Diagnostik, Planung etc.

Dr. Rolf Kühnert, Chemnitz

Einleitung

Dass die Verwendung digitaler Methoden in der KFO eine Reihe von Vorteilen mit sich bringt, ist inzwischen weitgehend unbestritten. Wie diese Vorteile im konkreten Fall aussehen und genutzt werden können, hängt im Wesentlichen davon ab, mit welcher Kombination aus bildgebenden Systemen und bildverarbeitender Software bislang „analog“ umgesetzte Arbeitsabläufe digital abgebildet werden können.

Neben Kosten und Eignung der einzelnen Komponenten spielen dabei auch Fragen wie die Verfügbarkeit von Schnittstellen und Anforderungen an das konzeptionelle Verständnis und die Qualifikation der Mitarbeiter eine nicht unbedeutende Rolle.

Nachfolgend soll anhand von einigen typischen, schon heute in vielen KFO-Praxen und klinischen Einrichtungen genutzten und digital gut umsetzbaren Workflows dargestellt werden, welche Möglichkeiten die kieferorthopädische Bildverarbeitungssoftware OnyxCeph3™ hierzu aktuell bereitstellt und welche Entwicklungen für die nahe Zukunft absehbar sind.

Kieferorthopädische Bildverarbeitungssoftware

OnyxCeph3™ ist mit knapp 3.000 lizenzierten Anwendern in mehr als 65 Ländern eine auf dem KFO-Markt weitverbreitete Bildverarbeitungssoftware, deren medizinische Zweckbestimmung vor allem in der Verwendung von fallbezogenen 2D- und 3D-Bilddaten für Aufgaben der bildgestützten Diagnostik, Behandlungsplanung, Dokumentation und Patientenberatung besteht.

Die Software ist modular aufgebaut und erlaubt eine in weiten Grenzen flexible Zusammenstellung der benötigten Funktionalitäten durch Freischaltung optionaler Module im Rahmen der jeweiligen vorkonfigurierten Programmversion, wobei auch die Hostanwendung selbst umfangreiche Funktionen und modulübergreifende Features bereitstellt.

Besonders die online wie offline nutzbare Kommunikation zwischen Onyx-Applikationen erweist sich im Zusammenhang mit ihrer Mehrmandantenfähigkeit zunehmend als nützlich, u.a. für eine effektive Arbeitsteilung zwischen Praxis und Labor.

Neben entwicklungsseitig relativ abgeschlossenen 2D-Modulen für traditionelle Einsatzgebiete wie FRS- und Foto-Auswertung, Behandlungssimulation, Überlagerungen von Durchzeichnungen u.v.m., wächst die Liste der 3D-Module von Jahr zu Jahr kontinuierlich.

Das widerspiegelt die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten von 3D-Bilddaten in der KFO und die daraus resultierenden Wünsche und Anforderungen.

Stand der Technik

Die meisten der schon heute in vielen Praxen digital umgesetzten Arbeitsabläufe im Rahmen von Vorbereitung und Planung einer KFO-Behandlung beruhen auf der Verwendung digitaler Modelle.

Dabei unterscheidet OnyxCeph3™ zwischen mehreren qualitativ unterschiedlichen Bearbeitungszuständen: (A) dem eigentlichen, apikal offenen Scan, der in Bisslage von Modellscannern und in zunehmendem Maße auch von Intraoralscannern (teilweise mit Textur) bereitgestellt und beim Import nach topologischer Netzkorrektur skelettal ausgerichtet wird, (B) dem daraus durch virtuelles Sockeln erzeugten Archiv- bzw. Studienmodell und schließlich (C) dem nach Durchlauf mehrerer Vorverarbeitungsstufen im Modul Segmentieren vorliegenden Arbeitsmodell mit zusätzlichen separaten 3D-Objekten für Einzelzähne und Restkiefer, individuellen Kronenkoordinaten und Landmarks. Das Arbeitsmodell stellt die Datenbasis für sämtliche Weiterverarbeitungsschritte bereit und beinhaltet zudem alle relevanten Informationen seiner Vorgänger; seine durchschnittliche Größe liegt typischerweise zwischen 10 und 20 MByte (Abb. 1).

Beispiel Diagnostik

Die scheinbar naheliegendste Einsatzmöglichkeit für digitale Arbeitsmodelle ist die diagnostische Vermessung im Rahmen der Modellanalyse. Da der Datensatz die Geometrie der enthaltenen Teilobjekte wie Zahnbögen und Einzelzähnen mit hoher metrischer Genauigkeit kennt, kann zumindest die Bewertung der Platzsituation automatisch erfolgen. Hierzu wird in der für bleibendes und Wechselgebiss bereitgestellten Onyx-

Abb. 1

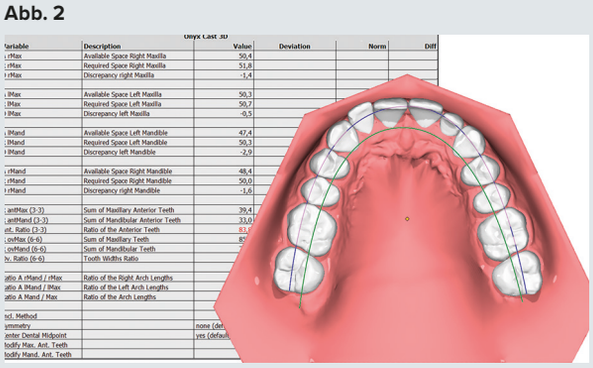
Scanmodel (links) - Studienmodell - Arbeitsmodell (rechts)

Modellanalyse unter Nutzung des auch in Planungsmodulen angewandten sogenannten Monson-Andrews-Konzeptes ein diagnostisches Setup erstellt, indem die segmentierten Einzelzähne mesial-distal entlang der den jeweiligen Zahnbogen beschreibenden räumlichen Coreline angeordnet werden. Damit kann die Differenz zwischen verfügbarem und benötigtem Platz im (diagnostischen) Zielzahnbogen auf Basis der realen Kronen- und Zahnbogengeometrie und unter Vorgaben von Zielparametern wie Mittellinienausgleich, Zielinklination, Zielbogensymmetrie, Stützzonenapproximation u.a. automatisch und weit schneller und genauer berechnet werden, als dies mit traditionellen Punkt-zu-Punkt-Messungen am physischen Modell möglich ist.
Gleiches gilt für die z.T. aus versicherungsrechtlichen Gründen erforderliche Quantifizierung von Behandlungsnotwendigkeit und Behandlungserfolg durch hierfür vorgesehene Indizes (z.B. IOTN, PAR), deren definitionsgemäße Berechnung streng interpretiert sogar nur digital möglich ist.
Natürlich kann der Anwender auch die ihm vertrauten traditionellen Modellanalysen aus der Analysebibliothek auswählen und anwenden, sollte sich dabei aber immer über die methodischen Unterschiede in Bezug auf die Berechnung konkreter Resultate im Klaren sein, besonders dann, wenn er diese im späteren Arbeitsablauf im Kontext einer virtuellen Zielplanung bewerten will (Abb. 2).

Beispiel indirektes Kleben

Für die Verwendung digitaler Arbeitsmodelle zum i/d Kleben stellt OnyxCeph3™ eine ganze Reihe von Modulen bereit, mit deren kombinierter Anwendung sich unterschiedliche Methoden der Bracketplatzierung (Abb. 3) und Übertragung einschließlich Finishing umsetzen lassen.
Hierzu kann (seit kurzem auch online) auf eine Bracket-Datenbank mit insgesamt ca. 5.000 Einzelartikeln zurückgegriffen werden. Prinzipiell wird unterschieden zwischen der Bestimmung der Bracketposition am fehlgestellten Zahn auf Basis empirischen und algorithmischen Wissens (FA_Bonding) und der Platzierung der virtuellen Brackets relativ zum Zielzahnbogen einschließlich Individualisierung von Zielbogen und Basis unter Einbeziehung der für die Zielsituation bekannten Randbedingungen (Wire_Bonding).
Vor- und Nachteile der beiden Methoden lassen sich nur für konkrete, im Detail bekannte Arbeitsabläufe vergleichen. Auch aus diesem Grund ist es (natürlich

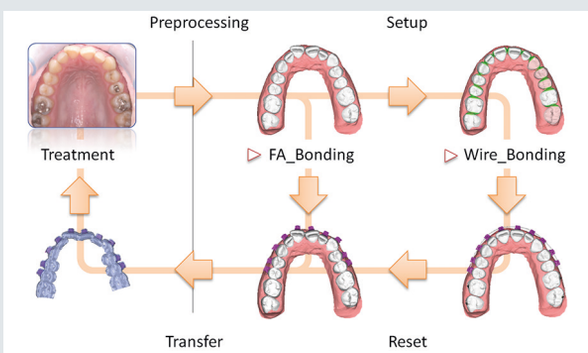
Abb. 2



Variable	Description	Value	Deviation	Norm	Diff
r rMax	Available Space Right Maxilla	50,4			
r rMax	Required Space Right Maxilla	51,8			
r rMax	Discrepancy right Maxilla	-1,4			
l lMax	Available Space Left Maxilla	50,3			
l lMax	Required Space Left Maxilla	50,7			
l lMax	Discrepancy left Maxilla	-0,5			
l lMand	Available Space Left Mandible	47,4			
l lMand	Required Space Left Mandible	50,3			
l lMand	Discrepancy left Mandible	-2,9			
r rMand	Available Space Right Mandible	48,4			
r rMand	Required Space Right Mandible	50,0			
r rMand	Discrepancy right Mandible	-1,6			
l antMax (3-3)	Sum of Maxillary Anterior Teeth	39,4			
l antMand (3-3)	Sum of Mandibular Anterior Teeth	33,0			
ant. Ratio (3-3)	Ratio of the Anterior Teeth	83,6			
l ovMax (6-6)	Sum of Maxillary Teeth	85			
l ovMand (6-6)	Sum of Mandibular Teeth				
ov. Ratio (6-6)	Tooth Widths Ratio				
ratio A rMand / rMax	Ratio of the Right Arch Lengths				
ratio A lMand / lMax	Ratio of the Left Arch Lengths				
ratio A Mand / Max	Ratio of the Arch Lengths				
incl. Method					
symmetry		none (def			
center Dental Midpoint		yes (default			
modify Max. Ant. Teeth					
modify Mand. Ant. Teeth					

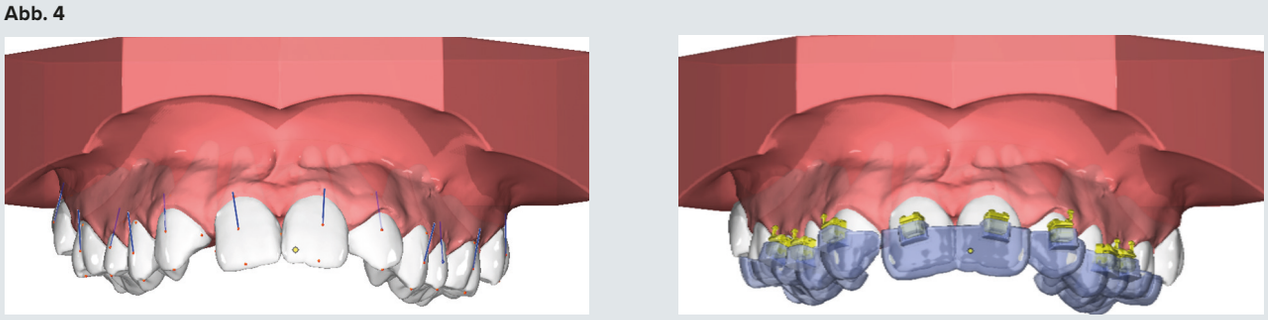
Onyx-Modellanalyse (Bewertung der Platzsituation)

Abb. 3



Varianten der virtuellen Bracketplatzierung

Abb. 4



FA-Berechnung und Übertragung von Bracketpositionen mittels Bonding-Tray

nicht nur im Zusammenhang mit indirektem Kleben) empfohlen, sich vor Einführung einer solchen Technik und damit evtl. verbundenen Investitionen einen detaillierten Überblick zum Stand der Technik zu verschaffen und Alternativen für die angedachte Arbeitsweise gegenseitig abzuwägen (Abb. 4).

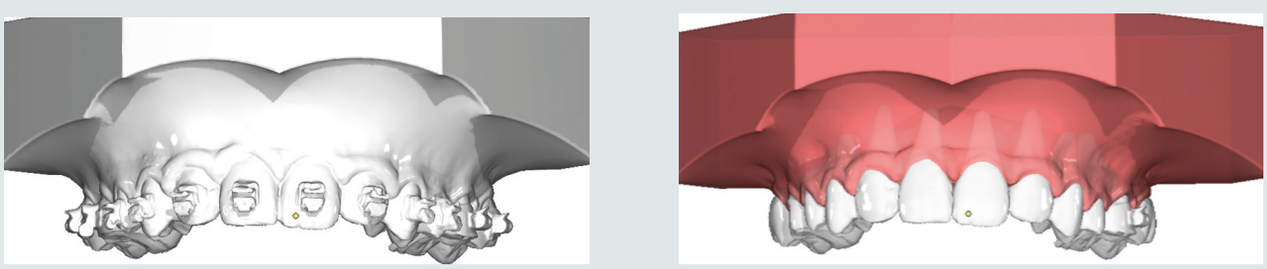
Vor dem Hintergrund einer solchen Analyse scheint für viele Anwender z.B. die Kombination aus FA-Bonding und Aligner-Finishing ein interessanter Ansatz zu sein. Hier wird der Präzisions-Nachteil der regelbasierten Bracketpositionierung zu Behandlungsbeginn im Gegenzug für eine deutlich schnellere Umsetzung im Vergleich zur setupbasierten Variante zunächst in Kauf genommen, um in der Finishingphase nach erneutem Scan und virtueller Bracketentfernung eine dann wesentlich einfachere, schnellere und ggfls. realistischere Zielplanung durchzuführen und darauf aufbauend zwei bis drei Finishing-Schienen herzustellen, die dann bereits zum Zeitpunkt der Bracketentfernung zur Verfügung stehen (Abb. 5).

Analog lassen sich anstelle der Aligner bei Benutzung des zur Übertragung verwendeten FA_Bonding-Projektes für die verbleibenden Finishing-Korrekturen auch 3D-Zieldrähte berechnen, allerdings scheitert die praktische Nutzung dieser Technik derzeit noch an der Nichtverfügbarkeit geeigneter 3D-Biegemaschinen.

Beispiel Aligner

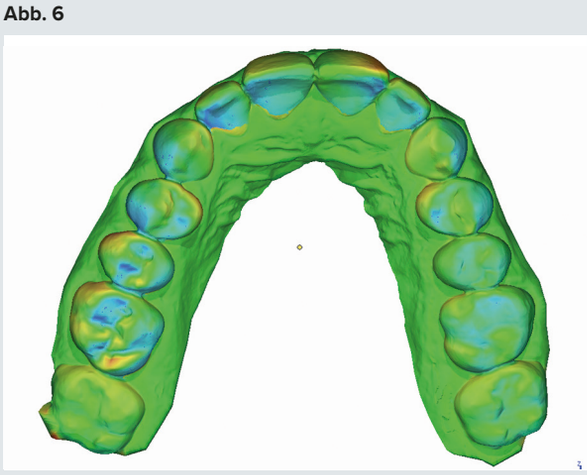
Nach wie vor ist die virtuelle Planung von Behandlungsschienen die in der Praxis wohl am weitesten verbreitete Anwendung digitaler Arbeitsmodelle - insbesondere, wenn es um weniger komplexe Zahnstellungskorrekturen geht. Hierfür stellt OnyxCeph3™ das Modul Aligner 3D bereit, mit dem sich ausgehend von einer im V.T.O.3D oder im Modul Aligner selbst erstellten Zielplanung alle bekannten Anforderungen einschließlich der Verwendung von Attachments, Grenzwertkontrollen, Kollisionsausgleich, Serienexport etc. umsetzen lassen. Eine interessante und von Anwendern mit Eigenlabor auch mehr und mehr genutzte Option ist dabei das sog. Progress-Refinement. Auch hier wird (ähnlich wie beim oben beschriebenen Finishing) am Kontrolltermin ein Zwischenscan durchgeführt und dieser direkt (d.h. ohne Vorverarbeitung) genutzt, um die weitere Behandlung unter Beibehaltung der ursprünglichen Zielplanung anzupassen (Abb. 6).

Abb. 5



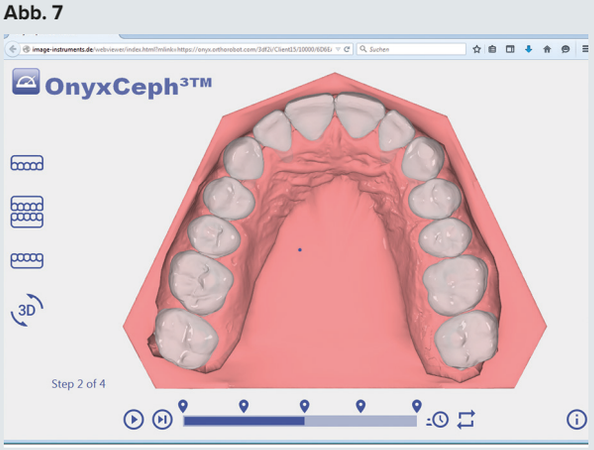
Virtuelles Entfernen von Brackets unter Nutzung des initialen Scans

Abb. 6



Progress-Refinment im Modul Aligner

Abb. 7



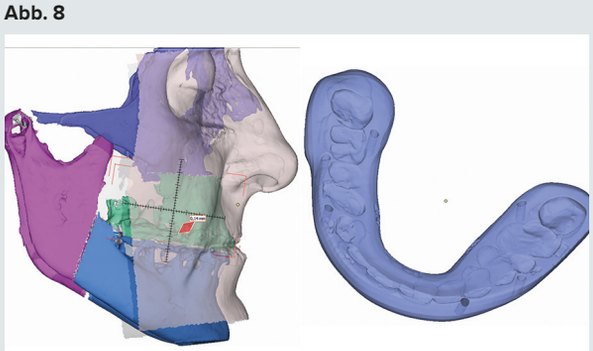
Darstellung von Planungsergebnissen als interaktive 3D-Animation im Browser

Ein weiteres, vor allem im Hinblick auf Kommunikationsanforderungen interessantes Feature ist die Möglichkeit, die Planung auf einen Webserver zu exportieren, so dass sie mittels bereitgestelltem Link im Internetbrowser auf beliebigen (auch mobilen) Endgeräten als interaktive 3D-Animation abgespielt werden kann.

Beispiel Chirurgieplanung

Auch die Vorbereitung und virtuelle Planung kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Kombinationsbehandlungen einschließlich der Herstellung von Splinten hat sich mittlerweile in mehreren klinischen Einrichtungen als Methode mit hohem Einsparungspotenzial im Bezug auf Planungsaufwand und Herstellungskosten für Apparaturen bewährt.
Die Simulation von Behandlungsergebnis (einschließlich Weichteilsimulation) und Zwischenschritten erfolgt unter Verwendung eines Arbeitsmodells mit zugehörigem Volumenscan im Modul Sim3D. Hier werden anhand der beim Import aus dem Volumen extrahierten Oberflächen zunächst skelettaler Oberkiefer und Unterkiefer segmentiert, anhand dentaler Merkmale mit dem Arbeitsmodell fusioniert und die Lage der Gelenkachse festgelegt.
Mittels eines solchen Datensatzes können dann nach ganz individuellen Behandlungsstrategien die in unterschiedlichen Phasen vor, während und nach der OP zu fixierenden Kieferrelationen als Befund gespeichert und im Modul Waefer 3D zur Splintkonstruktion verwendet werden.
Auch eine OP-Planung lässt sich analog zur Alignerplanung mit Hilfe des 3D-Webviewers im Browser visualisieren (Abb. 8).

Abb. 8



Planung kieferchirurgischer Behandlungsschritte (links) und daraus abgeleiteter Zwischensplint (rechts)

Ausblick

Auch bei der Konstruktion von Behandlungsapparaturen und Funktionsschienen bietet die von Arbeitsmodellen bereitgestellte Datenbasis in Kombination mit modernen Herstellungstechnologien (z.B. Metalldruck) gute Voraussetzungen, mit Hilfe geeigneter Designwerkzeuge den Aufwand von KFO-Behandlungsmaßnahmen reduzieren und deren Qualität optimieren zu können.
Dementsprechend wird das Portfolio funktioneller OnyxCeph3™-Module nach Abschluss der hierzu laufenden Entwicklungsarbeiten um solche Komponenten erweitert werden.

Zusammenfassung

Die oben aufgeführten Beispiele sollen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) unterstreichen, wie konkret „Digitale Kieferorthopädie“ schon heute in vielen Praxen Einzug gehalten hat und welches Potenzial dabei prinzipiell genutzt werden kann. Aktuelle Neu- und Weiterentwicklungen sollen dieses Potenzial vervollständigen.

Schon jetzt ist absehbar, dass die Kombination von modernen bildgebenden Verfahren und Herstellungstechnologien mit KI-basierten Softwarealgorithmen auch im kieferorthopädischen Praxisalltag zu einer fortschreitenden Automatisierung von Teilaufgaben führen wird. Dabei sind überzogene Erwartungen genauso unberechtigt wie Befürchtungen. Stattdessen werden sich auf Grund der Vielfältigkeit der Anforderungen gerade solche Methoden durchsetzen, deren Funktionsweise fundiertes Behandlerwissen und ein hohes Maß an Technikverstand voraussetzt.

Bei der Bereitstellung solcher Lösungen kann das Bestreben von Softwareentwicklern und Anwendern, sich zumindest ansatzweise in die Denkwelt der jeweils andern Seite hineinzuversetzen, durchaus hilfreich sein.

Kontakt

Image Instruments GmbH
Niederwaldstraße 3
09123 Chemnitz
www.onyxceph.de