Reproduzierbarkeit im Falle eines Versagens. Moderne CAD/CAM-Technologien lassen sich dabei prinzipiell in additive und subtraktive Verfahren unterteilen.⁷

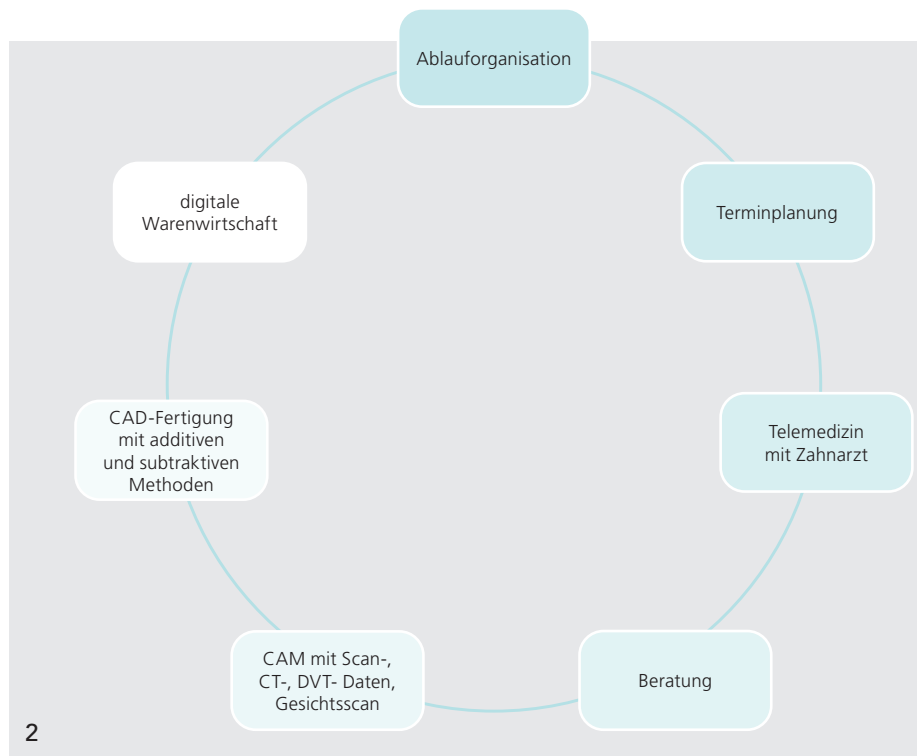


Abb. 2: Digitale Optionen im Zahntechnikerlabor.

Artificial Intelligence AI

Auch Deep Learning(DL)-Verfahren⁸ haben sich bereits in verschiedenen Bereichen der Zahnmedizin etabliert. Die Anwendungsbereiche umfassen dabei z.B. die Analyse von Röntgenbildern zur automatischen Identifikation von kariösen Läsionen oder die individualisierte Behandlungsplanung. Hierbei werden die Zahnärzte bei einer schnellen und präzisen Diagnose durch die künstliche Intelligenz (AI: Artificial Intelligence) unterstützt.

Künstliche Intelligenz wird zudem verwendet, um individualisierte Behandlungspläne für kieferorthopädische Patienten zu erstellen. Hierbei werden u. a. Aligner- oder Bracket-Platzierungen optimiert. Weiterhin können Patientendaten wie Mundhygienegewohnheiten und genetische Faktoren verwendet werden, um z. B. individuelle Risiken für Parodontitis vorherzusagen und damit die individuelle Prävention zu optimieren. Produktive künstliche AI-Verfahren halten auch in

Bereichen der zahn-technischen Fertigung Einzug: Gerade in der Konstruktion können derartige Systeme zur optimierten Gestaltung und schnelleren Planung des Zahnersatzes beitragen.

Somit kann ein digitaler Workflow sowohl für den Patienten als auch für das Praxis- und Laborteam überaus hilfreich sein. Der Verfahrensablauf kann in die Bereiche Scan, Konstruktion, Fertigung und Eingliederung unterteilt werden.⁹

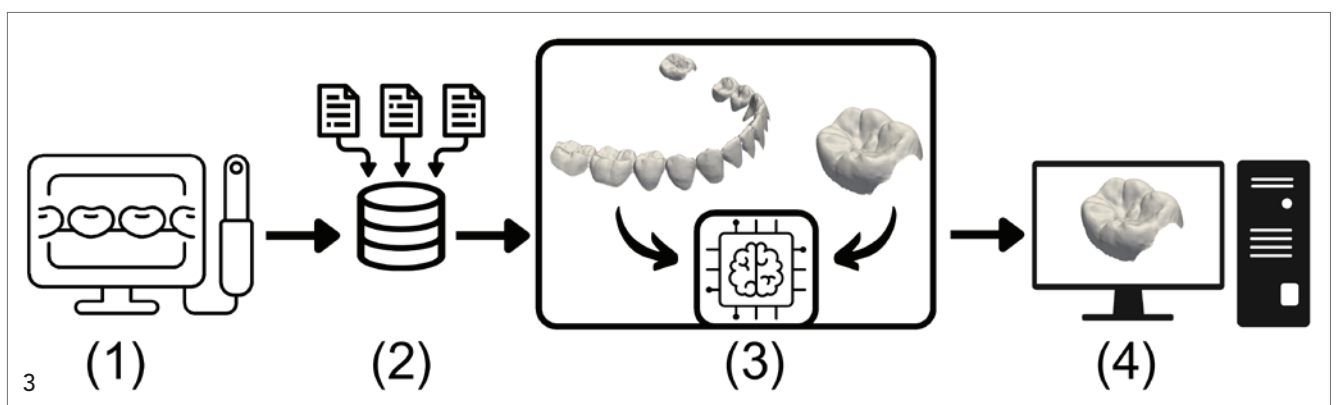


Abb. 3: AI-Verfahren: Erhebung von Daten durch 3D-Scans (1), Vorbereitung der Daten zur Erstellung eines Datensatzes (2), Training eines generativen Rekonstruktionsnetzwerks (3) und Integration in kommerzieller CAD/CAM-Software zur Anwendung in der Praxis (4).

Der Scan – Digitalisierung, Datenerfassung und Planung

Als erster Schritt eines digitalen dentalen Workflows müssen die Patientendaten für die weitere Verarbeitung digitalisiert werden. Die analogen Strukturen werden dabei zu digitalen Datensätzen umgewandelt. An erster Stelle des Ablaufs steht der intraorale Scan.¹⁰ Die digitale Abformung erfolgt in der Regel sehr schnell und mit hoher Genauigkeit. Die Lernkurve bei der Handhabung der auf den ersten Blick teilweise unhandlichen Geräte ist dabei sehr steil. Fehlerhafte Bereiche z. B. aufgrund von Feuchtigkeit können einfach nachgescannt und ergänzt werden. Fehlerquellen, die durch die einzelnen Schritte einer konventionellen Abformung entstehen können und evtl. auch eine zweite Abformung erfordern, werden damit in der Regel vermieden. Da die Situation sofort am Bildschirm gut beurteilbar ist, kann schnell und einfach nachgearbeitet werden, etwa durch Präparation und nochmaliges Scannen. Um die Daten weiter zu verarbeiten, werden keine Modelle benötigt. Limitierungen des intraoralen Scans ergeben sich unter anderem bei der Digitalisierung der Schleimhaut bei geringer oder fehlender Restbezaugung. Alternativ können daher auch direkt Abformungen oder über Abformungen erstellte Modelle mit Laborscannern digitalisiert werden. Weitere digitale Daten aus einer Erfassung von Funktionsdaten, 3D-Röntgendaten oder einem Gesichtsscan können mit dem Intraoralscan zur Erweiterung und Optimierung der zahnärztlichen Behandlung kombiniert werden.

So werden Zahnärzte und Zahntechniker beispielsweise bei der Planung und Insertion von Implantaten mit Daten aus DVT und Intraoralscan unterstützt.¹¹ Die Daten sind die Grundlage für eine 3D-Bohrschablone, die während des Eingriffes eine sichere Positionierung des Implantates mit hoher Präzision gewährleistet. Im Vorfeld kann zudem geklärt werden, ob genug Knochen für die Implantation vorhanden ist und ob Sicherheitsabstände zu Nerven, Kieferhöhle oder benachbarten Zahnwurzeln eingehalten werden können.

Mit 3D-Planungssoftware können auch endodontische Maßnahmen leichter kon-

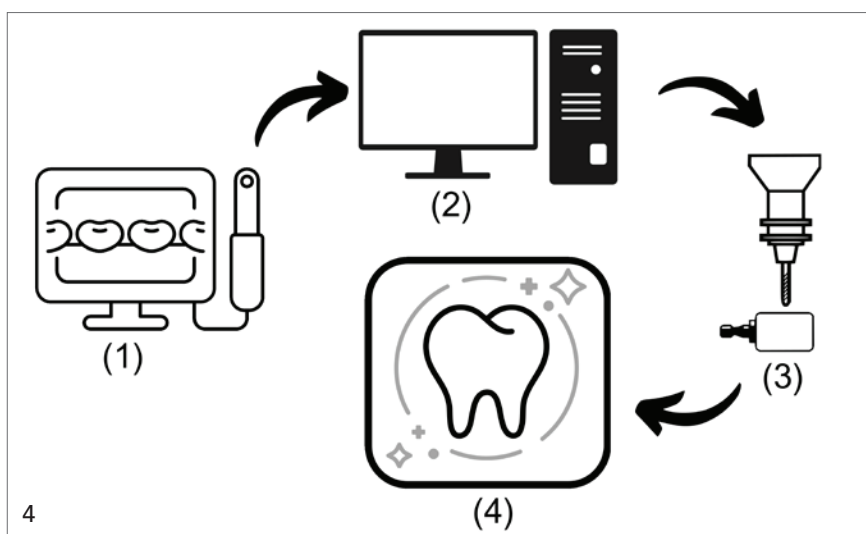


Abb. 4: Der digitale Workflow: Scan (1), CAD (2), CAM (3) und Eingliederung (4).

trolliert und optimiert werden, da die Behandlungsschritte simuliert und die Behandlung dementsprechend optimal vorbereitet werden kann. Auch eine computerunterstützte Tiefenkontrolle mithilfe eines elektrischen Längenmessgerätes sowie eine maschinelle Wurzelkanalabereitung sind bei der Wurzelkanalbehandlung effektiv und hilfreich.

Die Konstruktion – CAD (Computer Aided Design)

Auf Grundlage der digitalen Daten erfolgt die Konstruktion des Zahnersatzes. Prinzipiell können mithilfe des Computers unterschiedlichste Restaurationen von der Einzelzahnrestauration bis hin zur kompletten Prothese konstruiert werden. Auch in der Konstruktionsphase können z. B. 3D-Röntgendaten, Farbdarstellungen oder auch Gesichtsscans integriert werden. Durch die Zusammenführung mit

Kiefergelenkbewegungen (digitale Axio-graphie) in einen „virtuellen“ Artikulator kann die Gestaltung des Zahnersatzes auch funktionell angepasst werden.¹² Die digitalen Gestaltungsmöglichkeiten sind dabei im Vergleich zur manuellen Anpassung – etwa mit einem Wachsmesser – sehr einfach und schnell. Die Software bietet zudem technische Hilfe z. B. bei der Dimensionierung der Verbinder an.

Die einzelnen Fertigungsparameter wie Schichtstärken, Wandstärken oder Verbinderquerschnitte werden, in Abhängigkeit vom Werkstoff, in den Programmen gespeichert. Die Programme erlauben über entsprechende Analysetools auch Verlaufskontrollen, was etwa bei Therapien zur Änderung der vertikalen Kieferrelation Anwendung finden kann.

Verschiedene Methoden zur Gestaltung und Optimierung von Zahnersatz sind



Abb. 5: Bohrschablone mit Stützstrukturen im 3D-Drucker.

z. B. die Berechnung auf Basis eines statistischen Zahnmodells, die Spiegelung vorhandener Zähne oder auch die manuelle oder semiautomatisierte Verformung eines Standardzahnes. Neuere AI-gestützte Verfahren verzichten auf die explizite Definition eines Zahnmodells oder eines Vorlagenzahnes und nutzen stattdessen ein tiefes neuronales Netzwerkmodell, um die Zahnmorphologie aus einem Satz von Trainingsdaten zu gestalten. Derartige Verfahren erlauben die Konstruktion eines Zahnes in wenigen Sekunden.

Am Ende des CAD-Prozesses steht eine Datei (oft ein STL File), die die nötigen Informationen zur Fertigung des Zahnersatzes beinhaltet.

Die Fertigung – CAM-Verfahren

Zu Beginn des CAM-Prozesses wird der STL-Datensatz in eine für die Maschine lesbare Datei umgewandelt.¹³ Diese Datei enthält alle Fertigungsparameter wie die materialabhängigen Fräsbahnen, die zur Steuerung der Maschine benötigt werden.

Die subtraktiven Verfahren beruhen auf einem schleifenden oder fräsenden Abtrag. Der Zahnersatz wird aus einer Ronde oder einem Blank herausgefräst. Dabei werden Schleifer mit immer feineren Abstufungen eingesetzt. Etliche Materialien wie Kunststoffe, Composite, polymerinfiltrierte Netzwerke (PICN) oder einige Keramiktypen können nach der Fertigung poliert oder individualisiert werden, um sie anschließend direkt einzusetzen. Für etliche Glaskeramiken oder Zirkonoxidkeramiken muss nach der schleifenden Bearbeitung ein Kristallisations- oder Sinterbrand durchgeführt werden, damit die finalen Materialeigenschaften erreicht werden.¹

Werkstoffe für die subtraktive Verarbeitung sind hauptsächlich:

- Wachse
- Thermoplaste
- PMMA
- Composite
- Polymerinfiltriertes keramisches Netzwerk
- Dentale Glaskeramiken
- Zirkonoxidkeramiken

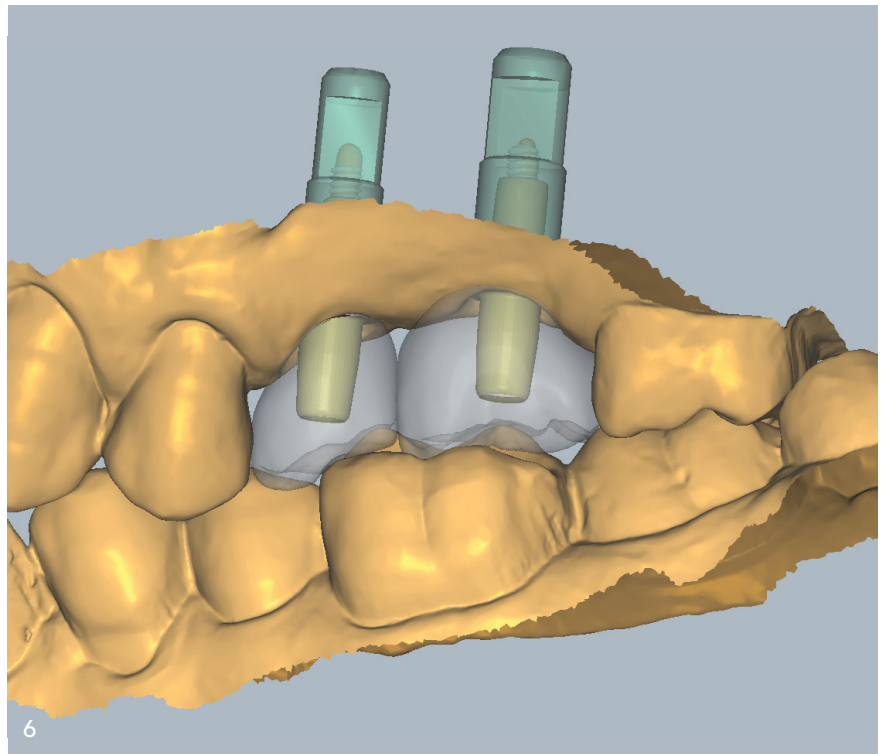


Abb. 6: CAM-Planung von Implantatkronen.

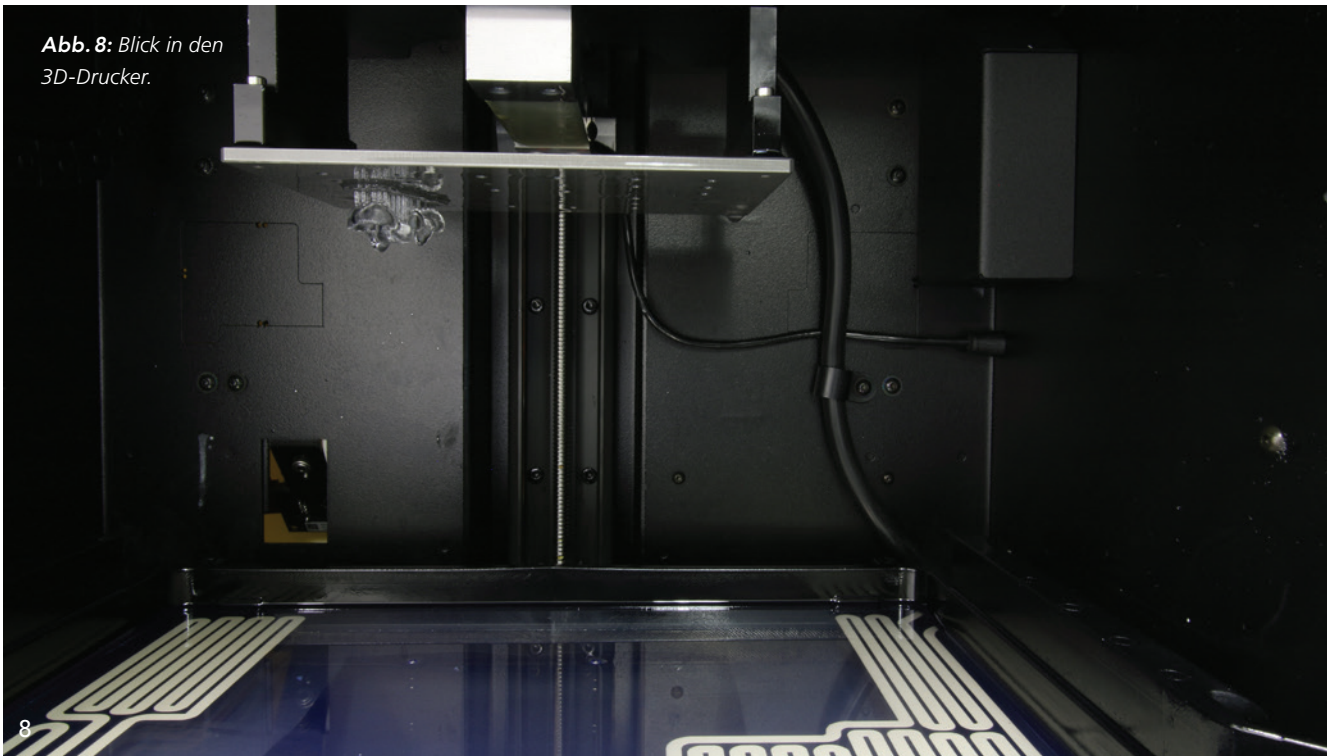
Die additiven Fertigungsverfahren^{14,15} umfassen auftragende Prozesse, bei dem das Objekt Schicht für Schicht hergestellt wird. Nach der Konstruktion wird das zu fertigende Objekt virtuell in eine Vielzahl von einzelnen virtuellen Schichten überführt (Slicing). Die einzelnen Schichten der Materialien müssen sich sehr gut zur finalen Konstruktion verbinden können. Die einzelnen Schichten können aus

- Flüssigkeit polymerisiert (Stereolithografie, Material Jetting),
- Schmelzen extrudiert (Fused Deposition Modeling),
- Pulver gesintert (Selective Laser Sintering, Binder Jetting)
- Folien (Metall oder Kunststoff) laminiert (Ultrasonic Additive Manufacturing, Laminated Object Manufacturing) werden.¹⁶



Abb. 7: Blick in die Fräsmaschine.

Abb. 8: Blick in den 3D-Drucker.



An den Druckprozess schließen sich Reinigungsprozesse an, um überschüssiges Material und Hilfsstrukturen zu entfernen.¹⁵ Um die Konversionsraten der chemischen Bindungen und damit die mechanischen Eigenschaften zu verbessern, müssen Konstruktionen aus Photopolymeren nachpolymerisiert werden. Auch einige keramische oder metallische Konstruktionen müssen final in einem Sinterungsprozess verfestigt werden, um die finalen Eigenschaften sicherzustellen.

Werkstoffe für die additive Verarbeitung sind hauptsächlich:

- druckbare Photopolymerisate (Wannenpolymerisation)
- Thermoplaste (Materialextusion)
- Zirkonoxid- und Lithiumsilikatkeramiken (Vat-Polymerisation, Binder Jetting oder Powder Bed Fusion)
- Metallische Legierungen (Selective Laser Melting)

Eingliederung und Nachkontrolle

Die Eingliederung der computergestützt gefertigten Restauration erfolgt analog zur klassischen Vorgehensweise. Hilfestellung bei der Auswahl und Farbe der Be-

festigungswerkstoffe geben herstellereigenspezifische Apps oder E-Books.¹⁷ Bei der Nachkontrolle und Überwachung können digitale Fotos oder computerbasierte Anamnesebögen unterstützen.

Zusammenfassung

Die digitalen Anwendungen in der Zahnheilkunde sind bereits weitverbreitet und unterstützen das Praxisteam, die Mitarbeiter des zahntechnischen Labors und die Patienten in vielen Bereichen. Die digitale Zahnheilkunde tangiert alle Bereiche der Zahnmedizin – ganz besonders die Diagnostik, die Behandlungsplanung, die geführte Behandlung, die computergestützte Fertigung von Zahnersatz sowie E-Learning-Methoden, Nachkontrolle

und Recall. Auch Verfahren der künstlichen Intelligenz haben Einzug in die Zahnmedizin gehalten und werden sicherlich in den nächsten Jahren noch weiter ausgebaut werden.



Prof. Dr. Martin Rosentritt



Dr. Michael Schmidt



Alexander Broll, M.Sc.



Prof. Dr. Sebastian Hahnel



Literatur



PROF. DR. MARTIN ROSENTRITT
DR. MICHAEL SCHMIDT
ALEXANDER BROLL, M.Sc.
PROF. DR. SEBASTIAN HAHNEL

UKR Universitätsklinikum Regensburg
 Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
 Franz-Josef-Strauß-Allee 11
 93053 Regensburg
 Tel.: +49 941 944-11892
 Martin.rosentritt@ukr.de