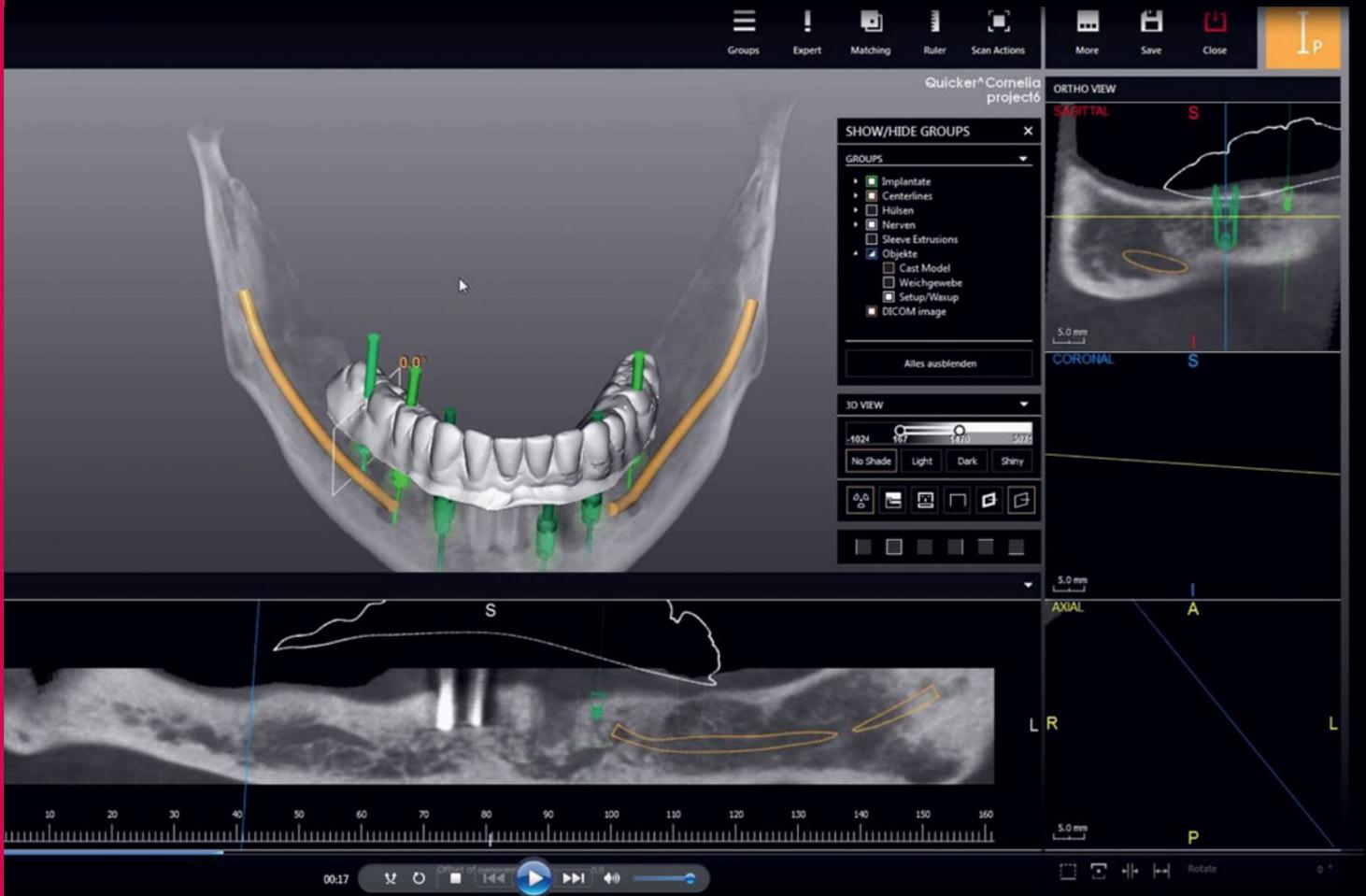


Digitale Diagnostik und Therapie im Team

KARSTEN KAMM



Einleitung

Wie sieht die digitale Praxis heute aus, in Bezug auf patientenorientierte Diagnostik und Therapie im Team? Es gibt eine Vielzahl von klinischen Langzeitstudien⁵ mit einer Behandlungsdauer von zum Teil mehr als zehn Jahren, die belegen, dass CAD/CAM-gefertigte Restaurationen aus Vollkeramik eine gute Überlebensrate aufweisen. Im Rahmen der automatisierten Herstellung wird eine kostengünstigere Produktion ermöglicht. Weiterhin bietet die digitale Technologie einen Zugang zu neuen, nahezu fehlerfreien industriell vorgefertigten Restaurationmaterialien. Aufgrund der Digitalisierung gibt es standardisierte Verfahrensketten mit einhergehender Qualitätssteigerung und Reproduzierbarkeit. Dadurch verbesserten sich die Präzision

und die Planung, außerdem können die keramischen Werkstoffe effizienter genutzt werden (Abb. 1).

Digitale Diagnostik

In der Zahnmedizin ist die richtige Diagnose entscheidend für den weiteren Therapieverlauf. Es gibt einige digitale Verfahren, die den Anwender bei der korrekten Diagnostik und Therapiefindung in verschiedenen Fragestellungen mit digitaler Technologie unterstützen können. Eine strukturierte Dokumentation der Intraoralsituation ermöglicht oftmals, wichtige Details zu erkennen, die bei einer reinen intraoralen Inspektion übersehen worden wären. Ergänzt werden diese Fotos durch hochauflösende Intraoralscans (Abb. 2) mit Aufnahmequalitäten, die an HD-Fotos heranreichen.

Zusammenfassung

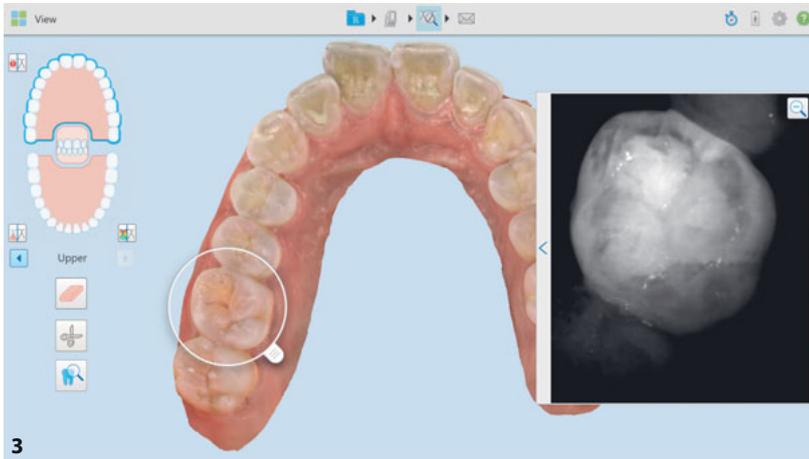
Es gibt inzwischen eine Vielzahl digitaler Lösungen und Hilfsmittel für einzelne zahnärztliche Behandlungs- und zahntechnische Herstellungsschritte. Der Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der Technik im Bereich Diagnostik, Zahnfarbbestimmung und Okklusionsanalyse und zeigt die Möglichkeiten der Verwendung der Daten aus Intraoralscannern und Gesichtsscans.

Indizes

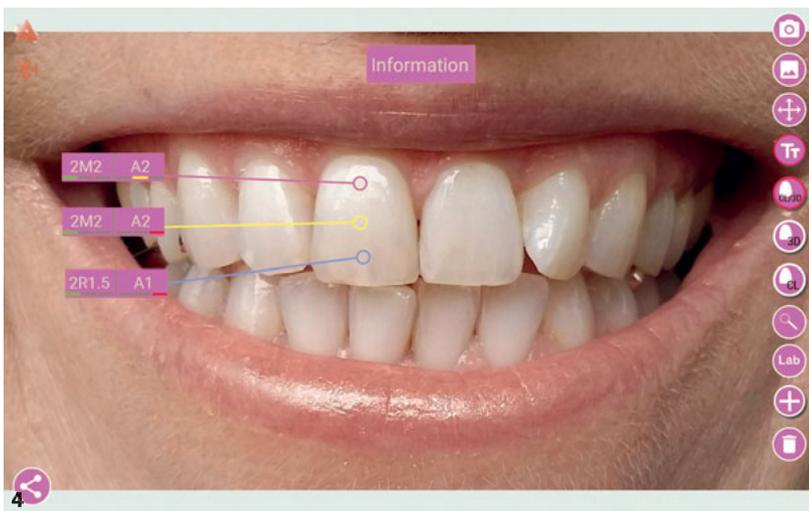
Intraoralscan, Gesichtsscan, digitale Diagnostik, Zahnfarbbestimmung, Okklusionsanalyse



Abb. 1 CAD/CAM-gefertigte Restaurationen aus Vollkeramik. **Abb. 2** Hochauflösender Intraoralscan.



3



4

Abb. 3 Digitale Karieserkennung mit dem iTero Element 5D Imaging System.

Abb. 4 Zahnfarbbestimmung mit VITA Easyshade V.

Im Bereich der Kariologie sind heute die Kariesdetektion mit Laserfluoreszenz (z. B. DIAGNOdent; Fa. KaVo, Biberrach) oder die DIFOTI-Technologie (z. B. DIAGNOcam; Fa. KaVo) zu nennen. Villano belegte 2017 den Nutzen des DIAGNOcam®-Verfahrens zur Kariesdetektion und -diagnose im Milchgebiss¹⁰.

Bei der DIAGNOcam® handelt es sich um ein kompaktes Diagnosegerät, mit dem frühzeitig Karies entdeckt werden kann. Es nutzt die genannte DIFOTI-Technologie (Digitale bildgebende Fiberopische Transillumination), um den Zahn zu durchleuchten und die einzelnen

Kariesphasen (initiale Karies, etablierte Schmelzkaries, Dentinkaries usw.) differenziert zu erkennen. Gesunde Zahnschmelzsubstanz erscheint in diesem Licht glasähnlich durchsichtig, während die von Karies betroffenen Bereiche dunkel bleiben.

Hier kommt den modernen Intraoralscannern in Zukunft eine neue Rolle zu. Erste Intraoralscanner mit Nahinfrarot-Bildgebungstechnologie (NIRI), die die innere Struktur eines Zahns (Zahnschmelz und Dentin) in Echtzeit scannen, sind auf dem Markt. Sie helfen dabei, interproximale Kariesläsionen über

der Gingiva festzustellen und zu überwachen. Das Nahinfrarot-System (NIRI) liegt im Bereich des elektromagnetischen Spektrums zwischen 0,7 und 2,0 Mikrometern (μm). Das iTero Element 5D Imaging System (Fa. Align Technology, San Jose, USA) verwendet Licht der Wellenlänge (850 nm), das bei Wechselwirkung mit dem Hartgewebe eines Zahns zusätzliche Daten über seine Struktur liefert. Zahnschmelz erscheint transparent. Aufgrund des reduzierten Streukoeffizienten des Lichts im Schmelz durchläuft das Licht seine gesamte Dicke und präsentiert sich als dunkler Bereich, während das Dentin hell erscheint durch die Streueffekte des Lichts, hervorgerufen durch die Ausrichtung der Dentintubuli. Etwaige Störungen/pathologische Läsionen/Veränderungen der Demineralisation erscheinen als helle Bereiche (Abb. 3).

Digitale Zahnfarbbestimmung

Neben der Farbbestimmung durch einige Intraoralscanner werden nunmehr seit einigen Jahren auch digitale Farbbestimmungssysteme verwendet. Diese Systeme bieten in erster Linie den Vorteil einer sehr hohen Wiederholgenauigkeit, was mittlerweile in zahlreichen klinischen Studien⁹ und Laboruntersuchungen festgestellt wurde. Das Spektrofotometer VITA Easyshade V (Fa. Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) wurde für die präzise, schnelle und zuverlässige Farbbestimmung natürlicher Zähne sowie keramischer Restaurationen entwickelt. Das von diesem Gerät emittierte Licht wird im Zahninneren gestreut, von der Messspitze aufgenommen und per Faseroptik in das Gerät geleitet. Dort wird die spektrale Zusammensetzung des Lichts ermittelt und ausgewertet (Abb. 4). Der Messvorgang läuft umgebungsunabhängig, schnell und präzise ab.

Digitale Okklusionsanalyse

Das T-Scan Verfahren (Fa. Tekscan, South Boston, USA) registriert mithilfe einer elektronischen Sensorfolie sehr genau und reproduzierbar, welche Kontaktstellen beim Zusammenbeißen wie stark zusammentreffen. Dies wird anhand der Höhe von Messbalken am Bildschirm angezeigt. Dabei wird auch der Zeitverlauf erfasst und grafisch dargestellt. Die Anwendung beschränkt sich nicht nur auf den Kieferschluss (Zentrik), sondern auch auf die Kieferbewegung, die sogenannte dynamische Okklusion. Damit können Störkontakte aufgespürt werden. Als weiteres System ist OccluSense der Fa. Bausch (Köln) zu nennen.

Digitale dentale Diagnostik mit Intraoralscannern

Gerade im Bereich der Dokumentation und Kommunikation kommt dem Intraoralscan eine große Bedeutung zu. Hochauflösende Echtfarbenscans ermöglichen eine nahezu realitätsgenaue Wiedergabe der intraoralen Situation auf dem Bildschirm. Hinzu kommen, wie oben beschrieben, weitere Diagnosefunktionen, wie Kariesdiagnostik mithilfe von Nahinfrarot-Bildgebungstechnologie (NIRI),

Farbbestimmung (Abb. 5) und insbesondere die Analysefunktionen. Die LED-Lichtquelle im Scankopf sendet hierbei Wellenlängen im sichtbaren Lichtspektrum auf die Zahnoberfläche aus und registriert die zurückgestrahlte Lichtmenge. Anschließend wird die Zahnfarbe berechnet, aus den während des Scanprozesses erlangten Farbinformationen, basierend auf einem Algorithmus.

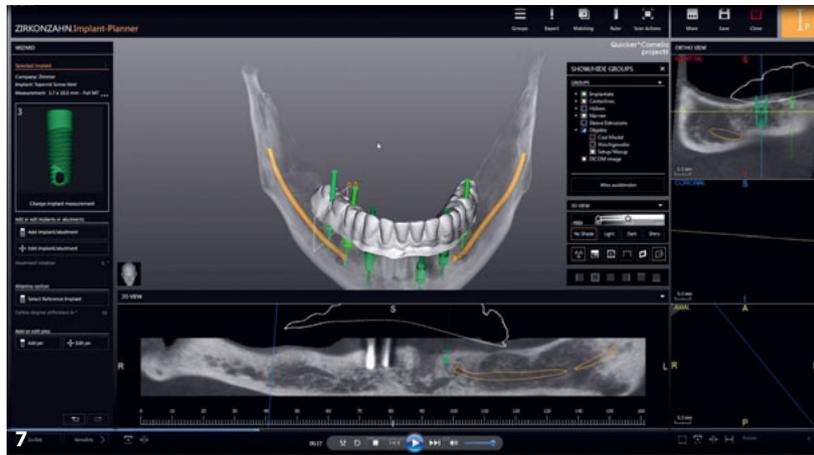
Bei den Analysetools spielen die Softwarelösungen der einzelnen Geräte die entscheidende Rolle. Beispielsweise werden eine mögliche Restaurationsschichtstärke angezeigt, die Okklusions- bzw. Artikulationsanalyse noch vor der Fertigung oder auch die automatisierte Analyse der Präparation auf Grundlage bestimmter anderer Parameter. Die Datenfusion bietet die Möglichkeit, entweder Dateninformationen, die an unter-

schiedlichen Stellen in der Prozesskette gewonnen werden, in einem einzigen Datensatz mit einem bestimmten Zweck zusammenzuführen, oder aber unterschiedliche Daten zusammenzuführen (matchen).

So können Gesichtscan-, Intraoralscan- und Konstruktionsdaten miteinander kombiniert werden (Abb. 6a). Diese Daten stehen dem Zahnarzt und Zahntechniker als 3-D-Daten zur Verfügung und können frei im 3-D-Raum bewegt werden. Dadurch können im Bereich der Kommunikation untereinander, aber auch mit dem Patienten, ganz neue Ebenen erreicht werden. Der mögliche Zahnersatz wird konstruiert und vor der Produktion mit der Praxis und dem Patienten durchgesprochen und gegebenenfalls korrigiert. Vorher und Nachher können verglichen werden (Abb. 6b).

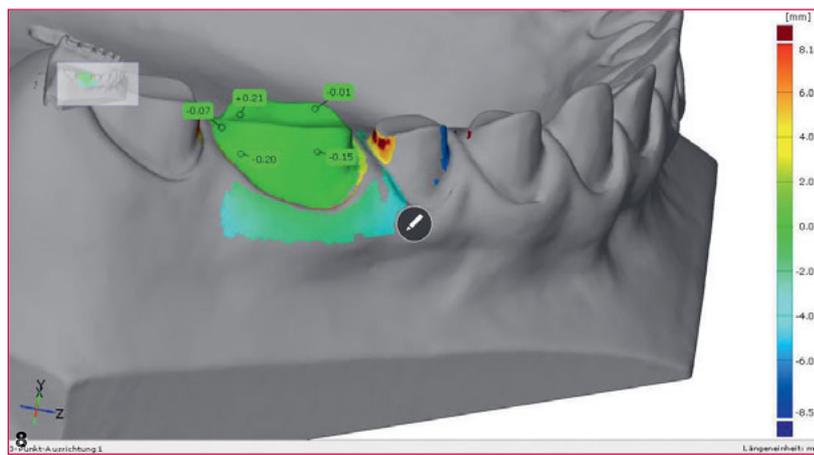


Abb. 5 Zahnfarbbestimmung mit dem Scanner von 3Shape. **Abb. 6a** Kombination von Gesichtscan-, Intraoralscan- und Konstruktionsdaten. **Abb. 6b** Vorabvergleich der Mundsituation vor und nach der Restauration.



Dies spart Zeit und Kosten für Korrekturen oder sogar Neuanfertigungen. Das wohl bekannteste Beispiel für Datenfusion ist das Matchen von Intraoralscandaten und 3-D-DVT-Daten beim Einsatz von voll navigierten Implantatsystemen (Abb. 7).

Im Bereich der Dokumentation und Diagnostik stellt die digitale 3-D-Verlaufskontrolle mit spezieller Differenzanalyse-Software eine weitere interessante Möglichkeit dar, um intraorale Scansysteme einzusetzen. Das Prinzip der 3-D-Verlaufskontrolle durch Differenzanalyse beruht auf einer softwaregestützten Überlagerung von digitalen Datensätzen (zum Beispiel Intraoral-scans), die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen wurden. Heutzutage gibt es mehrere Softwarelösungen, die im dentalen Bereich speziell für diese Zwecke eingesetzt werden, wie zum Beispiel Inspect (Fa. Gom, Braunschweig) (Abb. 8), Convince (Fa. 3Shape, Kopenhagen, Dänemark) (Abb. 9), OraCheck (Fa. Cyfex, Zürich, Schweiz) und Geomagic (3D Systems, Ettlingen) (Abb. 10).



Bei der 3-D-Verlaufskontrolle werden zunächst zwei digitale Datensätze im STL-Dateiformat übereinander gematcht. Bei den meisten Softwarelösungen müssen die Scandatenätze manuell importiert und über ein 3-Punkt-Match kombiniert werden. In einigen Scansoftware gibt es jedoch auch integrierte Lösungen, bei denen die Analyse automatisch abläuft. Diese Übereinanderlagerung der Datensätze funktioniert häufig nach einem Best-Fit-Algorithmus. Die für die Überlagerung wichtigen Bereiche können entsprechend auf den Datensätzen ausgewählt werden. Zum Beispiel sollten beim Matchen von Gesichtsscans nur die Bereiche ausgesucht werden, die sich durch die Mimik nicht verändern.

Für die Differenzanalyse-Software sind verschiedene klinische Fragestellun-

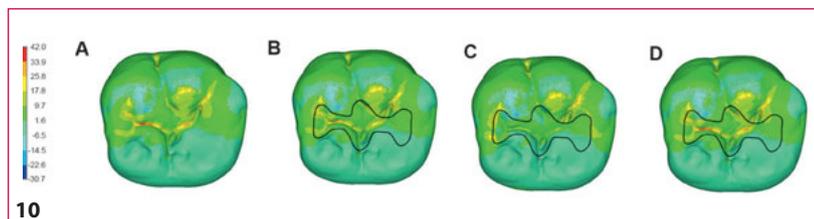
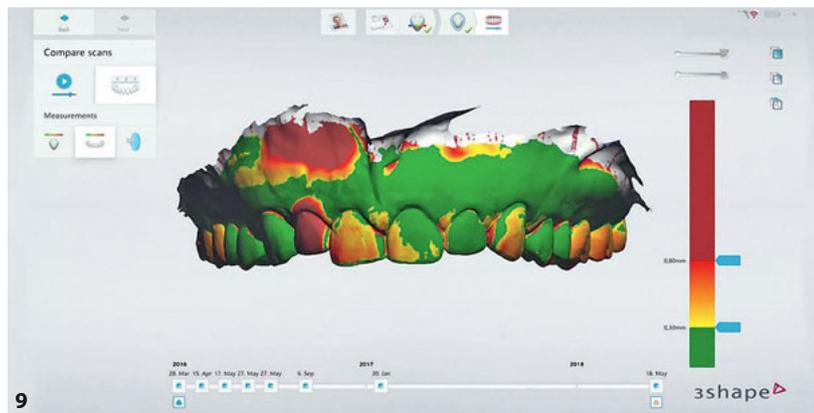


Abb. 7 Matchen von Intraoralscandaten und 3-D-DVT-Daten. **Abb. 8** Verlaufskontrolle anhand softwaregestützter Überlagerung von Datensätzen mit Inspect. **Abb. 9** Verlaufskontrolle mit Convince. **Abb. 10** Analyse der Scandatenätze.

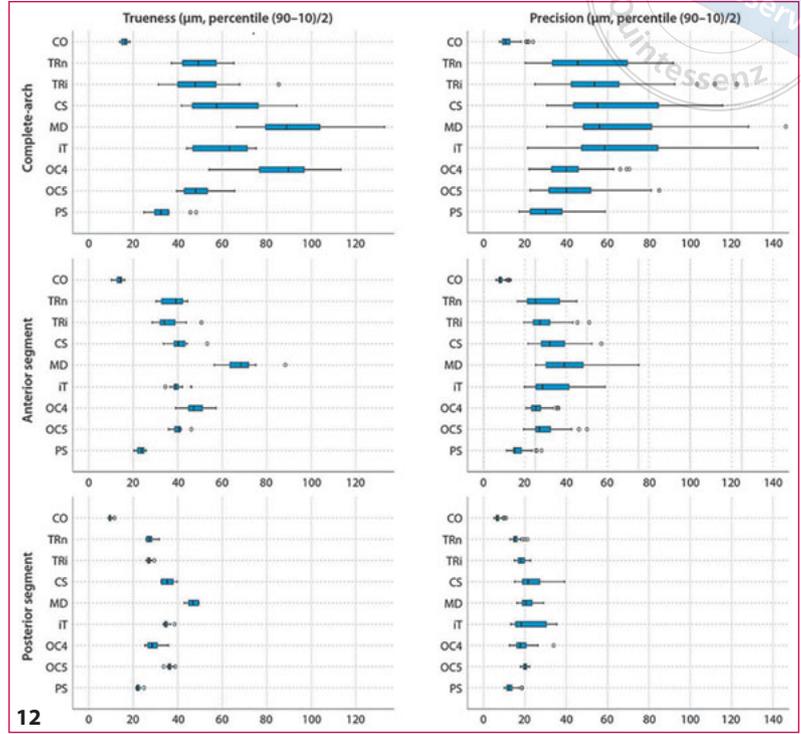
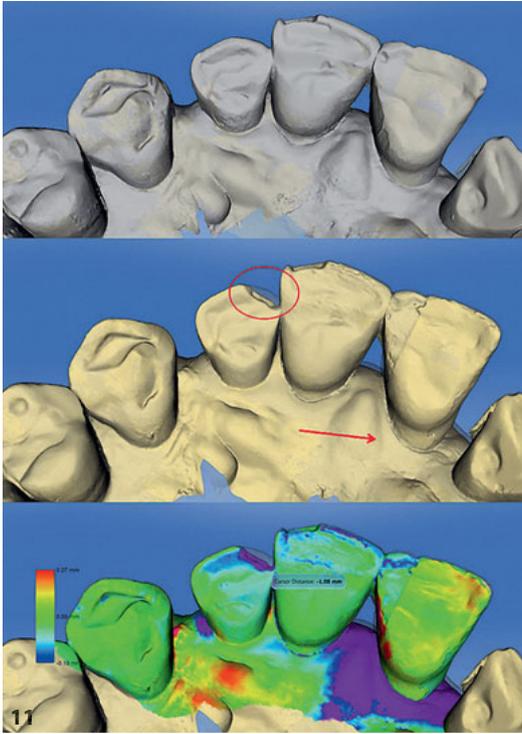


Abb. 11 Darstellung gingivaler Veränderungen in der Analysesoftware. **Abb. 12** Ergebnisse einer Studie zu digitalen Abdrücken.

gen denkbar. Heutzutage wird die Software vor allem für die Verlaufskontrolle von Erosionen, Abrasionen, und Attritionserscheinungen sowie für die Darstellung gingivaler Veränderungen eingesetzt (Abb. 11). Aber auch viele Einsatzgebiete im Bereich der Kieferorthopädie sind heute möglich. So kann in der Alig- nertechnologie der Verlauf der Behandlung mit der errechneten Sollsituation verglichen werden.

Digitales intraorales Scannen

Jede zahntechnische oder kieferortho- pädische Versorgung beginnt mit einer Abformung. Man schätzt, dass circa acht bis zehn Prozent der deutschen Zahn- ärzte einen Intraoralscanner (IOS) benutzen. Diese geringe Zahl hat verschiedene Gründe. Der größte Irrtum liegt darin,

dass noch immer Zweifel an der Genau- igkeit von digitalen Abformungen herr- schen. Die Genauigkeit intraoraler Scan- systeme, die naturgemäß für eine erfolg- reiche klinische Prozesskette notwendig ist, konnte in zahlreichen Studien erfolg- reich nachgewiesen werden^{1,3}.

Im Rahmen der Einschränkungen der Studien sind digitale Abdrücke, die von IOS gewonnen werden, eine gül- tige Alternative zu konventionellen Ab- formungen. Die Ergebnisse reichten von 16,3 [2,8] µm bis zu 89,8 [26,1] µm für die In-vitro-Genauigkeit und von 10,6 [3,8] µm bis zu 58,6 [38,4] µm für die In-vitro- Präzision bei den Ganzkörperabdruck- methoden. Die besten Werte für die Rich- tigkeit von Teilbogenabdrücken wurden für den Seitenzahnbereich gefunden, mit 9,7 [1,2] µm für die konventionelle Abdruckmethode und 21,9 [1,5] µm für

die digitale Abdruckmethode (Abb. 12). Umfassendere Restaurationen bis hin zu mehrgliedrigen Brückenkonstruktionen, Ganzkieferabformungen, Schienen sowie kieferorthopädische Modelle können im digitalen Workflow kosteneffektiv hergestellt werden. Durch die dreidimensionale Darstellung der Behandlungssi- tuation am Bildschirm mit Abbildung der Zahnstruktur und Gingivatextur kann die Qualität sofort kontrolliert werden.

Durch diese neue Form der digita- len Abdrucktechnik lässt sich die Effzi- enz der Behandlung noch weiter erhö- hen. Die Präparationsgeometrie (Präpa- rationsgrenze, Höhe, Einschubrichtung) kann direkt am Bildschirm kontrolliert, die Fehler können analysiert werden. Es wird im Mund im Präparationsbereich korrigiert. Ein erneuter Scan benötigt nur diese Korrekturen.



Der intraorale Scan hat im heutigen digitalen Workflow viele Vorteile:

- Korrigierbarkeit des Abdrucks
- Reproduzierbarkeit der Daten
- neue Behandlungskonzepte möglich
- direkte Kommunikationsdarstellung in Echtzeit
- direkte Qualitätskontrolle/Analyse-möglichkeiten der Präparation/Restauration
- Farbaufnahme
- Datenabgleich möglich
- Archivierungsoption
- 3-D-Planungen
- Kombinierbarkeit (Matching)
- digitale Kariesdiagnostik

und kann im Echtzeitmodus bearbeitet werden. Dadurch kann gemeinsam mit dem Patienten das von ihm gewünschte Lächeln individuell im Labor oder in der Praxis konstruiert werden (Abb. 13). Die Veränderungen an den Konstruktionsdaten können in Echtzeit im Gesichtsbild betrachtet und korrigiert werden. Somit kommt es im Bereich der Prothetik zu besseren ästhetischen Ergebnissen, bei geringerem zeitlichem Aufwand. Außerdem sind weniger Korrekturen während der Anproben notwendig. Dadurch ist eine individuelle Vorher-Nachher-Darstellung des zu erzielenden Lächelns möglich (Abb. 6b).

lumentomografen (DVT) mit den Daten eines Interoralscanners, eines Gesichtsscans und Funktionsdaten zu kombinieren (Abb. 7). Dies gestattet eine genauere und einfachere Therapieplanung des endgültigen Zahnersatzes, insbesondere unter funktionellen ästhetischen Gesichtspunkten. Zusätzlich sind weitere Daten aus Gesichtsscannern kombinierbar, die wichtige Aspekte der mimischen Muskulatur berücksichtigen. Die Qualität der Implantation und der späteren prothetischen Versorgungen wird durch diesen digitalen Workflow enorm erhöht. Es lassen sich neue Behandlungskonzepte umsetzen.

Visualisierung – Gesichtsscan

Die CAD-Konstruktionen können heute mit einem Gesichtsscan (unter anderem der Fa. Pritidenta, Leinfelden-Echterdingen; Fa. Zirkonzahn, Gais, Italien; Fa. Dental Wings, Berlin; Fa. Medit, Seoul, Korea) visualisiert werden. Ein ästhetisches, virtuelles Wax-up lässt sich realistisch in den Gesichtsscan einfügen

Backward Planning

Das wahre Potenzial entfaltet der 3-D-Scan erst durch die Dateifusion mit anderen diagnostisch erhobenen Daten. Es ist daher gut vorstellbar, dass der Intraoralscan in Zukunft einen wichtigen Platz in diesem Prozess einnimmt. Heute besteht die Möglichkeit, 3-D-Planungen samt Datenmaterial eines digitalen Vo-

Guided Surgery

Die Autoren arbeiten in ihren Praxen mit offenen Systemen. Dies bedeutet einen voll integrierten, geführten chirurgischen Arbeitsablauf. Es ist eine interaktive Prothetik- und Implantatplanung möglich. Scanschablonen für die Erstellung der digitalen Bohrschablone werden nicht mehr gebraucht. Basierend auf den gewünschten Kronendesigns und der Kronenposition kann das Implantat platziert werden. Dies passiert in Übereinstimmung mit der klinischen Situation, wie der Knochensituation, der Position der Nerven und der Weichteilsituation. Die Weichteilsituation wird über den intraoralen Scan eingefügt. Mit diesen Informationen können kostengünstige Bohrschablonen vor Ort hergestellt werden (3-D-Druckschablone). Der Export der präoperativen Planungsdaten aus der Planungssoftware macht es möglich, die präoperativen Provisorien zu gestalten und zu erstellen (Abb. 14). Heute lassen sich wie in einem Baukastensystem Bohrschablone, Bohrhülsen und Provisorium ineinanderstecken und das ganze System über Knochenpins im Mund der Patienten verankern.



Abb. 13 Konstruktion des vom Patienten gewünschten Lächelns im Labor.



Abb. 14
Präoperatives
Provisorium.

Die Zukunft der digitalen Zahnmedizin

Wurde mithilfe der Software das Wunschgebiss ausgewählt, dann fließen die Patientendaten zur Weiterbearbeitung in die 3-D-Software des Zahntechnikers ein. Um das virtuelle Erscheinungsbild der Zähne dynamisch verändern zu können, benötigt die Software eine Datengrundlage, etwa eine Datenbank (Library) mit 3-D-Aufnahmen von natürlich schönen Gebissen, wie sie bereits in der Dentalbranche verwendet werden. Die Software verrechnet die Daten und zeigt verschiedene Optionen an, die allerdings nicht genau auf das Patientengebiss abgestimmt sind. Dafür wird zusätzlich ein 3-D-Scan des Patientengebisses benötigt. Durch ein Matching dieser Daten, können dann im letzten Schritt die Konstruktionsdaten über die Datenbrille (AR-Brillen) in das reale Gesicht projiziert werden.

Erste Systeme verwenden das iPad als Kamera. IvoSmile (Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) beispielsweise ist eine Software-Applikation für die Visualisierung von ästhetischen Behandlungsoptionen direkt im Mund des Patienten. Die Technologie der Software basiert auf

der sogenannten „erweiterten Realität“ (Augmented Reality). Dank des virtuellen Bilds bzw. Videos wird das Behandlungsziel besser verständlich. Der Patient kann leichter eine Entscheidung treffen, ob er in eine detaillierte, zeit- und kostenintensive Planung einer kosmetischen Behandlung investieren möchte.

Literatur

1. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessenz Int* 2015;46:9–17.
2. Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent* 2013;16:11–21.
3. Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent* 2019;22:11–19.
4. Fehmer V, Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Thoma DS. Zahngetragene Vollkeramik- oder Metallkeramik-Konstruktion? *Quintessenz Zahn* 2016;42:574–584.
5. Fehmer V, Sailer I. Monolithische Kronen: Lithiumdisilikat versus Zirkonoxidkeramik. *Quintessenz* 2014;65:683–691.
6. Kühnisch J, Söchtig F, Pitchika V, Laubender R, Neuhaus KW, Lussi A, Hickel R. In vivo validation of near-infrared light transillumination for interproximal

dentin caries detection. *Clin Oral Invest* 2016; 20:821–829.

7. Mehl A, Koch R, Zaruba M, Ender A. 3D monitoring and quality control using intraoral optical camera systems. *Int J Comput Dent* 2013;16:23–36.
8. Meyer G, Ahsbahs S, Kern M et al. Vollkeramische Kronen und Brücken. S3-Leitlinie https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-012l_S3_Vollkeramische_Kronen_Br%C3%BCken_2015-04-abgelaufen.pdf (Zugriff 06.10.2020).
9. Olms M. Reproduzierbarkeit und Reliabilität intraoraler Spektrophotometer. *DZZ* 2019;74:102–11.
10. Villano A. Nutzen des DIAGNOcam®-Verfahrens zur Kariesdetektion und -diagnose im Milchgebiss. Dissertation. Zürich: University of Zurich, 2017.



Prof. Dr. Karsten Kamm

Professur für digitale Zahnmedizin an der University DTMD, Luxemburg
Praxis Zahngesundheit Baden-Baden
Hans-Bredow-Str. 24
76530 Baden-Baden
E-Mail: karsten.kamm@dtmd.eu;
kk@z-b-b.de