

CAD/CAM – Status quo und die Zukunft



Digital unterstützte dynamische Artikulation verbessert Rekonstruktionsberechnung

Auf dem 14. Keramiksymposium der AG Keramik, das zusammen mit den Jahrestagungen der DGÄZ, DGZ und anderen Fachgesellschaften der DGZMK stattfand, bezogen Prof. Dr. Dr. Albert Mehl, Abteilung für computer-gestützte restaurative Zahnmedizin an der Universität Zürich, sowie Prof. Dr. Sven Reich, Klinik für Zahnärztliche Prothetik am RWTH-Universitätsklinikum Aachen, Stellung zum Status quo, zum praktischen Nutzen und zu den Zukunftsperspektiven der computer-gestützten Restauration

Digitalgeräte wie das Smartphone, Tablet-PC, Navigationssysteme und die Skype-Telefonie via Internet empfinden wir als selbstverständliche Begleiter unseres Lebens und erwarten eine zuverlässige Funktionsweise, obwohl die Applikationen noch nicht lange verfügbar sind. Digitale Fertigungssysteme für den zahntechnischen Arbeitsprozess wie Laborscanner und NC-Fräsaufmaschinen sind schon über eine Dekade erfolgreich im praktischen Einsatz. Hingegen sind digitale Intraoralscanner für die Abformung der Zähne heute noch kein Standard, obwohl die Grundlagen dafür schon vor 25 Jahren geschaffen wurden. Angesichts der hierzulande noch steigerungsfähigen Marktdurchdringung können die digitalen Abformsysteme in der Zahnarztpraxis noch ein großes Potenzial erschließen. Dabei ist es durchaus vorstellbar, dass das computergestützte Intraoralabformsystem in Zukunft die zentrale Drehscheibe für das gesamte „Health-care Paket“ unserer Patienten wird.

Lichtoptisch und berührungslös Abformen

Die digitale intraorale Abformung spielt eine zentrale Rolle in der computergestützten Zahnmedizin. Sie ermöglicht neue Behandlungsoptionen und be-

schleunigt den Workflow bei der Herstellung der Restauration. Voraussetzung hierfür sind exakte Abformungen der Präparation und der Gebissituation. Auf dem Weg zu einer passgenauen Restauration ist die Abbildung der intraoralen Situation auf einem realen oder auch virtuellen Modell ein ganz entscheidender Schritt, da die Herstellung definitiver Restaurationen – vom Inlay bis hin zu mehrgliedrigen Brücken – ausschließlich indirekt möglich ist. Aufgrund verschiedener, werkstofflicher Rahmenbedingungen ist es aber bis heute nicht möglich, über eine klassische Abformung mit Elastomeren ein „fehlerfreies“ konventionelles (Gips)modell herzustellen. Damit ist auch jedes auf Basis dieser Arbeitsunterlage erzeugte, virtuelle Modell ungenau – einerlei, wie präzise der Scanvorgang an sich ist. Es liegt also nahe, den Scanvorgang direkt in der Mundhöhle durchzuführen [26, 27, 28]. Im Vergleich zur konventionellen Abformung mit Elastomeren und der anschließenden Modellerstellung mit Gips bietet die direkte, intraorale Erfassung der Kieferituation in Form eines digitalen Datensatzes eine Reihe von Nutzungsvorteilen [1, 16, 17].

Darstellung in Echtzeit: Während bei der konventionellen, analogen Abformung erst der Gips die entscheidenden Details zeigt, kann bei der intraoralen Digitalabformung schon während des Erfassens und unmittelbar nach dem Scannen eine Prüfung auf dem Bildschirm erfolgen (Abb. 1). Bei Korrekturbedarf kann die Abformung sofort erneuert, oder auf den betroffenen Abschnitt begrenzt, wiederholt werden. Letzteres erlaubt es, z.B. Blutungen zu kontrollieren und bei Bedarf den Scan abschnittsweise zu ersetzen.

Leichte Wiederholbarkeit: Bei analogen Abformungen wird in schwierigen subgingivalen Lokalisationen meist nach Entnahme der Abformung eine erneute

Blutung induziert. Wird die Doppelfadentechnik angewandt, wird die verbliebene Fadenlage häufig mit dem Elastomer entfernt und muss bei Wiederholung erneut eingelegt werden. Bei der Digitalabformung besteht diese Gefahr der Fadendislokation nicht. Es entfällt auch die Neukonditionierung des Abformlöffels.

Schrittweises Erfassen der relevanten Bezirke: Beim digitalen Abformen kann zunächst ein Quadrant oder kritische Sektoren wie der dorsale Bereich im Unterkiefer erfasst werden. Durch den aufsteigenden Ast und die Zunge ist es in der Regel nicht einfach, diesen Bereich darzustellen. Mit der Digitalerfassung der Kieferabschnitte kann sich der Behandler gezielt auf einzelne Areale konzentrieren.

Vergrößerung der Präparationsgeometrie: Durch die bildlich übergroße Darstellung des virtuellen Modells auf dem Monitor ist eine sofortige Kontrolle und Bewertung der Präparation möglich.

Kieferrelationsbestimmung: Der Gegenkiefer kann digital erfasst werden einschließlich eines Scans der geschlossenen Zahnreihe. Die Software visualisiert den Abstand einzelner Anteile der präparierten Zähne zur antagonistischen Zahnreihe. Damit kann das verfügbare Platzangebot (Schichtdicke) für die geplante Restauration geprüft werden (Abb. 2).

Virtuelle Ausschneidefunktion: Diese Ikone ermöglicht es, Areale, die nicht den Qualitätsansprüchen genügen, zu entfernen und nochmals verbessert zu erfassen. Es kann auch vor der Präparation ein Übersichtsscan durchgeführt und als virtuelles Situationsmodell gespeichert werden. Bei Behandlungsbeginn wird der Übersichtsscan aufgerufen, dupliziert und die Zähne, die präpariert werden sollen, ausgeschnitten. Diese werden im präparierten Zustand erneut gescannt und in die vorherige Aufnahme automatisch eingefügt.

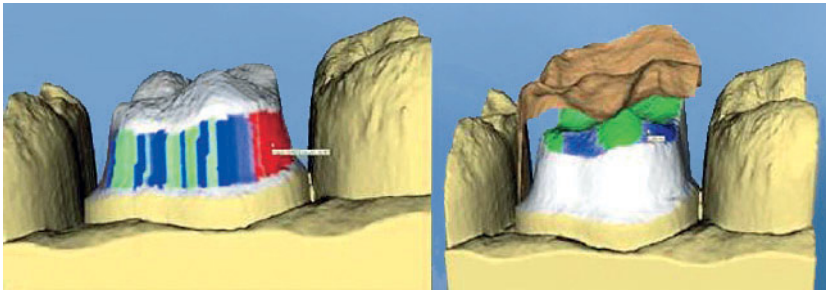


Abbildung 1 Der virtuelle „Präp-Check“ kontrolliert die Präparationsgrenzen sowie die okklusale Reduktion mit Gegenbiss. (Abb. 1: AG Keramik)

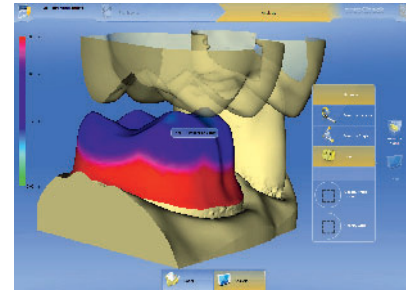


Abbildung 2 Die Kieferrelation errechnet die mögliche Schichtdicke für die geplante Restauration. (Abb. 2 u. 4: Sirona)

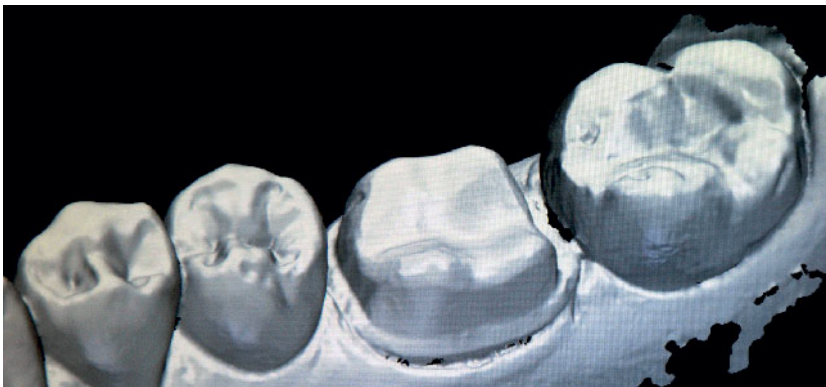


Abbildung 3 Virtuelle Darstellung einer Kronenpräparation mit Lava C.O.S. (Abb. 3: 3M Espe)

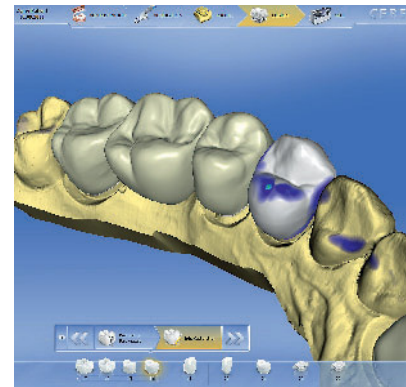


Abbildung 4 Bildsequenz aus zusammengesetzten Einzelaufnahmen (Cerec Bluecam).

Analyseoptionen direkt an der Behandlungseinheit: Einige Systeme erlauben nicht nur die Darstellung der Mindestschichtstärken der Restaurationen – abhängig von der geplanten Versorgung – sondern auch die Kontrolle der passenden Einschubrichtung. Funktionelle Okklusionsschemata, zuvor am Situationsmodell gewonnen, können auf die konstruierten Okklusalfächen gelegt, Störkontakte eliminiert und die Kontaktpunkte sowie die Höckerdurchdringung individuell bestimmt werden.

Schnelle Kommunikation und Verfügbarkeit: Das digital erzeugte, virtuelle Modell kann, zusammen mit Farbangaben und Patientenfotos, via Internet dem Zahntechniker zugestellt und mittels Bildschirmprojektion gemeinsam besprochen werden. Damit verursacht die Prozesskette weder Zeitverlust noch Transportkosten.

Archivierbarkeit: Das digitale Urmodell kann platzsparend archiviert werden (Festplatte). Das spätere Auffinden erfolgt auf „Knopfdruck“, wichtig bei

Qualitätsüberprüfungen und bei forensischen Fällen.

Chairside-Option: Mit der Präparation, Intraoralaufnahme, CAD-Konstruktion als Vorbereitung für die Restorationsherstellung an der Behandlungseinheit sowie mit der verbundenen NC-Schleifeinheit kann die vollkeramische Versorgung (Inlay, Onlay, Teilkrone, Krone) patientenfreundlich in einer Behandlungssitzung durchgeführt werden. Dadurch entfällt das Provisorium sowie das Risiko von initialen Schmelzkantenrisiken zwischen den Patientensitzungen bei extendierten Kavitäten. Die Soforteingliederung bietet den kontaminationsfreien, adhäsiven Verbund zur Zahnhartsubstanz und stabilisiert geschwächte Hocker.

Fusion und Vernetzung: Die digitale, dreidimensionale Oberflächeninformation kann mit anderen Systemen, z.B. mit dem 3D-Röntgen (CT, DVT) sowie mit dem Gesichtsscan, verknüpft werden, um umfangreiche Diagnose- und Planungsmöglichkeiten zu erhalten.

Dental wird digital

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 Fräsaufbau an der Behandlungseinheit zum Ausschleifen der Restauration. Der andere Ansatz für die CAD/CAM-Technik hängt mit der Nutzung von Hochleistungskeramiken zusammen, die seit den 90er Jahren Eingang in die prothetische Rehabilitation gefunden haben. Dieser Wandel zur metallfreien Vollkeramik war die konsequente und logische Weiterentwick-

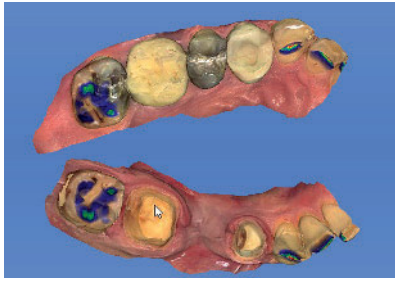


Abbildung 5 OK und UK werden mittels einer Bukkalaufnahme verschlüsselt. Sind die kontralateralen Eckzähne mit aufgenommen, kann eine Artikulation simuliert und dynamische Kontakte dargestellt werden. (Abb. 5: Fritzsche)

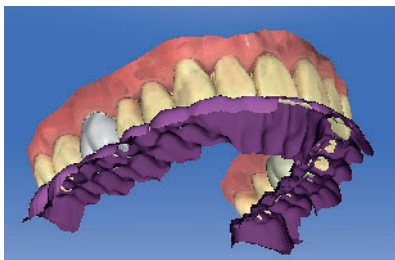


Abbildung 6 Funktionelles Bissregistrat berechnet aus der Bewegung des Unterkiefers. (Abb. 6–11: Mehl)

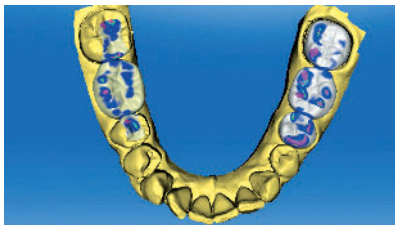


Abbildung 7 Ergebnis der rein statischen Berechnung mit den okklusalen Kontaktpunkten (grün).

lung restaurativer Werkstoffe und hat metallgetragene Versorgungen weitgehend substituiert. Die Verarbeitung des mechanisch hoch belastbaren Materials wie Zirkoniumdioxidkeramik erforderte für das Formfräsen den Computereinsatz, um den Datensatz der CAD-Konstruktion in maschinenlesbare Fräsbefehle umzuwandeln und die festigkeitssteigernde Sinterschrumpfung zu kompensieren. 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.

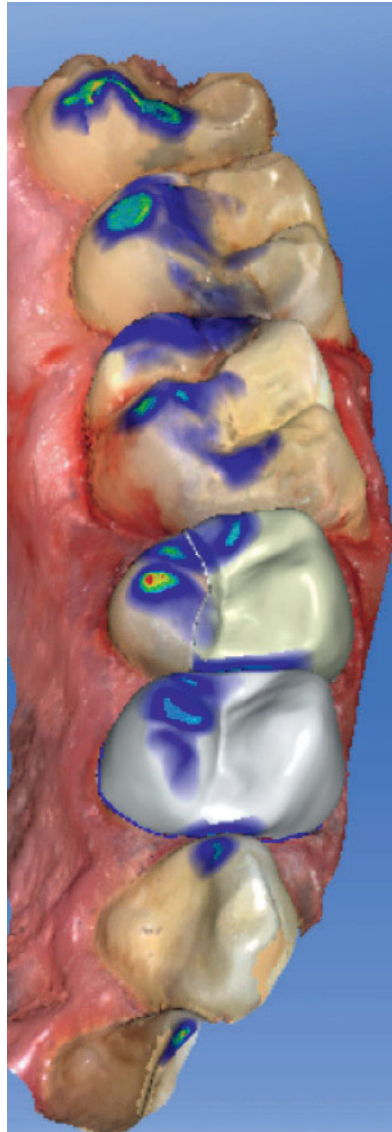


Abbildung 8 Biogenerische Rekonstruktion von Zahn 24 und 25 nach intraoraler Abformung. Kontakt-Situation bei Berücksichtigung nur der statischen Okklusion.

Weniger Behandlungs- und Arbeitsschritte bedeuten auch weniger Fehlerquellen, wodurch die Vorhersagbarkeit der Behandlungsergebnisse verbessert werden kann [26]. Das Überspringen vieler konventioneller Prozessschritte im ZT-Labor hat den Arbeitsaufwand reduziert.

Nachdem der labortechnische Prozess ohne CAD/CAM-Einsatz nur noch schwer vorstellbar ist, hat inzwischen mit der Einführung lichtoptischer Scansysteme zur intraoralen Abformung der nächste Schritt zur vollständigen Digitalisierung der Prozesskette von der Präparation bis zur Eingliederung des Zahn-

ersatzes begonnen. Neben der Standardisierung liegt der Nutzen der Digitaldaten in der direkten Übertragung der klinischen Situation auf die weiteren, zahntechnischen Arbeitsschritte [3, 11, 18].

Die intraoralen Scansysteme gleichen sich in ihrer klinischen Handhabung, unterscheiden sich jedoch in ihren Funktionsprinzipien. Die Messkameras sind so handlich geworden, dass sie intraoral aus mehreren Perspektiven Einzelzähne, Quadranten und Ganzkiefer aufnehmen können. Die Aufnahmetechnologien basieren – je nach System – auf der konfokalen Mikroskopie mit Laserabtastung (iTero, Cadent-Align Technology; Cara Trios Heraeus/3Shape), auf dem Videoscanning mit mehreren Kameras zur stochastischen Erfassung räumlicher Strukturen (Lava C.O.S./True Definition, 3M Espe, Abb. 3) und auf der LED-Streifenlicht-Triangulation (Cerec, Sirona), die Einzelaufnahmen erzeugt und zu Bildsequenzen verknüpft (Abb. 4). Sie alle bilden die Zahnsituation in Echtzeit im 3D-Modus auf dem Bildschirm ab.

Grundsätzlich werden aus einer Vielzahl von Messungen aus verschiedenen Aufnahmewinkeln die Raumkoordinaten zu einem kompletten Modellsatz zusammengesetzt. 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. Dadurch muss kein Gipsmodell mehr gegossen und kein Meistermodell extraoral digitalisiert werden, wie es bei der konventionellen Abformung mit Elastomeren noch notwendig ist [28].

Abformgenau wie Elastomere

Die Abbildungsgenauigkeit der intraoralen Abformung mit dem lichtoptischen

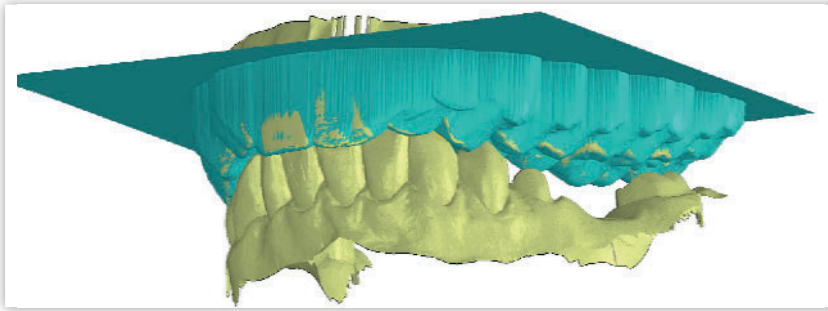


Abbildung 9 Die virtuelle Artikulation erlaubt eine exakte Berechnung der Bewegungshüllen (grün) analog zum funktionellen Bissregistrator (FGP). Mit der statischen Antagonisten-Situation und der Information der Bewegungseinhüllenden sind alle Informationen für eine funktionelle Rekonstruktion der Restauration gegeben.

Mundscanner muss sich an den Ergebnissen der konventionellen Abformung mit Elastomeren messen lassen [3, 10]. Universitäre Testungen haben gezeigt, dass optoelektronische Aufnahmesysteme in den letzten Jahren deutlich an Genauigkeit zugelegt haben; sie können nun den Anspruch erheben, die Abweichungstoleranz am Einzelzahn auf 20 Mikrometer (μm), am Quadranten auf 35 μm und bei der Ganzkieferabformung in den Korridor von 50 bis 80 μm Mikrometer gesenkt zu haben [3]. Die Scan-Genauigkeit der Systeme Cerec Bluecam und Lava C.O.S. entspricht einer konventionellen Hydrocolloid- und Polyvinylsiloxan-Abformung [27, 28]. Ein Vergleich von digital erfassten Gipsmodellen, aus Polyäther-Abformungen gewonnen, und Lava C.O.S.-Datensätzen zeigte für das virtuelle Modell eine höhere Genauigkeit (Impregum-Abweichung 23 μm , Lava C.O.S. 15 μm) [4]. Bei Messungen von Kronen-Käppchen, mit Lava C.O.S. hergestellt, lag der Mittelwert aller Randspalten bei 33 μm ($\pm 16 \mu\text{m}$). Bei den mit konventioneller Abformtechnik hergestellten Käppchen betrug der mittlere Randspalt 69 μm ($\pm 25 \mu\text{m}$). Vergleichbare Ergebnisse wurden im Rahmen einer klinischen Studie [21, 24, 25] festgestellt.

In einer In-vitro-Studie an der Universität Zürich wurde die Abformgenauigkeit von intraoral generierten Ganzkiefer-Datensätzen mehrerer Scan-Systeme (Cerec, Lava C.O.S., iTero, Trios) geprüft [3]. Der durch Videoscans erzeugte Modelldatensatz zeigte in der Überlagerungsgenauigkeit eine Differenz von 40,3 μm ($\pm 14,1 \mu\text{m}$), das Blaulicht-triangulierte Modell lag bei 49 μm

($\pm 14,2 \mu\text{m}$). Die Messergebnisse für Polyäther und die Digitalscans streuten um den Vergleichswert des Referenzmodells. Damit lagen die Resultate im Korridor des konventionellen Polyätherabdrucks. In-vivo-Untersuchungen mit praktischen Digitalabformungen verschiedener Behandler zeigten jedoch höhere Toleranzwerte. Lag die Messgenauigkeit von Quadrantenscans noch bei 40 μm , lagen die Abweichungen am endständigen Kieferbogen bei 50 bis 100 μm . Deshalb sind Ganzkieferscans aus heutiger Sicht vorläufig nur für Situationsmodelle geeignet [10].

Kauflächen und Artikulation

Die biogenerische Kauflächengestaltung (Cerec), die aus den individuell vorhandenen Zahnanatomien passende Okklusalfächen errechnet, konzentrierte sich bisher auf die Einzelzahnrestauration. Künftige Software wird Zahngruppen im Kieferbogen positionieren und die Morphologie inklusive Zahnposition nach dem biogenerischen Prinzip gestalten [12]. Hierbei kann die dynamische Artikulation berücksichtigt werden, in dem z.B. das Bonwill-Dreieck und die Kondylenbahn aus der Röntgenaufnahme entnommen, das Ergebnis des FGP-Registrats einbezogen oder die Werte aus Gesichtsbogen und diversen Registrier-systemen übernommen werden. Die durch die Bewegungssimulation berechnete virtuelle Hülle der Antagonisten wird auf die konstruierten Restaurationen gelegt und auf Störkontakte überprüft. Eine Studie in Zürich zeigte, dass im Falle von gut abgestützter Füh-

rung und bei Versorgungen im Seitenzahnbereich die individuell erzeugte, virtuelle Artikulation auf dem Niveau des Mittelwert-Artikulators liegt; beide Methoden bieten mit Toleranzen von 100 μm zuverlässige Ergebnisse [10].

Die Leistungsfähigkeit einer digitalen Prozesskette lässt sich u.a. mittels der marginalen Passung messen. Als klinisch akzeptabel, ermittelt an konventionell hergestellten Kronen, gelten marginale Diskrepanzen von 100 bis 120 μm [5, 9]. Messdaten von CAD/CAM-gefertigten Kronen, die auf der Basis von intraoralen, optischen Digitalabformungen (Lava C.O.S., Cerec AC) erstellt wurden, erreichten als marginale Passung Mittelwerte von 50 bzw. 80 μm [16, 28].

Neben dem Nutzen für die zahnärztliche Behandlung enthält die digitale Intraoralabformung noch einige Limitationen, die noch gelöst werden müssen. Die Erfassung größerer zahnloser Weichteilareale sind nicht mit allen Scannern fehlerfrei möglich, weil die Oberfläche der Gingiva dem Scanner kaum klar identifizierbare Strukturen mit markanten geometrischen Charakteristiken bietet. Die meisten lichtoptischen Abformsysteme sind bei zahnlosen Zwischengliedbereichen bis zu einer Spanne von zwei Zwischengliedern freigegeben. Bei deutlich infragingival liegenden Kronenrändern sowie bei Blutungen stoßen optoelektronische Systeme noch an ihre Grenzen [28]. Die Herausforderung besteht darin, schlecht einsehbare Bereiche, z.B. infragingivale Präparationen, für die Kamera zugänglich zu machen. Bei iso- und subgingival lokalisierten Präparationsgrenzen ist ein entzündungsfreies, sauber verdrängtes marginales Parodont Voraussetzung für den Scan. Hier können 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 [22].

Dynamische Okklusion digital konstruiert

Für das Funktionieren des stomatognathen Systems ist unerlässlich, dass die Funktionstüchtigkeit wieder hergestellt wird, besonders nach dem umfangrei-

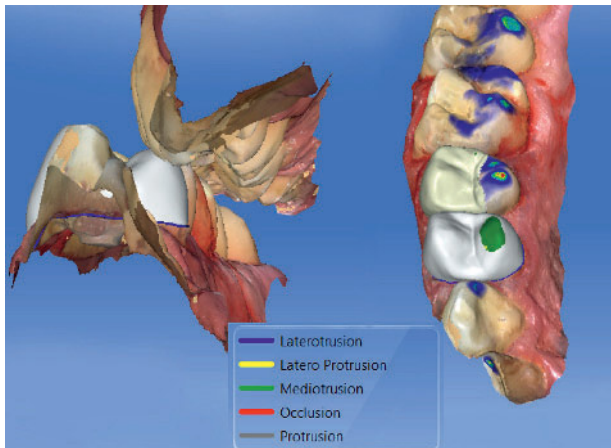


Abbildung 10 Störkontakte bei Durchführung der Artikulation (dynamische Okklusion). Auf den Restaurationen kann anhand der Farben die Bewegung, die zur Störung führt, detektiert werden – hier auf Zahn 24 ein Kontakt bei der Mediotrusion (System Omnicam, Cerec-Software 4.2.x).

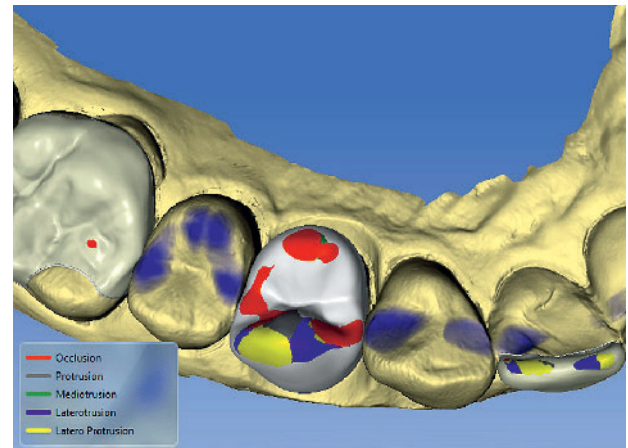


Abbildung 11 Darstellung der Dynamik berechnet aus der Artikulationsbewegung und dem virtuellen Bissregistrator. Kontakt- und Gleitflächen aus verschiedenen Bewegungen werden erkennbar, Interferenzen als Störstellen können reduziert werden.

chen Auflösen der Stützzone durch die Präparation. Die CAD/CAM-Systeme entdecken zunehmend die Aspekte der Funktion [7]. Zudem werden mehr und mehr umfangreiche CAD/CAM-Restaurationen vollanatomisch gefertigt. Hierfür sind Konzepte erforderlich, die die Statik und Dynamik sinnvoll integrieren und zu brauchbaren Lösungen führen. Im ersten Schritt denkt man an mechanische Artikulatoren, die in computergestützte Technik übertragen werden. Im nächsten Schritt sind aber digital gesteuerte Lösungen gefragt, die als Mehrwert eine umfassende Beurteilung der Funktionstüchtigkeit des stomatognathen Systems ermöglicht. Wenn wir bisher von dynamischer Okklusion sprechen, reduzieren wir den Sachverhalt auf die Kinematik und betrachten die Bewegungsbahnen. Dynamik schließt aber auch die Kau- und Beißkräfte mit ein. Dies erfordert die Einbeziehung der Muskelaktivitäten. Damit eröffnet sich eine Disziplin, die mit Computerunterstützung gelöst werden kann [6].

Bei der statischen Relation von Oberkiefer und Unterkiefer kann die Situation über Bissregistrat oder Bukkal-aufnahmen intraoral erfasst werden (Abb. 5). Diese Information bildet die Ausgangsbasis, um die Kauflächen-gestaltung und die Oberflächenrekonstruktion digital durchzuführen. Hierbei wurden mit Digital-scans der statischen Okklusion In-vivo Genauigkeiten von 30–70 µm (habituell), bei der buk-

kalen Registrierung 55–75 µm erreicht gegenüber der konventionellen Bissnahme mit Gipsmodell von 130 bis 210 µm. Als Vorschlag für die prothetische Rekonstruktion hat sich mit der Biogenerik [10] ein Verfahren herauskristallisiert, bei dem für die jeweilige individuelle Situation eine gut passende Versorgung berechnet wird. Damit wird die Nachbearbeitungszeit für das Modell deutlich reduziert oder kann sogar entfallen.

Digitale Umsetzung der dynamischen Okklusion

Eine komplette, individuelle Registrierung aller Artikulationsparameter ist noch aufwendig und zurzeit nur über Umwege in den digitalen Prozess integrierbar [15]. Den genauesten Artikulator bietet ohne Zweifel der Patient selbst. Meyer war der erste, die die Technik des funktionellen Bissregistrats (FGP, functional generated pathway) beschrieb [13]. Die Idee war, ein okklusales „Bewegungsregistrator“ direkt im Mund des Patienten aufzuzeichnen, dessen Oberfläche im Bereich der Präparation die Grenzbewegungen der Antagonisten beinhaltet (Abb. 6–8). Verschiedene Ansätze zur Umsetzung der realen Artikulationsbewegung in einem virtuellen Artikulator sind seit einiger Zeit bekannt und teilweise auch verfügbar [14, 20]. Heute eröffnet die intraorale Messtech-

nik mit dem lichteoptischen Scanner neue Möglichkeiten. Voraussetzung ist, dass eine ausreichende Restbezaehlung vorhanden ist und dass sich der Restaura-tionsumfang im Bereich von Einzel-zähnen und kleineren Brücken bewegt.

Unabhängig vom verwendeten Arti-kulationsmodell lassen sich alle Bewe-gungen virtuell genauso durchführen wie im mechanischen Artikulator. Dabei werden die Randbedingungen der Kie-fergelenkbewegung berücksichtigt und die Kiefer in jeder neuen Position auf Kollision geprüft – d.h. es soll eine Be-rührung stattfinden, aber es darf keine Durchdringung eintreten. Daraus folgt, dass jede Bewegung unter Zahnkontakt erfolgt (Abb. 9). Die einzelnen Posi-tionen des Unterkiefers bzw. Oberkiefers können abgespeichert und als Bewe-gungsfilm abgespielt werden. Jede neu hinzugekommene Kieferposition kann mit der vorherigen Position überlagert und dabei die neu hindurchdringenden Punkte in diese Fläche übernommen werden.

Neben der Verwendung des virtuel-len Artikulators für die Restaura-tions-gestaltung lässt sich auch der Einfluss des Kiefergelenks auf die Bewegung un-tersuchen. Diese Parameter können schrittweise verändert und für die jewei-ligen Bewegungsmuster in Form des vir-tuellen FGPs abgespeichert werden. Stu-dien belegen, dass bei guter Restbezah-nung und unter Beibehaltung der Eck-zahnführung nur in 20 % der Fälle die

Abweichungen im gesamten Restaurationsbereich größer sind als 100 µm [2, 8]. Selbst unter der Annahme, dass diese Abweichungen in einigen Fällen eintreten, sind diese Werte im Vergleich zu den normal notwendigen Einschleifmaßnahmen als unproblematisch einzustufen (Abb. 10–11).

Zusammenfassung

Insgesamt bieten die optoelektronischen Intraoral-Abformsysteme ein großes Zukunftspotenzial. Bei geeigneter Indikation können digitale Scansysteme als echte Alternative zu konventionellen Abformtechniken genutzt werden. Gerade bei Einzelkronen und kleinen Brücken ist die Genauigkeit der gesamten Prozesskette konventionellen Verfahren durchaus vergleichbar, teilweise sogar überlegen. Die damit geschaffenen Datensätze vereinfachen im

Online-Datenaustausch die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker, unabhängig von der Entfernung. Allerdings gilt es, die Vorteile der Scanverfahren gegenüber der herkömmlichen Abformung gegen die noch bestehenden Limitationen abzuwägen. Die vielseitige Integration der Digitalabformung in Diagnostik- und Therapiekonzepte im Rahmen eines „Healthcare Pakets“ für den Patienten erscheint jedoch zukunftssträftig.

Ein intraoral generiertes, funktionelles Bissregistrar aus Wachs oder Silikon lichtoptisch abzuformen und auf diese Weise mit der Präparationsaufnahme zu referenzieren, ist schon seit geraumer Zeit möglich, um die dynamische Okklusion in den digitalen Arbeitsprozess zu integrieren [19]. Der Nutzen ist, dass dieses FGP direkt alle möglichen, individuellen Parameter berücksichtigen kann. Die Herausforderung ist jedoch, dass es kein Material gibt, das prä-

zise die Bewegung aufzeichnen kann. Viskosität und plastische Eigenschaften der Elastomere lassen nicht zu, dass bei Kollision mit dem Gegenkiefer sofort das Material an dieser Stelle verdrängt wird, gleichzeitig die direkte Nachbarschaft durch Wegdrücken oder Nachfließen von Material unbeeinflusst bleibt. Das virtuelle FGP dagegen kann exakt berechnet werden. Damit lassen sich aus der Überlagerung vom statischen und funktionellen Registrar die Berührungspunkte bestimmen, die als mögliche Kandidaten für die okklusale Kontaktpunkte bei der Konstruktionsberechnung in Frage kommen. Dieser Aspekt kann im konventionellen Verfahren aufgrund der Ungenauigkeit der elastomeren Abformung nicht exakt umgesetzt werden [23].

Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde, Manfred Kern, Schriftführung, info@ag-keramik.de
www.ag-keramik.de

Literatur

- Arnetz G: Optische versus konventionelle Abformung. Wie präzise sind die Methoden? ZMK 2010;26:19–24
- End A: Statische und dynamische Okklusionstheorien. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, Saarbrücken 2011
- Ender A, Mehl A: Full arch scans: Conventional versus digital impressions – an in vitro study. Int J Comput Dent 2011;14: 11–21
- Güth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D: Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. Clin Oral Investig 2012;17: 1201–1208
- Holmes JR, Sulik WD, Holland GA, Bayne SC: Marginal fit of castable ceramic crowns. J Prosthet Dent 1992;67: 594–599
- Kordaß B: Function – Functioning. Int J Comput Dent 2012;15:87–88
- Litzenburger AP, Hickel R, Richter MJ, Mehl AC, Probst FA: Fully automatic CAD design of the occlusal morphology of partial crowns compared to dental technicians' design. Clin Oral Investig 2013;17: 491–498
- Lottanti S, Ender A, Attin T, Mehl A: The impact of changing articulator settings on functionally generated pathways (FGP). Int Prosthodont 2012; submitted
- McLean JW, Fraunhofer JA: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. Br Dent J 1971;131: 107–111
- Mehl A: Up-Date CAD/CAM. Referat auf der Jahrestagung der DGCZ, Stuttgart 2013
- Mehl A: A new concept for the integration of dynamic occlusion in the digital construction process. Int J Comp Dent 2012; 15:109–123
- Mehl A, Ender A, Mörmann W, Attin T: Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. Int J Comput Dent 2009;12:11–28
- Meyer FS: The generated path technique in reconstruction dentistry. Part II: Fixed partial dentures. J Prosthet Dent 1959;9: 432–440
- Olthoff L, Meijer I, de Ruiter W, Bosman F, van der Zel J: Effect of virtual articulator settings on occlusal morphology of CAD/CAM restorations. Int J Comput Dent 2007;10:171–185
- Proschel P, Morneburg T, Hugger A et al.: Articulator related registration – a simple concept for minimizing eccentric occlusal errors in the articulator. Int J Prosthodont 2002;15:289–294
- Reich S, Vollborn T, Mehl A, Zimmermann M: Intraoral optical impression system: an overview. Int J Comput Dent 2013;16:143–162
- Reich S: Marginale Passung von CAD/CAM-gefertigten Kronen. Referat auf der Jahrestagung der DGCZ, Stuttgart 2013
- Reich S, Vollborn T, Wolfart S: Die optische intraorale Abformung. Dtsch Zahnärztl Z 2012;67:177–189
- Reiss B: Occlusal surface design with Cerec 3D. Int J Comput Dent 21002;6:333–342
- Ruge S, Kordaß B: 3D-VAS – initial results from computerized visualization of dynamic occlusion. Int J Comput Dent 2008; 11:9–16
- Scotti R, Cardelli P, Baldissara P, Monaco C: Clinical fitting of CAD/CAM zirconia single crowns generated from digital intraoral impressions based on active wavefront sampling. J dent 2010;38:553–559
- Seelbach P: Digitale Abformverfahren in der zahnärztlichen Praxis. ZMK 2010;26: 580–584
- Stumbaum M: Anwendbarkeit der FGP-Technik bei der computergestützten Okklusionsgestaltung. Dissertation, Universität München 2005
- Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodessaer J: Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. J Dent (Elsevier) 2010;38:553–559
- Trikovic B, Todorovic A, Lazic V, Draganjac M, Mirkovic N, Jokic B: Accuracy of optical scanning methods of the Cerec 3D system in the process of making ceramic inlays. Vojnosanit Pregl 2010;67:812–818
- Wöstmann B, Rehmann P: Zahnärztliche Prothetik – Analoge vs. digitale Abformung. Der Freie Zahnarzt 2013;4:78–86
- Wöstmann B, Seelbach P: Abformung konventionell oder digital? Quintessenz 2012;63:1567–1575
- Wöstmann B, Seelbach P: Intraorale Scansysteme für die digitale Abformung. ZWR 2011;120:598–599