

Datensätze aus der Intraoral-Messkamera verändern die Restaurationstechnik.

# DIGITALISIERUNG STANDARDISIERT DIE PROZESSKETTE

Die digitale intraorale Abformung ist zu einem zentralen Bestandteil der computergestützten Restauration geworden. Lichtoptisch arbeitende Scansysteme ergänzen zur Zeit den konventionellen Elastomerabdruck und können ihn in Zukunft voraussichtlich auch ersetzen, sobald die Aufnahmetechnik im sub-gingivalen, blutungs- und sekretanfälligen Bereich weiter entwickelt ist. Der Beitrag erläutert die Arbeitsweise und Präzision der Systeme Cerec Bluecam, Sirona; C.O.S. Lava, 3M Espe und iTero, Cadent-Straumann.

Das Digitalverfahren führt optoelektronische Vermessungen der Zahnoberflächen im Patientenmund durch. Aus einer Vielzahl von Einzelmessungen, auch aus verschiedenen Aufnahmewinkeln, werden die Raumkoordinaten zu einem kompletten Modellsatz zusammen gefügt. Präparation, Lateralzähne, Antagonisten, Gegenbiss und die habituelle Schlussbissstellung werden zu dreidimensionalen Modellen gerechnet, die exakt die anatomische Situation darstellen.

Im CAD/CAM-Prozess dienen die virtuellen Modelle als Grundlage für die Konstruktion der Restauration auf dem Bildschirm und für das Formschleifen der Versorgung aus Keramik, Kunststoff (Langzeitprovisorien) oder Metall. Ferner kann mit dem Datensatz ein zahntechnisches Sägeschnittmodell aus Kunststoff hergestellt werden, um die Passung des ausgeschliffenen Gerüsts zu prüfen, die keramischen Verblendschichten aufzubringen und final die Okklusalfächen zu artikulieren. Die Modelle können direkt vom Datensatz gefräst, stereolithografisch aus Acrylat Laser-gehärtet oder im Rapid-Prototyping-Verfahren aus Wachs oder Kunststoff gefertigt werden. Dieser Arbeitsweg wird als „digitaler Workflow“ bezeichnet. Dadurch muss kein Gipsmodell mehr gegossen und kein Meistermodell extraoral digitalisiert werden, wie es bei der konventionellen Abformung mit Elastomeren noch notwendig ist.

Die Verbreitung der CAD/CAM-Technik in der restaurativen Zahnheilkunde basiert auf zwei Ansatzpunkten. Die Protagonisten des Chairside-Verfahrens – also des CAD/CAM-Prozess an der Behandlungseinheit – hatten zum Ziel, die Versorgung der Kavität und des Kronenstumpfes direkt mit Silikatkeramik in einer Sitzung durchzuführen. Für die Akquisition der Daten erforderte dies eine lichtoptisch arbeitende Messkamera für die Aufnahme der Präparation, eine Software zur CAD-Konstruktion auf dem Bildschirm und einen computergesteuerten Fräsautomaten an der Behandlungseinheit zum Ausschleifen der Restauration. Dieses Verfahren (Cerec) kann inzwischen auf eine 25jährige Erfahrung

zurückblicken. Der andere Ansatz für die CAD/CAM-Technik hängt mit der Nutzung von Hochleistungs-Oxidkeramiken für Kronen und Brücken zusammen, die seit den 90er Jahren Eingang in die prothetische Rehabilitation gefunden haben. Dieser Wandel zur metallfreien Vollkeramik war die konsequente und logische Weiterentwicklung restaurativer Werkstoffe und hat metallgetragene Versorgungen bereits weitgehend substituiert. Die Verarbeitung des mechanisch hoch belastbaren Materials wie Zirkonoxid-Keramik stellte jedoch die Bedingung, dass die Formgebung den Computereinsatz erfordert, um den Datensatz der CAD-Konstruktion in maschinenlesbare Fräsbefehle umzuwandeln und die festigkeitssteigernde Sinterschrumpfung zu kompensieren. Ferner hat die Computerisierung der Arbeitsschritte neue Türen geöffnet und die Prozesskette von der digitalen Intraoralaufnahme bis zur NC-gefrästen Verblendung prospektiv planbar gestaltet. Dadurch hat die Digitalisierung den Workflow von der Abformung an der Behandlungseinheit über das Modell bis zur Gerüstfertigung standardisiert und unter gleichbleibenden Bedingungen reproduzierbar gemacht. Das Überspringen vieler konventioneller Prozessschritte im zahntechnischen Labor hat den Arbeitsaufwand reduziert und somit die Voraussetzungen für ein wirtschaftliches Ergebnis verbessert.

## Fehlerfrei abformen

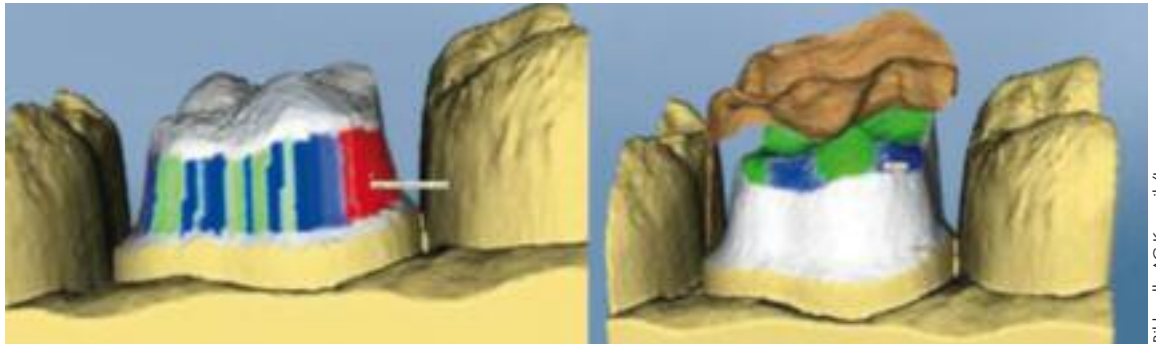
Auf dem 10. Keramiksymposium der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. (AG Keramik, Ettlingen/Deutschland), das alljährlich zusammen mit einer wissenschaftlichen Fachgesellschaft der DGZMK stattfindet und die Erfahrungen mit Vollkeramik und mit den CAD/CAM-Verfahren in Klinik und Praxis auf den Prüfstand nimmt, stellte Prof. Bernd Wöstmann, Leiter der Zahnärztlichen Prothetik an der Universität Giessen, die Fortschritte in der Digitalisierung der intraoralen Kieferabformung in den Mittelpunkt seiner Ausführungen.

### Literatur

Die Literaturliste finden Sie unter [www.teamwork-media.de](http://www.teamwork-media.de) in der linken Navigationsleiste unter „Journale online“



Abb. 1  
Der virtuelle „Präp-Check“ kontrolliert die Präparationsgrenzen sowie die okklusale Reduktion mit Gegenbiss



Bildquelle: AG Keramik/Lauer

Es ist für jeden Zahnarzt eine Selbstverständlichkeit, dass indirekt gefertigte Restaurationen passgenau und möglichst ohne weitere Korrekturen klinisch eingesetzt werden können. Voraussetzung hierfür ist die exakte Abformung der Präparation und der Gebissituation. Prof. Wöstmann führte aus, dass auf dem Weg zu einer exakten Restauration die Abbildung der intraoralen Situation auf einem realen oder auch auf einem virtuellen Modell einen ganz entscheidenden Schritt darstellt, da die Herstellung definitiver Restaurationen – vom Inlay bis hin zu mehrgliedrigen Brücken – ausschliesslich indirekt möglich ist. Aufgrund werkstofflicher und haptischer Bedingungen ist es bis heute nicht machbar, über die klassische Abformung mit Elastomeren ein „fehlerfreies“ konventionelles (Gips)modell herzustellen. Auch das individuelle Geschick des Zahnarztes und des Zahntechnikers spielt hierbei eine Rolle – eine Situation, die sich kaum standardisieren lässt. Damit ist auch 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 durchzuführen. Nachdem der labortechnische Prozess bei der Herstellung vollkeramischer Restaurationen ohne CAD/CAM-Einsatz nur noch schwer vorstellbar ist, hat mit der Einführung lichtoptischer Scans zur intraoralen Abformung der nächste Schritt zur vollständigen Digitalisierung der Prozesskette von der Präparation bis zur Eingliederung des Zahnersatzes bereits begonnen. Der entscheidende Vorteil der digitalen Abformung liegt darin, dass unmittelbar nach dem Scannen eine dreidimensionale Ansicht der Präparation verfügbar ist, mit der unter multiplen Perspektiven und Detailansichten Präparationsfehler detektiert und sofort behoben werden können (Abb. 1). Neben dieser Standardisierung liegt der weitere Nutzen der Digitaldaten in der direkten Übertragung der klinischen Situation auf die weiteren, zahntechnischen Arbeitsschritte.

Abb. 2  
Kurzweiliges Blaulicht mit Streifenlichtprojektion; System Cerec

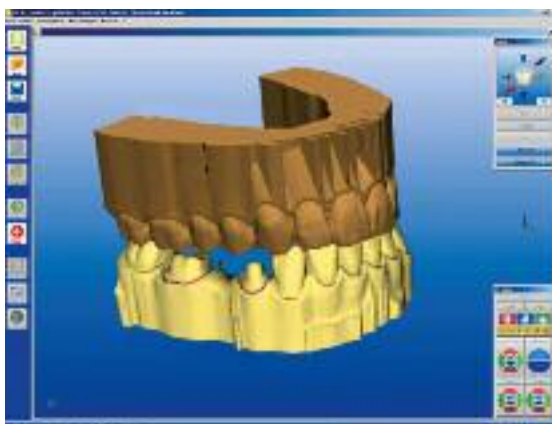


Bildquelle: Ender

Die intraoralen Scansysteme ähneln sich in ihrer klinischen Handhabung, unterscheiden sich jedoch in ihren Funktionsprinzipien. Technisch sind die Systeme ähnlich aufgebaut; sie alle bilden die Zahnsituation in Echtzeit im 3D-Modus auf dem Bildschirm ab. Allerdings differenzieren die Verfahren bei der Gewinnung dreidimensionaler Datensätze (Cerec Bluecam/Sirona, C.O.S. Lava/3M Espe, iTero/Cadent-Straumann). Die Bildakquisition erfolgt unter Verwendung von Leuchtdioden (LED), Videosignalen oder eines gepulsten Lasers.

### So arbeiten die Systeme

Abb. 3  
Einzelaufnahmen werden zu einem Modell zusammengefügt



Bildquelle: Sirona

Cerec Bluecam nutzt als Aufnahmeeinheit kurzweiliges Blaulicht (420 NanoMeter) und arbeitet nach dem Prinzip der Streifenlichtprojektion (Abb. 2). Das vom Objekt reflektierte Licht wird unter einem Winkel (Triangulation) auf einem Detektor (CCD) abgebildet. Der Scanvorgang erfolgt inform von Einzelbildern; Winkelaufnahmen erfassen Zahnareale unterhalb des Äquators und erhöhen die Wiedergabegenauigkeit. Mehrere Aufnahmen werden durch Matching zu einem Quadranten oder Ganzkiefer zusammengerechnet, ebenso der Gegenbiss. Die Kieferrelation wird durch zusätzliches Scannen der antagonistischen Bezahnung und deren statischer Lagebeziehung erfasst. Dadurch entsteht ein dimensionsgetreues, virtuelles Modell (Abb. 3). Das Wavefront Sampling von C.O.S. Lava, entwi-



ckelt am MIT (Massachusetts Institute of Technology), erfasst die Zahnform durch die Bewegung der Videokamera über die Zähne. Durch Positionsänderung der einzelnen Bildpunkte während der Aufnahme kann deren Abstand zur Kamera berechnet werden, wodurch eine dreidimensionale Darstellung der Zahnreihe entsteht (Abb. 4). Der iTero Scanner nutzt zur Erfassung das konfokale Messprinzip und arbeitet mit der Laser-Triangulation. Hierbei werden Laserlinienmuster mit einer Laufzeitanalyse auf das Messobjekt projiziert. Liegt das Objekt exakt im Brennpunkt, wird das Licht vom Objekt über denselben Weg durch das Objektiv hindurch über einen Strahlenleiter auf einen Detektor reflektiert. Als Ergebnis erhält man Scans einzelner Schichten, die übereinander gelegt die 3D-Form des Objekts widerspiegeln. Diese Technik erfasst den Zahn und scannt vertikal 300 Ebenen mit jeweils 50 µm Tiefe (Abb. 5). Irrtümlich eingescannte Objekte wie Fingerspitzen, Zungen- teile, Watterollen können virtuell gelöscht und punktuell nachgescannt werden.

## Präzision: Studien liefern gleichwertige Ergebnisse

Die Scan-Genauigkeit von Cerec Bluecam und C.O.S. Lava entspricht laut Prof. Wöstmann einer konventionellen Hydrocolloid- und Polyvinylsiloxan-Abformung. Unterschiede waren nicht signifikant [5]. Bei Messungen mit C.O.S. Lava hergestellten Kronen-Käppchen lag der Mittelwert aller Randspalten bei 33 µm ( $\pm 16$  µm). Bei den mit konventioneller Abformtechnik hergestellten Käppchen betrug der mittlere Randspalt 69 µm ( $\pm 25$  µm). Vergleichbare Ergebnisse wurden im Rahmen einer klinischen Studie festgestellt [13]. Der mittlere, marginale Randspalt der konventionell hergestellten Kronen betrug 71 µm gegenüber 49 µm bei den mit C.O.S. Lava hergestellten Kronen. Literaturbelegte Messwerte bei konservierenden Restaurationen mit Cerec 3D zeigte eine Toleranz von 40 µm ( $\pm 21$  µm [14]).

In einer Studie an der Universität Zürich wurde die Abformgenauigkeit von intraoral generierten Ganzkiefer-Datensätzen in vitro geprüft, die mit Videosignal (C.O.S.) und Blaulicht (Cerec Bluecam) arbeiten [6]. Das analoge Vergleichsmodell war mit Polyätherabdruck und Gips hergestellt worden und wies im stationären 3D-Referenzscanner mit 0,5 µm Auflösung (Alicona Infinite Focus) eine Abweichung von 55 µm ( $\pm 21,8$  µm) auf. Der durch Videoaufnahmen erzeugte Modelldatensatz zeigte im Best-Fit-Algorithmus (Überlagerungsgenauigkeit) eine Differenz von 40,3 µm ( $\pm 14,1$  µm), das Blaulicht-erzeugte Modell lag bei 49 µm ( $\pm 14,2$  µm). Die Scandatensätze umfassten jeweils zirka 20 Millionen Messpunkte. Die Messergebnisse für Polyäther und den Video-Scan streuten um den Vergleichswert des Referenzmodells, die Bluecam-Werte lagen signifikant dichter an den Daten des stationären, geeichten Messscanners. Die Autoren resümierten, dass die digitale Intraoralabformung zumindest gleichwertige Ergebnisse wie der konventionelle Polyätherabdruck erzielt.



Bildquelle 3M Espe

Abb. 4  
Intraoral-Scan  
(C.O.S.) eines  
Quadranten mit  
Gegenbiss für ein  
ZrO<sub>2</sub>-Kronengerüst

## Vorteile für Patient und Behandler

Zur Standardisierung der optischen Abformung trägt bei, dass die eingescannte Präparation direkt am Bildschirm kontrolliert und ggf. vorhandene Unzulänglichkeiten sofort korrigiert werden können [7, 8] (Abb. 6). Auch bieten die Scan-Verfahren gerade für Patienten mit starkem Würgereiz einen deutlichen Gewinn an Behandlungskomfort. Vorteile ergeben sich auch durch den Wegfall von Arbeitsschritten, besonders in der Praxis: Auswahl des Abformlöffels, Anmischen der Abformmasse, Abwarten von Abbinde- und Desinfektionszeiten sowie ggf. die Modellherstellung.

Weniger Behandlungs- und Arbeitsschritte bedeuten auch weniger Fehlerquellen, wodurch die Vorhersagbarkeit der Behandlungsergebnisse verbessert werden kann. Bei deutlich infragingival liegenden Kronenrändern stossen optische Systeme laut Prof. Wöstmann noch an ihre Grenzen. Die Herausforderung besteht darin, schlecht einsehbare Bereiche – zum Beispiel infragingivale Präparationen – für die Kamera zugänglich zu machen. Hier könnten intelligente Software-Al-



Bildquelle Straumann

Abb. 5 iTero scannt den Zahn mit Laser-Triangulation über mehrere Ebenen



gorithmen dadurch Abhilfe schaffen, dass man die infragingival liegenden Präparationsränder konsekutiv mit der Messkamera erfasst – etwa indem man mit dem Luftbläser um den Zahn herumfährt [12].

**Digital reproduziert genauer**

Prof. Gerwin Arnetzl, Universität Graz, verglich auf der Jahrestagung der DGCZ (Deutsche Gesellschaft für Computergestützte Zahnheilkunde) die Abformpräzision digital generierter Abformungen mit konventionellen Elastomer-Abdrücken (Abb. 7, 8). Wenn konventionelle Abformungen eine Rückstellung nach Verformung von 98,5 Prozent aufweisen, bedeutet das für eine Inlaykavität eine Passungengenauigkeit von 35-75 µm. Dazu addieren sich bei Gussobjekten noch Toleranzen von 46,5 µm [9], so dass im indirekten Verfahren hergestellte Kronen literaturbelegte Abweichungen von 114 µm erreichen [11]. Unterschiedliche elastomere Abformtechniken verursachen zum Teil erhebliche Abweichungen. So wurden bei analoger Abformung eine Abweichung von 49 µm bei Standardabformung und 122 µm bei Vergleichsabformung festgestellt [4]. Brosky et al stellte bei Polysiloxan-Abformungen Differenzen von 27 bis 297 µm fest [3]. Die Untersuchungen zu analogen Abformverfahren waren in aller Regel jedoch 2D-Vermessungen; die neuen Studien zur Abbildungsgenauigkeit von lichtoptischen Verfahren wurden mit 3D-Volumendifferenzanalysen durchgeführt [1, 6].

Digital beziehungsweise optoelektronisch erzeugte Messaufnahmen wiesen bei unterschiedlichen Behandlern Messgenauigkeiten von 11 µm auf [6, 10]. Die Abweichungen, bezogen auf einen ganzen Quadranten, liegen bei der analogen Abformtechnik zwischen 72 und 101 µm, während die Messfehlertoleranz bei digitalen Aufnahmen unter Einbeziehung von präzisionssteigernden Winkelaufnahmen in der Größenordnung von 35 µm liegt. Potenzielle Fehlerquellen bieten hierbei die Scannerjustierung, magnetische Störfelder bei der Bildverarbeitung, Bildrauschen und die Software. Diese Daten belegen laut Prof. Arnetzl, dass digital generierte Daten bei korrekter Handhabung von Kamera oder Scanner weniger Fehler und eine grössere Präzision aufweisen als die konventionelle Abdrucktechnik mit Elastomeren [1, 2].

**Neue Ära der Modellherstellung**

Mit den intraoral gewonnenen Datensätzen wird zugleich eine neue Ära der Modellherstellung eingeleitet. Dafür wird aus den Scans der Quadranten oder des Ganzkiefers mit Gegenbiss computerunterstützt ein virtuelles OK/UK-Modell gerechnet. Dies dient der CAD-Konstruktion der Restauration sowie der Fertigung eines analogen Sägeschnitt-Modells aus Kunststoff. Dies ist angezeigt, weil die manuelle Verblendung eines CAD/CAM-gefertigten Gerüsts ein Modell erfordert, das die Kontaktposition zum Gegenkiefer und zu den Nachbarzähnen wiedergibt.

Die Datensätze von C.O.S. Lava sowie iTero gehen vom Zahnarzt via Internet an den Systemhersteller, werden dort ge-

Mit 2D sehen Sie etwas

Mit 3D erkennen Sie ALLES



Es ist an der Zeit, die Zahnanatomie so zu sehen, wie Sie die Welt sehen - in 3D

Das KODAK 9000 3D Extraorale Röntgensystem bietet Ihnen mit seiner extrem hohen Auflösung und Detailwiedergabe eine optimale Diagnosegrundlage für die meisten Ihrer Patientenfälle. Und dank der ausgezeichneten, kabellosen KODAK 1500 Intraoralen Kamera können Sie Ihren Patienten anschaulich die besten Behandlungsoptionen erklären.

**JA, ich möchte...**

- das weltweit meistverkaufte 3D System für nur noch € 54.999,- (inkl. 2-jährige Preisgarantie, ohne MwSt.)
- zusätzlich ein sensationelles Austauschangebot für mein altes Panoramagerät
- eine halbtägige Anwenderschulung in meiner Praxis
- eine kostenlose, kabellose KODAK 1500 Kamera

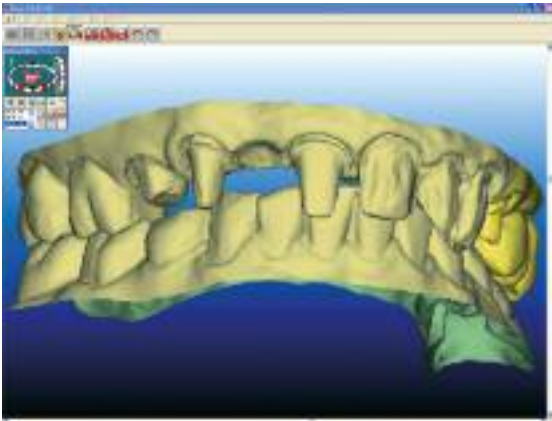
Noch heute meinen bezeichnenden Händler kontaktieren!

Teilnehmende Händler unter [www.carestreamdentalk.com](http://www.carestreamdentalk.com)

**LIMITIERTES ANGEBOT  
SEP-DEZ 2011**

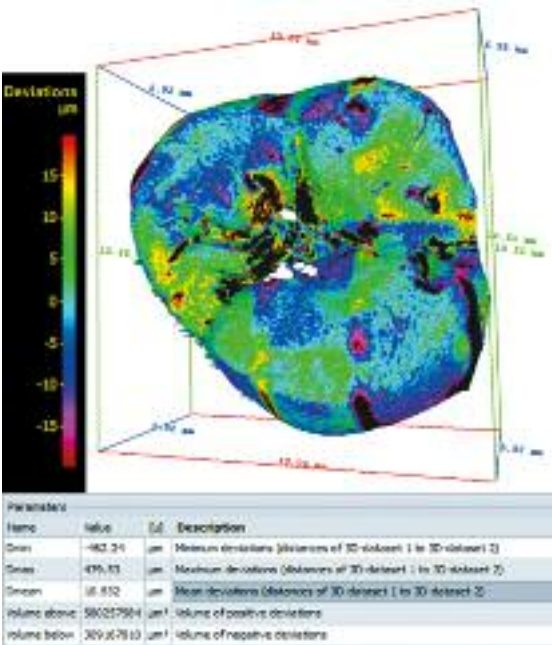
GRATIS





Bildquelle Straumann

Abb. 6 Der Ganzkiefer-Scan für eine Brückenkonstruktion. Präparationsdetails sind kontrollierbar (System iTero)



Bildquelle Prof. Arnetzl

Abb. 8 Abweichungen (Deviations) gegenüber dem Standardmodell sind farblich erkennbar



Bildquelle 3M Espe

Abb. 9 Stereolithografisch gefertigtes Kunststoffmodell (SLA), System C.O.S. Lava



Bildquelle Prof. Arnetzl

Abb. 7 Finite Präzisionsmesssystem für kontaktlose Dimensionsvergleiche von Abformungen mit 10 nm Vertikalauflösung

prüft, und die Fertigung eines Kunststoffmodells ausgelöst (Abb. 9). Der Zahntechniker hat nach der CAD-Konstruktion der Restauration die Wahl, das Gerüst im Fräszentrum oder im Eigenlabor auszufräsen. Das Kunststoffmodell ist zur Schichtung der Verblendung und zur Artikulation notwendig. Cerec berechnet ebenfalls ein virtuelles Modell; gerüstfreie Kronen und kurzspannige Brücken (Lithiumdisilikat) können direkt vom Datensatz im Praxislabor oder im online-verbundenen ZT-Labor ausgeschliffen werden. Für Verblendkronen und mehrgliedrige Brücken ist ebenfalls ein stereolithografisch gefertigtes oder gefrästes Kunststoffmodell erforderlich, das die Verblendung des Gerüsts sowie die Artikulation ermöglicht.

### Fazit: Grosses Zukunftspotenzial

Insgesamt bieten die optoelektronischen Intraoral-Abformsysteme laut Prof. Wöstmann ein grosses Zukunftspotenzial. Die Prozesskette, begonnen mit der Abformung bis zur Gerüsterstellung, ist exakt reproduzierbar. Aufgrund der Vorteile in Bezug auf Standardisierung, Qualitätssicherung und Patientenkomfort wird die digitale Intraoralabformung in den kommenden Jahren immer zahlreicher im zahnärztlichen Alltag anzutreffen sein. Die damit geschaffenen Datensätze vereinfachen im Online-Datenaustausch die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker, unabhängig von der Entfernung. Ergänzende Fazialfotos, Angaben zur Zahnfarbe, Individualisierung, zum Werkstoff, zum Okklusionskonzept et cetera können angehängt werden. Das alles geschieht ohne konventionelle Abformung mit Würgereiz, ohne Wachs-biss, ohne Gipsmodell. □

#### Kontakt

Dr. Gerwin V. Arnetzl · ÖGZ · Kaiser-Franz-Josef-Kai 48 · A-8010 Graz  
 Manfred Kern · Schriftführung der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. · [info@ag-keramik.de](mailto:info@ag-keramik.de) · [www.ag-keramik.eu](http://www.ag-keramik.eu)