Ist die digitale Abformung wirklich präzise?

Autor_Manfred Kern

Datensätze werden künftig das Handeln zwischen Zahnarzt und Labor bestimmen. Die digitale intraorale Abformung ist zu einem zentralen Bestandteil der computergestützten Restauration geworden. Lichtoptisch arbeitende Scansysteme ergänzen seit einiger Zeit den konventionellen Elastomerabdruck, zumindest in klinischen Standardsituationen.

_**Das Digitalverfahren** führt optoelektronische Vermessungen der Zahnoberflächen im Patientenmund durch. Aus mehreren Einzelmessungen, auch aus verschiedenen Aufnahmewinkeln, werden die Raumkoordinaten zu einem kompletten Modellsatz zusammengefügt. 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. Die Frage ist: Sind die digitalisierten Abformungen von Quadranten und Kiefern so genau wie Elastomerabdrücke aus Polyäther, Hydrokolloid oder additionsvernetzenden Silikonmassen?

_Fehlerfrei abformen

Auf dem zehnten Keramiksymposium der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. (AG Keramik), das alljährlich zusammen mit einer wissenschaftlichen Fachgesellschaft der DGZMK stattfindet, 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. 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 Gebisssituation. 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. 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 Zahn-

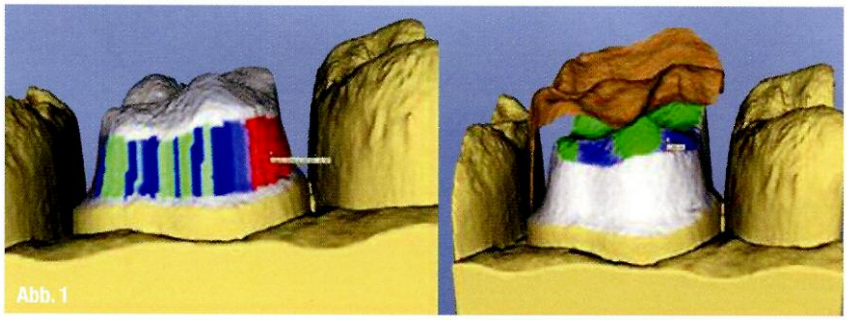


Abb. 1_ Der virtuelle „Präp-Check" kontrolliert die Präparationsgrenzen sowie die okklusale Reduktion mit Gegenbiss (AG Keramik/Lauer).

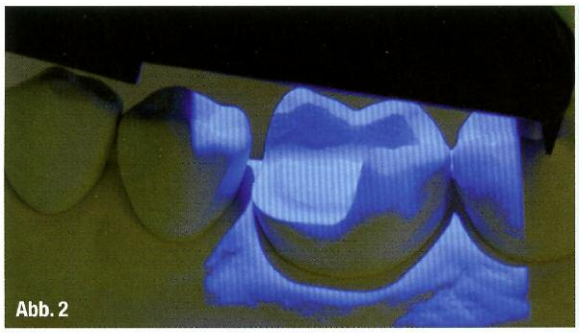


Abb. 2

Abb. 3

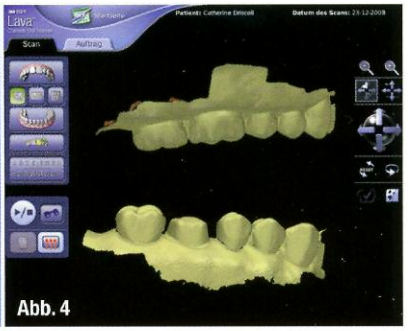


Abb. 4

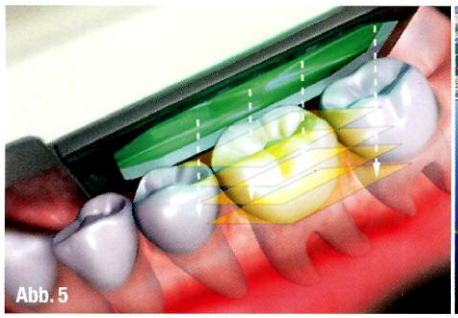
situation in Echtzeit im 3-D-Modus auf dem Bildschirm ab. Allerdings differenzieren die Verfahren bei der Gewinnung dreidimensionaler Datensätze (CEREC Bluecam/Sirona, C.O.S. Lava/3M Espe, iTero/Cadent-Straumann). Die Bildakquisition erfolgt unter Verwendung von Leuchtdioden (LED), Videosignalen oder eines gepulsten Lasers.

CEREC Bluecam nutzt als Aufnahmeeinheit kurzwelliges 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 in Form 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, entwickelt 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 3-D-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, Zungenteile oder Watterollen können virtuell gelöscht und punktuell nachgescannt werden. Die Scan-Genauigkeit entspricht laut Prof. Wöstmann einer konventionellen Hydrocolloid- und Polyvinylsiloxan-Abformung. Verglichen wurden die Systeme CEREC und C.O.S. Lava. Unterschiede waren nicht signifikant. Bei Messungen mit C.O.S. Lava hergestellten Kronen-Käppchen lag der Mittelwert aller Randspalten bei 33 µm (±16 µm). Bei den mit konventioneller Abformtechnik hergestellten Käppchen betrug der mittlere Randspalt 69 µm (±25 µm). Vergleichbare Ergebnisse wurden im Rahmen einer klinischen Studie festgestellt. 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 (±21 µm). 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. Das analoge Vergleichsmodell war mit Polyätherabdruck und Gips hergestellt worden und wies im stationären 3-D-Referenzscanner mit 0,5 µm Auflösung (Alicona Infinite Focus) eine Abweichung von 55 µm (±21,8 µm) auf. Der durch Videoaufnahmen erzeugte Modelldatensatz zeigte im Best-Fit-Algorithmus (Überlagerungsgenauigkeit) eine Differenz von 40,3 µm (±14,1 µm), das blaulichterzeugte Modell lag bei 49 µm (±14,2 µm). Die Scandatensätze umfassten jeweils ca. 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. Zur Standardisierung der optischen Abformung trägt bei, dass die eingescannte Präparation direkt am Bildschirm kontrolliert und ggf. vorhandene Unzulänglichkeiten sofort korrigiert werden können (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 in-

Abb. 2_ Kurzwelliges Blaulicht mit Streifenlichtprojektion (Ender); System CEREC.

Abb. 3_ Einzelaufnahmen werden zu einem Modell zusammengefügt (Sirona).

Abb. 4_ Intraoral-Scan (C.O.S.) eines Quadranten mit Gegenbiss für ein ZrO_2-Kronengerüst (3M Espe).



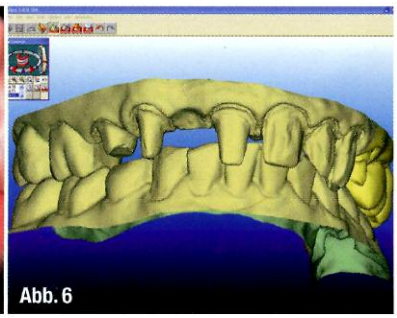


Abb. 5_ iTero scannt den Zahn mit Laser-Triangulation über mehrere Ebenen (Straumann-Cadent).
Abb. 6_ Der Ganzkiefer-Scan für eine Brückenkonstruktion. Präparationsdetails sind kontrollierbar (Straumann-Cadent).

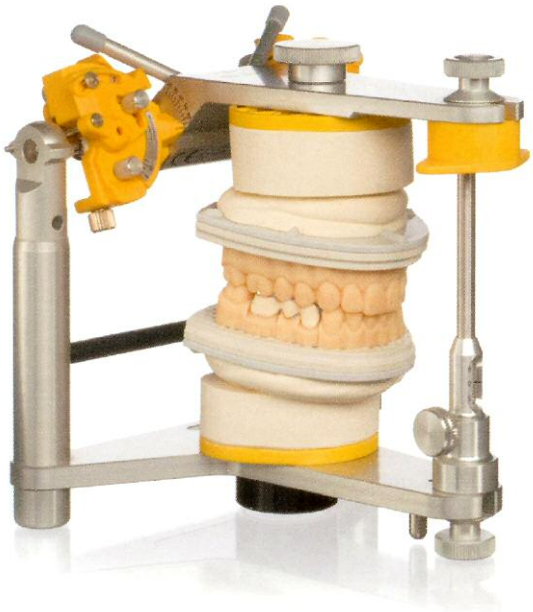
fragingival liegenden Kronenrändern stoßen optische Systeme laut Prof. Wöstmann noch an ihre Grenzen. Die Herausforderung besteht darin, schlecht einsehbare Bereiche, z.B. infragingivale Präparationen, für die Kamera zugänglich zu machen. Hier könnten intelligente Software-Algorithmen dadurch Abhilfe schaffen, dass man die infragingival liegenden Präparationsränder konsekutiv mit der Messkamera erfasst – etwa indem man mit dem Luftbläser um den Zahn herumfährt.

_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. Wenn konventionelle Abformungen eine Rückstellung nach Verformung von 98,5 Prozent aufweisen, bedeutet das für eine Inlaykavität eine Passungenauigkeit von 35–75 µm. Dazu addieren sich bei Gussobjekten noch Toleranzen von 46,5 µm, sodass im indirekten Verfahren hergestellte Kronen literaturbelegte Abweichungen von 114 µm erreichen. Unterschiedliche elastomere Abformtechniken verursachen zum Teil erhebliche Abweichungen. So wurde bei analoger Abformung eine Abweichung von 49 µm bei Standardabformung und 122 µm bei Vergleichsabformung festgestellt. Brosky et al. stellten bei Polysiloxan-Abformungen Differenzen von 27 bis 297 µm fest. Die Untersuchungen zu analogen Abformverfahren waren in aller Regel jedoch 2-D-Vermessungen; die neuen Studien zur Abbildungsgenauigkeit von lichtoptischen Verfahren wurden mit 3-D-Volumendifferenzanalysen durchgeführt. Digital bzw. optoelektronisch erzeugte Messaufnahmen wiesen bei unterschiedlichen Behandlern Messgenauigkeiten von 11 µm auf. 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. 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 Sägeschnittmodells aus Kunststoff (Abb. 7). 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.

Insgesamt bieten die optoelektronischen Intraoral-Abformsysteme laut Prof. Wöstmann ein großes Zukunftspotenzial. Die Prozesskette, begonnen mit der Abformung bis zur Gerüstherstellung, 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 etc. können angehängt werden. Das alles geschieht ohne konventionelle Abformung mit Würgereiz, ohne Wachsbiss, ohne Gipsmodell._

Abb. 7_ Stereolithografisch gefertigtes Kunststoffmodell (SLA) im Artikulator (Sirona).



_Kontakt

digital dentistry

Manfred Kern
Arbeitsgemeinschaft für Keramik
in der Zahnheilkunde e.V.
Postfach 100 117
76255 Ettlingen
E-Mail: info@ag-keramik.de
www.ag-keramik.eu