

Intraoralscanner – ein aktueller Überblick

M. Zimmermann, M. Kern
Zürich/Ettlingen

Das 1. Mobilfunktelefon diente ausschließlich dem festnetzunabhängigen Telefonieren. Bis heute hat sich daraus das Smartphone als universeller Alleskönner entwickelt, dessen multiples Betriebssystem weit mehr Kommunikationsmöglichkeiten bietet. Ein beispielhafter Fortschritt. Auch der 1. computergestützte Intraoralscanner, vor ca. 30 Jahren vorgestellt, ermöglichte lediglich eine berührungslose, lichteoptische Abformung und den Weitertransport der Konstruktionsdaten in das Verarbeitungsequipment. Heute ist der Intraoralscanner, zusammen mit einem Hochleistungscomputer, die Zentraleinheit für viele Applikationen, teilweise mit automatisierten Arbeitsschritten: zur Generierung von umfangreichen Scandaten, Schnittstelle zur Integration von Röntgenbefunden, Navigation für Implantatversorgungen, für Echtzeit-Simulationen prothetischer Therapielösungen, Dialogstation zum zahntechnischen Workflow, Steuereinheit für Ausgabegeräte von gefrästen Modellen, Bohrschablonen sowie Restaurationen und vieles mehr.

Während die Massenprodukte der Kommunikationstechnologie (z.B. Smartphone) zur Beschleunigung, Effizienz- und Komfortsteigerung beitragen, werden diese Attribute noch nicht selbstredend mit der digitalen Intraoralabformung assoziiert. Wenn heute 5–10% der Zahnärzte in Mitteleuropa die Möglichkeit der digitalen Intraoralabformung nutzen [1], bleibt unbestritten, dass die computergestützte Abformung für viele Indikationen dem Anwender mit dem Einstieg in den digitalen Workflow zahlreiche Vorteile in Praxis und Labor bietet. Angesichts der hierzulande noch herausfordernden Marktdurchdringung können die digitalen Abformsysteme in der Zahnarztpraxis mittelfristig noch ein großes Potenzial für Diagnostik und Therapie erschließen (● **Abb. 1**).

Mit der technischen Entwicklung und der Indikationsausweitung hat sich das Marktangebot an intraoralen, digital-optischen Abformsystemen erheblich vergrößert. Innovationen wie die Zusammenführung von Röntgenbefunden sowie die Navigation chirurgischer und prothetischer Behandlungsschritte in der Implantologie, zur Diagnostik von Zahnwanderungen und Rezessionen, ferner die computergestützte Zahnregulie-

rung in der Kieferorthopädie, geben der intraoralen Datentechnik weitere Perspektiven für umwälzende Veränderungen in der Zahnmedizin.

Zentrales Informationssystem

Die CAD/CAM-Technik lediglich auf die digitale Abformung einzuengen, greift zu kurz. Aufgrund der Optionen, die ein digitaler Datensatz bietet, eröffnen sich zusätzliche Perspektiven, die mit konventionellen Verfahren oftmals aufwändiger, komplizierter oder gar nicht durchführbar sind, so z.B. Analysemöglichkeiten wie Rezessions- und Verschleißmessungen. Die Vorteile des computergestützten Workflows lassen sich aus der Tatsache ableiten, dass alle Systeme das Potenzial für einen patientenfreundlichen Behandlungskomfort haben sowie eine erhebliche Zeitersparnis ohne Qualitätseinbußen bei der Konstruktion und Fertigung von konservierenden und prothetischen Restaurationen bieten und somit die Wirtschaftlichkeit in Praxis und Labor steigern.

Dabei ist durchaus vorstellbar, dass das digitale Intraoralabformsystem in Zukunft die zentrale Drehscheibe für das gesamte „Healthcare Paket“ unserer Patienten wird. Ein untrügliches Zeichen dafür, dass die computergestützte Zahnheilkunde langfristig konventionelle Anwendungen dominieren wird, zeigt auch ein Blick über den Tellerrand. In der inneren Medizin werden schon seit längerer Zeit Röntgenbefunde digital erstellt und analysiert, Ultraschall-dopplerscans, Laboranalysen und Histologiepräparate computergestützt untersucht, Untersuchungsbefunde miteinander verknüpft, differenzialtherapeutisch ausgewertet und sind interdisziplinär stets abrufbar. Es ist deshalb nicht die Frage ob, sondern wann die digitale intraorale Abformung für Befunderhebung, Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapiedurchführung, Kontrolle und Prävention zur Basistechnologie in der Zahnarztpraxis wird. Für den einzelnen Anwender stellt sich heutzutage nur die entscheidende Frage, wann für ihn und

sein Team, für sein Praxiskonzept sowie für seine „zahntechnische Werkbank“ der Einstieg sinnvoll ist.

Bisher wurden im Zusammenhang mit der konventionellen Elastomerabformung überwiegend vom Gipsmodell extraoral gewonnene Scandaten für die restaurative CAD-Konstruktion verwendet. Damit gelangen auch Ungenauigkeiten aufgrund von Schrumpfung, Dimensionsverzügen, Gipsexpansion und haptischer Bedingungen in den Datensatz. Damit ist jedes auf Basis dieses Arbeitsprozesses erzeugte, virtuelle Modell ungenau – einerlei, wie präzise der Scanvorgang an sich ist. Deshalb liegt es nahe, den Scanvorgang direkt in der Mundhöhle zu beginnen [2, 3]. Auch die Verwendung spezieller „scanbarer“ Abformelastomere kann die wesentliche Einschränkung der Vorgehensweise nicht aufheben, die darin besteht, dass die Messung umso präziser wird, je mehr der Strahlengang der zur Messung verwendeten Optik direkt auf die zu digitalisierende Oberfläche auftrifft.

Die Abbildungsgenauigkeit der intraoralen Abformung mit der lichtoptisch arbeitenden Mundkamera muss sich an den Ergebnissen der konventionellen Abformung mit Elastomeren messen lassen. Hier haben die optoelektronischen Aufnahmesysteme in den letzten Jahren deutlich an Genauigkeit und Zuverlässigkeit zugelegt und können nun den Anspruch erheben, die Abweichungstoleranz am Einzelzahn auf $20\mu\text{m}$, am Quadranten auf $35\mu\text{m}$ und bei der Ganzkieferabformung in den Korridor von 50 bis $80\mu\text{m}$ gebracht zu haben. Bei geeigneten Indikationen ist damit die Digitalabformung der konventionellen, analogen Abformung überlegen [4–7] (◉ **Abb. 2**).

Echtzeitverarbeitung und Analyseoptionen

Die digitale, intraorale Abformung bietet zusammen mit der Generierung eines Modelldatensatzes zahlreiche Vorteile. Schon während des Scans der Bezahnung wird die anatomische Situation, die Präparation und Präparationsgrenzen exakt und vergrößerbar auf dem Bildschirm dargestellt. Damit kann schon in dieser Phase das digitale Modell geprüft werden. Bei der analogen Abformung zeigt erst das Gipsmodell die entscheidenden Details. Bei Korrekturbedarf wird der betroffene Sektor digital ausgeschnitten; der Scan der Nachpräparation oder z. B. nach einer Blutung am Präparationsrand kann wiederholt und selektiv eingefügt werden.

Bei einem Scan können zunächst die kritischen Bereiche erfasst werden. Im Falle von aufwändigen Gesamtanierungen bietet sich die Möglichkeit, abschnittsweise in mehreren Sitzungen vorzugehen. Alle Scans sind in der Datenbank hinterlegt und können jederzeit aufgerufen werden.

Neben dem Re-Scan für selektive Areale kann die virtuelle Ausschneidefunktion dazu genutzt wer-



Abb. 1 Die digitale Abformung sorgt für eine „stille Revolution“ in der Zahnmedizin (Bild: AG Keramik).



Abb. 2 Die mittels Intraoralscanner erfolgte Abformung generiert ein virtuelles Modell mit einem Datensatz für den computergestützten Workflow (Quelle: Zimmermann).

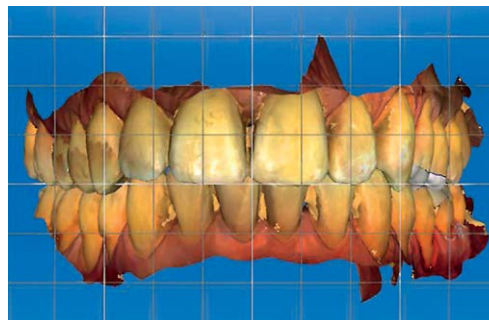


Abb. 3 Im realistischen Echtfarben-Modus sind Weichgewebe und Zahnhartsubstanz leicht voneinander zu unterscheiden. Digitale Fehlstellen können nachgesannt und ausgetauscht werden. System Cerec Omnicam (Quelle: Sirona).

den, um vor der eigentlichen Behandlung einen Überblickscan auszuführen. In der definitiven Präparations-Sitzung brauchen nur noch die behandlungswürdigen Zähne digital erfasst werden.

Da bestimmte intraorale Scansysteme hochrealistische Echtfarbmodelle erzeugen, können Oberflächen wie Zahnstrukturen und Gingivatextur besser erfasst werden. Somit kann man z. B. farbige Gingiva- und Zahnveränderungen analysieren, was ein Gipsmodell nicht ermöglicht. Auch selektive Zahnfarbmessungen können bei einigen Systemen durchgeführt werden (◉ **Abb. 3**).

Als Analyseoption können bei digitalen Modellen wichtige Präparationsparameter direkt am Bildschirm kontrolliert werden, z. B. die Einschubachse oder der Abstand zum Antagonisten. Ebenso können am Modell Restaurationsparameter wie die Mindestschichtstärke oder eine morphologisch und funktionell passende Restaurationsgestaltung überprüft werden. Ein digitales Modell unterliegt keinem Verschleiß, wie es beim Aufpassen einer

Abb. 4 Spezielle Software (OraCheck, Cyfex AG) ermöglicht den automatischen Match von 2 verschiedenen Intraoralscans (Quelle: Zimmermann).



Abb. 5 Spezielle Software prüft Veränderungen und somit die quantitative Detektion von Differenzen zwischen Baseline- und Follow-up-Scan (hier Gingivarezessionen nach Scaling und Rootplanning) (Quelle: Zimmermann).

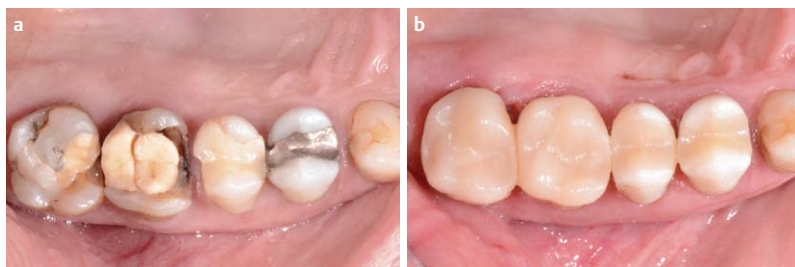
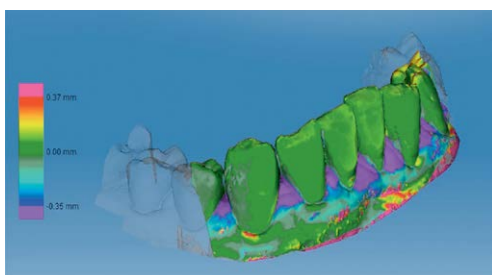


Abb. 6 Das Chairside-Verfahren erlaubt die Therapie von Einzelzahndefekten a mit vollkeramischen Werkstoffen innerhalb 1 Sitzung b (Quelle: Zimmermann).

zahntechnischen Arbeit am Gipsmodell eintreten kann.

Weitere Digitalanalysen ermöglichen die Prüfung von Veränderungen, z.B. von Zahnwanderungen, Zahnkippen, Zahnrotationen, Rezessionen und Abrasionen [8]. Hierzu genügt ein 3D-Vergleich eines Anfangsbefunds mit nachfolgenden Intraoralaufnahmen mittels einer geeigneten Software, z.B. OraCheck (Cyfex, CH-Zürich) (Abb. 4,5).

Digitale Modelle können im Vergleich zu analogen Modellen (Gips) einfacher und platzsparend archiviert werden. Ein späteres Auffinden auf der Festplatte durch Aufruf der Patientendatei ist jederzeit möglich.

Chairside-Option für Standardversorgungen

Die computergestützte Behandlung in 1 Sitzung bietet neben dem Patientenkomfort der digitalen Intraoralabformung und der Zeitersparnis noch weitere, therapeutische Vorteile: die Dentinwunde wird sofort bakterien dicht versiegelt, ein Provisorium mit dem Risiko von zirkulären Schmelzantendefekten an der Kavität durch mehrtägiges Tragen entfällt, die Restzahnhartsubstanz wie dünne Höckerwände wird sofort adhäsiv stabilisiert. Zudem wird die Kontamination der Kavität durch provisorischen Zement verhindert und der adhäsive Haftverbund nicht beeinträchtigt.

Klinische Studien bestätigen die hohe Überlebensrate von vollkeramischen Restaurationen, die mit dem Chairside-Verfahren gefertigt wurden. Untersuchungen über 20 Jahre belegen, dass die eingegliederten Inlays, Onlays, Teilkronen den „Goldstandard“ erreicht und teilweise übertroffen haben (Cerec).

Das Chairside-Verfahren ist auch für das Praxis-konzept ein nicht zu unterschätzendes „Marketinginstrument“. Patienten schätzen neuzeitliche Technologien und schließen dadurch auf die Kompetenz und Aufgeschlossenheit des Behandlers für moderne Therapieverfahren (Abb. 6).

Funktionelle Okklusion – digital generiert

Für das Funktionieren des stomatognathen Systems ist unerlässlich, dass die Funktionstüchtigkeit wieder hergestellt wird, besonders nach dem umfangreichen Auflösen der Stützzonen durch die Präparation. Bei einigen Scansystemen ist die nachträgliche Änderung der Bisslage jedoch nicht möglich. Fortschrittliche Intraoralscanner vermessen 3-dimensional ganze Quadranten und Kiefer einschließlich der Gegenbezahnung direkt am Patienten. Zusätzlich kann die statische Relation von Oberkiefer und Unterkiefer über Bissregistratur oder Bukkaltaufnahmen intraoral erfasst werden. Diese Information stellt die Ausgangsbasis dar, um die digitale Kauflächengestaltung und die Oberflächenrekonstruktion durchzuführen. Dafür hat der wissenschaftsbasierte Ansatz der Biogenerik (Cerec) ein Verfahren geschaffen, bei dem automatisch ein individuell passender Restaurationsvorschlag berechnet wird.

Die Simulation der dynamischen Okklusion ist bei einigen Systemen möglich. Dafür besteht seit einiger Zeit ein Ansatz zur Integration der dynamischen Artikulation unter Verwendung eines mittelwertigen, virtuellen Artikulator [9]. Ebenso ist eine Integration von individuellen Artikulationsparametern sowie die digitale Veränderung der Bisslage mittels Stützstift möglich.

Ferner sind heute digital gesteuerte Lösungen verfügbar, die eine umfassende Beurteilung der Funktionstüchtigkeit des stomatognathen Systems ermöglichen. Kiefergelenkspezifische Werte, wie z.B. das Bonwill-Dreieck und die Kondylenbahn, können aus der Röntgenaufnahme, aus den Werten des Gesichtsbogens oder aus diversen elektronischen Registriersystemen in das Modell der Intraoralabformung übernommen werden. Mit dieser Information kann die Bewegung des Unterkiefers relativ zum Oberkiefer exakt berechnet werden. Als vorteilhaft hat sich die Aufzeichnung der Bewegung in Form eines virtuellen FGP (functional generated pathway) erwiesen. Dies detektiert auf der konstruierten Restauration funktionelle Störkontakte.

Implantatversorgung

Scannersysteme mit implantologischer Planungssoftware übernehmen präoperativ die 3-dimensionale Darstellung der anatomischen Strukturen aus dem DVT und visualisieren die geplanten prothetischen Suprastrukturen. Die Darstellung und Zusammenführung dieser Komponenten erlauben im Vorwege des chirurgischen Eingriffs eine räumlich optimale, virtuelle Positionierung der Implantatpfeiler in Abstimmung mit den prothetischen Aufbauten. Für die exakte Bestimmung der Implantatposition ist bei einer digitalen Abformung ein implantatspezifischer Scankörper erforderlich [10], kompatibel zur verwendeten CAD-Software. Hierbei können auch die Implantatgeometrien bestimmt werden. Die Übertragung der virtuellen Implantatposition in den operativen Situs erfolgt mit einer Führungsbohrschablone, in der Führungsflächen für die Implantatbohrer eingelassen sind (Abb. 7, 8). Für die Auswahl passender Implantate bieten in letzter Zeit zunehmend Scanner-Hersteller die Möglichkeit des direkten Zugriffs durch Kooperationen mit Implantatherstellern.

Kommunikation und Teamwork

Die Weiterverarbeitung von digitalen Modellen erfolgt ohne Zeitverlust. Close-up-Fotos von Zahnung und Patientenmimik, Angaben zur Zahnfarbe und Oberflächenstruktur, funktionelle Scans können bei interdisziplinären Arbeiten angehängt werden. Durch den elektronischen Versand, der oftmals über Cloud-Systeme erfolgt, fallen kein Zeitverlust und keine Transportkosten an. Zahnarzt und Zahntechniker können sich sofort kurzschließen und die Situation sowie die Planung an den Bildschirmen besprechen.

Ein digitaler Datensatz kann mit anderen Datensätzen verknüpft werden, z.B. mit einem Gesichtsscan oder mit 3D-Röntgenaufnahmen (CT oder DVT) [11]. Dies ermöglicht eine zusätzliche, erweiterte und vor allem umfangreiche Diagnose- und Planungsmöglichkeit. Damit können Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen in die Vorbereitung und Therapie frühzeitig einbezogen werden.

Bei einigen Systemen fallen Gebühren für den durchgeführten Scan an. Oftmals werden die Datensätze zunächst an firmeneigene ‚Clouds‘ in einem verschlüsselten Dateiformat versendet – insoweit ist das System geschlossen. Ein offener STL-Datenexport (Stereolithography, Surface Tessellation Language) als Standardschnittstelle für die Weiterverarbeitung in einem beliebigen CAD-Programm ist oftmals erst nach dem Dateiversand von dieser Plattform möglich. In letzter Zeit bieten jedoch immer mehr Hersteller sogenannte offene Systeme an, also Intraoralscanner, die einen direkten STL-Datenversand erlauben (Abb. 9).

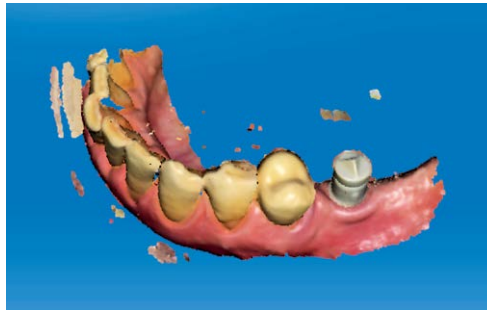


Abb. 7 Spezielle Implantat-Scankörper ermöglichen die exakte Bestimmung der Implantatposition (Quelle: Zimmermann).

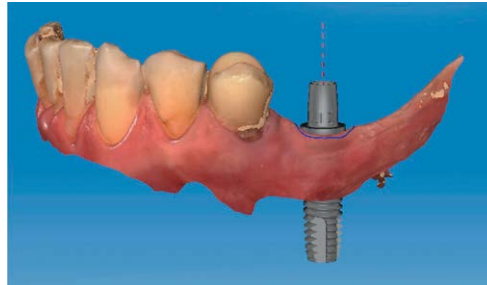


Abb. 8 Die definitive Implantatposition dient als Grundlage für das Restaurationsdesign im CAD-Design-Programm (Quelle: Zimmermann).

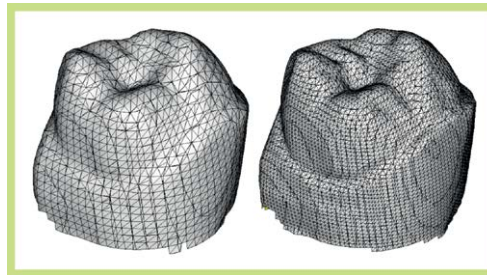


Abb. 9 Die Beschreibung der 3D-Oberfläche erfolgt im STL-Format – ein Dateiformat, bei dem die Oberfläche durch ein Dreiecks-Netzwerk dargestellt wird. Die Genauigkeit der Oberflächenwiedergabe richtet sich nach der Auflösung des Dreiecksnetzes. Die Datenkonvertierung in das STL-Format ermöglicht die Datenverarbeitung auf verschiedenen Konstruktions- und Frässystemen (Quelle: Zimmermann).

Moderne braucht Lernfähigkeit

Das Beherrschen von PC und Smartphone setzt wie bei vielen anderen, modernen Begleitern in unserem Alltag voraus, dass sich der Anwender mit den Funktionen vertraut macht. Mit dem Betreten der CAD/CAM-Technik ist der Nutzer gehalten, eine „Lernkurve“ zu durchlaufen, bis ein perfekter Modelldatensatz gelingt. Eine digitale Intraoralabformung setzt eine fehlerfreie Vermessung der Zahnung voraus. Dafür muss ein komplexer Scanpfad eingehalten werden [8]. Beim „guided scanning“ wird der Anwender Schritt für Schritt während des Scans instruiert. Dabei wird moderiert, wie die Intraoralkamera über den Zahnbogen zu führen ist. Diese Einweisung erleichtert die Aktion; die Ansage ist in einigen Systemen bereits integriert. Hilfreich ist auch, einen der CAD/CAM-Kurse für Intraoralabformung und Modellgenerierung zu belegen, um mit erfahrenen Zahnarzt-Trainern zu arbeiten. Die unterschiedliche Funktionsweise der Scanner bewirkt, dass das Scanergebnis nach derzeitigem Stand maßgeblich vom sachgerechten Scanpfad beeinflusst wird [12,13]. Unter Scanpfad versteht man, dass die Intraoralkamera in einem bestimmten Bewegungsmuster über die Oberflä-

chen geführt wird. Dadurch wird ein genaues, virtuelles Modell erzielt. Entscheidend ist, dass die Einzelaufnahmen, die das optische System erstellt, ausreichend präzise überlagert werden. Besonders bei der Erfassung von großen Arealen wie Quadranten und Ganzkieferbögen ist die Einhaltung einer für das jeweilige System spezifischen Scanstrategie unabdingbar. Oftmals gestaltet sich die Erfassung von strukturlosen und/oder steil abfallenden Arealen wie die Unterkieferfront als schwierig. Dies erfordert systemabhängig spezielle Strategien, die nach entsprechender Einweisung jedoch leicht beherrschbar sind. Die Intraoralaufnahme stößt heute eigentlich nur noch an ihr Limit, wenn Blut und Sulkusflüssigkeit die lichteoptische Abformung verhindern. Es können nur Areale wiedergegeben werden, die auch für die Kamera optisch erfassbar sind. Retraktionsfäden oder Aluminiumchlorid mit adstringierenden und hämostatischen Eigenschaften können helfen, den Sulkus zu öffnen.

Digitale Intraoral-Abformsysteme stellen sich vor

Die computergestützte Intraoralabformung dringt zunehmend in alle Fachbereiche der Zahnheilkunde ein. Die nachfolgende Betrachtung erfolgt nach Kriterien der verschiedenen Anwendungsvarianten wie chairside, labside, und nach Einsatzgebieten wie Implantologie, Kieferorthopädie. Neben der Oberflächenkonditionierung der Scanflächen (Kontrastmittel, Puder) werden Aufnahmeprinzip, Scanmodus, Farbdarstellung, Ausgabeformat, CAM-Verarbeitung dargestellt (☛ Abb. 10).

True Definition Scanner (3M Espe, St. Paul/USA, Seefeld)

Diese Scan-Technik beruht auf dem "Wavefront Sampling" als passives Triangulationsverfahren. Lediglich eine dünne Bepuderung der Zahnoberflächen ist erforderlich. Die Puderpartikel dienen

als per Zufallsprinzip verteilte Landmarken für das optische System. Das Objekt wird gleichzeitig von mehreren Kameras im Scannerkopf aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen. Durch das gleichzeitige Anpeilen der Landmarken aus verschiedenen Blickwinkeln kann das Prinzip mit dem Stereosehen des menschlichen Auges verglichen werden. Der Scanner erzeugt monochrome, digitale Datensätze, die als Videosequenz visualisiert werden. Die Präparationsgrenze kann für die Beurteilung zusätzlich 3-dimensional als vergrößertes Einzelbild dargestellt erfolgen. Eine Ausschneideoption ist nicht vorhanden; eine Rückspulfunktion ermöglicht das schrittweise Zurückgehen zum gewünschten Scanstatus. Aufnahme- oder Datenfehler können durch Nachscannen ausgewechselt werden. Der digitale Workflow verläuft über die firmeneigene Cloud-Plattform von 3M. Von dort aus ist ein Datenexport im offenen STL-Format möglich. Damit können die Datensätze in gängige CAD-Konstruktionsprogramme importiert (z. B. Exocad, 3Shape, Dental Wings), in generative Fertigungsverfahren oder Rapid-Prototyping-Anlagen geladen oder auch mit radiologischen Planungsprogrammen kombiniert werden. Der Labside-Einsatz ist etabliert, ein Chairside-Workflow ist noch in Planung. Für die Implantologie (Planung, Versorgung) besteht eine Kooperation mit Zugang zu Straumann-Implantaten. Die Zusammenarbeit mit Biomet 3i ermöglicht dem Anwender, Healing Abutments des BellaTek Encode Systems bereits als Scanpfosten für die spätere CAD/CAM-Restaurierung zu verwenden.

In der Kieferorthopädie kooperiert das Scansystem mit 3M Unitek zur Behandlung mit dem linguale Incognito-System sowie mit Align Technology für die Aligner-Therapie mit Invisalign.

Abb. 10 Der Praxisanwender hat heute die Wahl unter verschiedenen Intraoral-Scansystemen (Quelle: Zimmermann).



Trios 3 (3Shape, Kopenhagen, DK)

Das Aufnahmeprinzip ist die konfokale Mikroskopie. Parallel auf die zu scannende Oberfläche ausgesandte Lichtstrahlen werden im gleichen Strahlengang zurückgeworfen und proportional zum Objekt-Fokus-Abstand auf unterschiedlichen Tiefenschärfenebenen scharf dargestellt. Daraus wird das aufgenommene Objekt 3-dimensional berechnet und farbig abgebildet. Wie die Vorgängermodelle scannt Trios3 puderfrei mittels Videosequenz. Neben der Ausschneidefunktion gibt es eine Sperrfunktion für Oberflächen, die bei einem Nachscannen nicht verändert werden sollen. Der digitale Workflow läuft vorzugsweise über die firmeneigene Cloud-Plattform von 3Shape. Der Labside-Workflow ist aufgrund der von 3Shape entwickelten CAD-Software Dental Systems umfangreich etabliert. Es bestehen offizielle CAM-Anbindungen an zahlreiche Schleif- und Fräsmaschinen.

In der Kieferorthopädie ist die Planung und Anfertigung zahn- und kieferregulierender Apparaturen möglich. Für die Implantologie ist eine Planungssoftware für Implantate und zur Bohrschablonengestaltung verfügbar. Ein Chairside-Workflow ist noch nicht etabliert – befindet sich jedoch in der Planung.

iTero Element (Align Technology, San Jose, USA)

Der iTero-Scanner nutzt das Aufnahmeprinzip des konfokalen Laserscanners und arbeitet puderfrei. Im Gegensatz zu der Vorgängerversion (unter der Regie von Cadent und Straumann) erfasst er 6000 fps (frames per second) anstatt 800 fps mit 20 Scans/s. Der Scan erfolgt als monochrome Videosequenz, eine Echtfarben-Darstellung ist geplant. Der Scankopf wurde verkleinert. Der digitale Workflow verläuft über die firmeneigene Cloud-Plattform von MyAligntech. Ein STL-Datenexport ist möglich für die Verarbeitung bei Drittherstellern. Eine Chairside-Version ist in Planung. Der Schwerpunkt des Workflows liegt bei Align Technology naturgemäß in der Kieferorthopädie. So erfolgt z.B. die Datenverarbeitung mit der ClinCheck-Software für Invisalign-Behandlungen. Auch die Weiterverarbeitung mit anderer Planungssoftware wie SureSmile oder bei 3M Unitek ist im STL-Format möglich. Für die Implantologie bestehen Planungs- und Versorgungskooperationen mit Straumann Cares.

Cerec (Dentsply Sirona, Wals, AT)

Der Hersteller Sirona hat mit Cerec Bluecam, Omnicam und Apollo verschiedene Intraoralscanner im Portfolio. Bluecam generiert monochrome Einzelaufnahmen mit Triangulation, Apollo benötigt die Bepuderung und nutzt die konfokale Mikroskopie für die monochrome Videosequenz; das System fertigt ausschließlich Datensätze für die externe Restaurationsfertigung im ZT-Labor. Omnicam hat das Prinzip der Datenakquisition durch Aufnahmen einzelner Bilder verlassen und

erzeugt einen farbigen Videomodus im Triangulationsverfahren. Das System arbeitet puderfrei. Die Höheninformation wird durch die Aufprojektion eines Streifenlichtmusters in verschiedenen Wellenlängen gemessen. Der digitale Workflow erfolgt entweder direkt chairside oder über die Internet-Plattform Sirona Connect. Der Chairside-Workflow nutzt eine 2- bis 4-motorige 3+1 Achs-Schleifeinheit (Cerec MC/X/XL). Für den Labside-Workflow wird die 5-Achs-Simultan-Schleifeinheit MC X5 angesteuert. Für die Implantologie können, wahlweise unter Einsatz des DVT (Galileos oder XG 3D), navigierte Bohrschablonen chairside hergestellt werden. Für die Implantatplanung und Versorgung steht mit einem eigenen TI-Base-System die Möglichkeit zur Verfügung, eine Vielzahl verschiedener Implantatsysteme fremder Hersteller zu verwenden. Für die Kieferorthopädie ermöglicht die Software Cerec Ortho die Ganzkiefererfassung mittels „guided scanning“. Die Weiterverarbeitung der Daten zur kieferorthopädischen Planung und Therapie erfolgt durch Kooperationspartner, z. B. Invisalign.

CS 3500 (Carestream, Rochester, USA)

Dieser Scanner nutzt das Triangulationsverfahren und erzeugt puderfrei farbige Einzelbilder. Ein Farbindikationssystem signalisiert den Bearbeitungsstatus (grün für erfolgreichen Scan). Neben einer USB-Version ist eine Integration in die Behandlungseinheit geplant. Der digitale Workflow verläuft stets über die firmeneigene Cloud-Plattform CS Connect. Neben dem STL-Datenexport ist ein Labside-Workflow möglich. Für den Labside-Workflow wird die 1-motorige 3+1 Achs-Schleifmaschine CS 3000 genutzt. Der Ausschleifprozess ist jedoch auf Einzelzahnrestaurationen begrenzt; 3-gliedrige Brückengerüste sind in Vorbereitung. Für die Kieferorthopädie ist eine Modellanalyse mittels spezieller Software möglich. Ein Therapieplanungstool für KFO ist nicht erhältlich. Eine Planungssoftware für Implantate ist in Vorbereitung.

Dwio (Dental Wings, Montreal, CAN)

Das System benutzt als Aufnahmeprinzip das „Multiscan Imaging“, eine Videosequenz als Weiterentwicklung der Triangulation. Durch die unterschiedliche, räumliche Anordnung von 10 Kameras und 5 zugehörigen Projektoren werden die vom System projizierten Punkte auf der Zahnoberfläche aus diversen Perspektiven aufgenommen. Eine Puderung ist notwendig. Ein Kamerabstand von 5 bis 20 mm ist erforderlich; dieser wird von einer LED-Lampe mit Farbsignalen kontrolliert. Der sichelförmige Kamerakopf wird in einer Art Überkuppelungsbewegung schrittweise über die Kauflächen geführt. Die Steuerung der Software erfolgt mittels berührungslosen Gesten am Monitor. Die Scans sind monochrom, eine Farbversion ist geplant. Der digitale Work-

flow verläuft über die firmeneigene Cloud-Plattform. Der Datenexport erfolgt im offenen STL-Modus. Der Labside-Workflow ist etabliert, nicht hingegen ein Chairside-Modus. Die CAM-Anbindung kooperiert mit diversen Herstellern. Eine Implantatplanung wird bereitgestellt; eine implantologische, prothetische Rekonstruktion ist nicht verfügbar. Für die Kieferorthopädie ist eine Modellanalyse mittels spezieller Software möglich. Eine Software zur KFO-therapeutischen Planung ist nicht vorhanden.

Rainbow iOS (Dentium, Su-won, KOR)

Dieser puderfreie Echtfarben-Intraoralscanner nutzt die Triangulation mit Einzelbildern. Für das Restaurationsdesign ist eine externe Software erforderlich; eine Kooperation mit anderen Herstellern für die CAD-Konstruktion besteht. Der Labside-Workflow wird im STL-Format an systemeigene Schleifmaschinen geleitet. CAM-Anbindung an weitere Verarbeiter ist vorhanden. Chairside-Workflow, Einsatz in der Implantologie und Kieferorthopädie sind nicht möglich.

MIA3d (Densys 3D, Migdal Ha'Emek, IL)

Dieses System ist eine reine „stand-alone“-Lösung. Der Scanner arbeitet nach dem Triangulationsprinzip mit Monochrom-Abbildungen. Bepuderung der Zahnoberflächen ist erforderlich. Einziger etablierter Workflow ist der Datenexport im offenen STL-Format zur Weiterverarbeitung durch Dritte.

Aadva (GC, Leuven, B)

Der Intraoralscanner Aadva arbeitet puderfrei nach dem Prinzip der Stereovermessung. Bei diesem Stereoverfahren nehmen 2 Kameras Bilder aus unterschiedlichen Winkeln auf. Diese werden dann miteinander verglichen (ähnlich dem menschlichen Auge). Die Datenerfassung erfolgt monochrom als Videosequenz, eine Echtfarbendarstellung ist geplant. Der digitale Workflow verläuft über die firmeneigene Cloud-Plattform – GC Aadva DSP – oder über den direkten, offenen STL-Export. Die Labside-Weiterverarbeitung erfolgt mit GC-Software oder direkt an Drittverarbeiter im offenen STL-Format. Eine Chairside-Version ist nicht verfügbar. Für Implantologie und Kieferorthopädie sind noch keine Workflows etabliert.

Ormco Lythos (Ormco, Orange, USA)

Dieser Scanner, auf kieferorthopädische Anwendungen spezialisiert, generiert nur monochrome Scans. Das Aufnahmeprinzip ist die Triangulation, aber auf die Ganzkiefer-Erfassung begrenzt. Für die Datengenerierung wurde ein „guided scanning“ etabliert. Der Datenexport erfolgt über die Cloud-Plattform von Ormco im offenen STL-Format. Eine spezielle Software ermöglicht die kieferorthopädische Planung und die Fertigung verschiedener KFO-Appliances.

Condor (MFI, Gent, B)

Der kleine, kompakte Intraoralscanner arbeitet puderfrei und scannt die Zahnoberflächen farblich mittels „Stereophotogrammetrie“-Verfahren in einer hochrealistischen Echtfarben-Videosequenz. Der digitale Workflow erfolgt über den direkten Datenexport im offenen STL-Format. Ein Labside-Workflow durch Drittanbieter ist möglich. Implantologie und Kieferorthopädie sind noch keine Einsatzgebiete.

Planmeca (PlanScan, Helsinki, FIN)

Zusammen mit der Fräseinheit (PlanMill40) bildet der Intraoralscanner eine funktionsfähige Chairside-Unit als Weiterentwicklung des E4D-Systems (USA). Der Scanner arbeitet puderfrei nach dem Triangulationsprinzip und erzeugt Echtfarben. Die Aufnahme erfolgt als Videosequenz. Der digitale Labside-Workflow erfolgt über den Datenversand an die Planmeca Romexis-Cloud. Der Export im STL-Format ist möglich. Mit der Lab-Software können Schleifmaschinen angesteuert werden. Eine eigene CAD-Software ermöglicht den Chairside-Workflow. Für Implantologie und Kieferorthopädie gibt es keinen eigenständigen Workflow.

IntraScan (Zfx, Dachau)

Der Scanner arbeitet puderfrei und arbeitet nach dem Prinzip der konfokalen Mikroskopie in einer Videosequenz. Der digitale Workflow erfolgt als direkter STL-Export; dadurch ist die Zusammenarbeit mit einem externen Laborverarbeiter möglich. Der Hersteller bietet einen kompletten Labside-Workflow, der Scannen, Design-Software bis zur 5-Achs-Schleifmaschine einschließt. Ein Chairside-Workflow ist nicht vorhanden, ebenso keine Kooperation für Implantologie und Kieferorthopädie.

Auf einen Blick

Die Möglichkeiten der digitalen Abformung mit intraoral optischen Abformsystemen reichen heutzutage weit über die Einzelzahnrestauration hinaus. In Abhängigkeit von dem verwendeten System bieten sich heute dem Anwender umfassende Optionen bis hin zur prothetischen Rekonstruktion von Implantaten und dem Design von kieferorthopädischen Apparaturen. In Anbetracht der unterschiedlichen Features und Eigenschaften der Scansysteme ist für den Anwender oder dispositive Interessenten die Beantwortung folgender Fragen wichtig:

- ▶ Muss der Intraoralscanner puderfrei arbeiten?
Für intraoperative Implantatabformungen ist dies sicherlich zu befürworten. Puderpflichtige Systeme bedeuten jedoch nicht zwangsläufig schlechtere Ergebnisse; sie sind jedoch bei der Ganzkiefererfassung anspruchsvoller in der Handhabung.

- ▶ Erlaubt das Scanbild die unmittelbare Beurteilung der Präparationsgrenzen an der Behandlungseinheit, evtl. mit Vergrößerungsmodus?
- ▶ Ist hinsichtlich des Workflows ein geschlossenes System zu bevorzugen oder ist ein offenes System erwünscht? Geschlossene Systeme und deren Schnittstellen stützen sich auf die Kompetenz und auf das gesicherte Knowhow eines definitiven Herstellers. Beim offenen System können Datensätze im STL-Format zur weiteren CAM-Verarbeitung an Dritte weitergegeben werden. An Schnittstellen mit fremder Software handelt der Anwender eigenverantwortlich – unter Umständen können Kompatibilitätsprobleme auftreten.
- ▶ Welche Indikationen möchte ich abdecken? Will ich mich auf Einzelzahnrestaurationen beschränken oder sollen umfangreiche prothetische Restaurationen, auch auf Implantaten, durchgeführt werden?
- ▶ Möchte ich Restaurationen chairside herstellen und Patienten für Standardversorgungen möglichst in 1 Sitzung behandeln?
- ▶ Möchte ich mein Praxislabor in den digitalen Workflow einbeziehen oder meine Datensätze in ausgewählten Fällen an Fremdlabors geben?
- ▶ Mit welchem Implantatsystem muss mein Scansystem bzw. die weiterverarbeitende Software kompatibel sein?
- ▶ Sollen meine Datensätze mit anderen digitalen Systemen, z. B. mit DVT, fusionsfähig sein?

Die vorliegende Zusammenstellung der intraoralen Scansysteme soll eine Hilfestellung bei der Beantwortung dieser Fragen bieten und die Einschätzung des technischen Stands der digitalen Datenerfassung erleichtern. Zudem wird verdeutlicht, dass die digitale Intraoralabformung mit ihren mutiplen Möglichkeiten der Datenverarbeitung der konventionellen, analogen Abformung bereits heute in vielen Punkten deutlich überlegen ist. Für die Zukunft ist mit einer Erweiterung der Indikationsbereiche durch eine verstärkte Integration von Diagnose- und Therapiekonzepten zu rechnen. Dies wird zu einer weiteren Verbreitung von intraoralen Scansystemen führen. Vor die Frage gestellt, wann für den Zahnarzt der „Sprung in die digitale Zukunft“ angezeigt und sinnvoll ist, mag der Hinweis dienen, dass mit einem frühzeitigen Befassen die Lernkurve der Digitalabformung schneller durchlaufen und die therapeutischen sowie wirtschaftlichen Vorteile für die Praxis anhand konkreter Erfahrungen effizienter genutzt werden können.

Anmerkung

Dieser Artikel basiert auf der Publikation von Zimmermann M et al. Intraoral scanning systems – a current overview. *Int J Comput Dent* 2015; 18: 101–129

Interessenkonflikt: Es liegt kein Interessenkonflikt vor.

Literatur

- 1 Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures – a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res* 2015, doi:10.1111/clr.12600 (epub ahead of print)
- 2 Wöstmann B, Rehm P. Die digitale Abformung – der digitaler Workflow erfordert strukturierte Arbeitsabläufe. *Teamwork J Cont Dent Educ* 2012; 30–33
- 3 Brückel C, Rehm P, Seelbach P et al. Passgenauigkeit von Kronen nach optischer Abformung im Vergleich mit konventionellen Verfahren. *ZWR* 2012; 121: 394–401
- 4 Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impression. *Quintessence Int* 2015; 46: 9–17
- 5 Ender A, Mehl A. Full-arch scans: conventional versus digital impressions – an in-vitro study. *Int J Comput Dent* 2011; 14: 11–21
- 6 Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 1759–1764
- 7 Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S et al. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014; 18: 1687–1694
- 8 Zaruba M, Ender A, Mehl A. New applications for three-dimensional follow-up and quality control using optical impression systems and OraCheck. *Int J Comput Dent* 2014; 17: 53–64
- 9 Mehl A. A new concept for the integration of dynamic occlusion in the digital construction process. *Int J Comput Dent* 2012; 15: 109–123
- 10 Stimmelmayr M, Güth JF, Erdelt K et al. Digital evaluation of the reproducibility of implant scanbody fit – an in-vitro study. *Clin Oral Investig* 2012; 16: 851–856
- 11 Reiz SD, Neugebauer J, Karapetian VE et al. Cerec meets Galileos – integrated implantology for completely virtual implant planning. *Int J Comput Dent* 2014; 17: 145–157
- 12 Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent* 2013; 16: 11–21
- 13 Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impression. *Quintessence Int* 2015; 46: 9–17

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-107637>
 ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt
 2016; 125: 274–282
 © Georg Thieme Verlag KG
 Stuttgart · New York
 ISSN 0044-166X

Korrespondenzadresse

Manfred Kern
 Schriftführung AG Keramik
 kern.ag-keramik@t-online.de

Dr. Moritz Zimmermann
 Abt. Computergestützte
 Restaurative Zahnmedizin
 Universität Zürich
 moritz.zimmermann@zzm.uzh.ch