

Green X und byzzEz3D-i Software mit Endo- & Ortho-Segmentierungsmodul

Dipl. Ing. Dipl. Inform. Frank Hornung, Meik Hornung ZTM, Prof. Dr. Gerhard Polzar (KKU)

Das Nonplusultra der Röntgenbildgebung

Das Green X ist das modernste digitale 4-in-1 Röntgenbildgebungssystem, welches sowohl 2D-Modalitäten wie Panorama- und kephalometrische Aufnahmen in ultrahochoflösender Bildqualität ermöglicht, als auch flexible 3D-DVT-Aufnahmen von Patienten, Modellen und Abformlöffeln. Eine der vielen Besonderheiten, des neuen Green X von orangedental, ist die erweiterte Insight PAN 2.0 Funktion (Multilayer in 41 Schichten) speziell in Sektionen, Free FOV sowie der ultrahochoflösende 49µm Scan-Modus für alle endodontischen Fragestellungen. In Kombination mit dem Endo- und Ortho-Segmentierungs-Modul der byzzEz3D-i Software, erhalten Sie ein leistungsstarkes Diagnose- und Analysewerkzeug mit einer für die Patientenaufklärung völlig neuartigen Darstellungsform. Die Überlagerung der Oberflächenmodelle (STL-Daten) aus externen Scan-Systemen ist durch die exzellente Oberflächen-Darstellung der 3D-Röntgenaufnahmen problemlos und komfortabel. Die Endo- und Ortho-Segmentierungsfunktion liefert zusätzlich detaillierte Informationen über alle dentoalveolären Strukturen. Somit bietet das Green X (Abb. 1) alle Möglichkeiten den digitalen Workflow im Praxisalltag zu umzusetzen.



Abb. 1 Green X 3D Ceph, orangedental/Vatech

Durchblick in allen Ebenen

Natürliche Zähne so lange wie möglich zu erhalten ist eine der Hauptdisziplinen in der Zahnheilkunde. Es stehen der modernen Zahnheilkunde heute vielfältige Technologien zur Verfügung um die Zähne endodontisch zu diagnostizieren. Neben der 2D-Radiologie und Mikroskopie ist die DVT-Technologie das wichtigste Diagnosewerkzeug. Das Green X ist mit 49µm bei FOV 4x4 cm das Gerät mit der weltweit höchsten Auflösung und der daraus resultierenden Detailschärfe. Die byzzEz3D-i Software mit dem erweiterbaren Endo-Modul rekonstruiert aus den ultra-hochoflösenden Schichtaufnahmen perfekte 3D-Aufnahmen (Abb. 2,3).

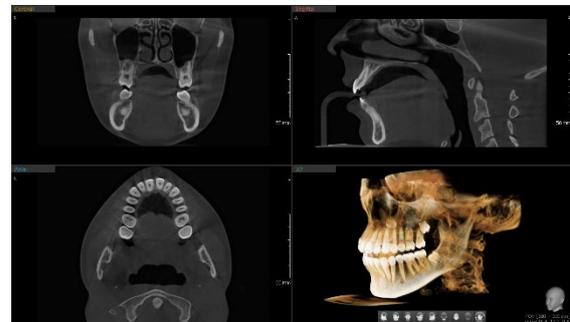


Abb. 2 Green X 3D 18x10, byzzEz3D-i-Software Ansicht

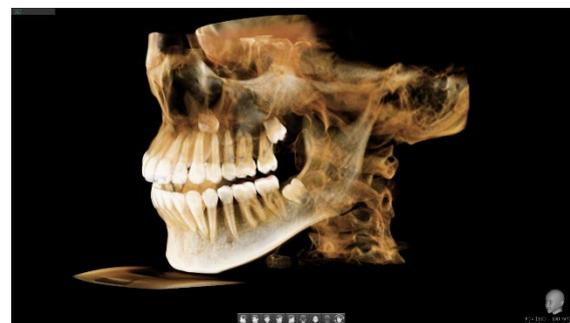


Abb. 3 Green X 3D 18x10, byzzEz3D-i-Software 3D Ansicht

Die 3D-Endo-Aufnahmen können als Hologramm in allen drei Dimensionen

vermessen werden. Sowohl die Bi- und Trifurkation, Kanalanzahl, Kanalverlauf, Kanal-länge und -durchmesser sowie die Krümmungsradien können einfach farblich gekennzeichnet werden. Damit ist das 3D-Endo-Modul nicht nur ein ideales Instrument zur Vorbereitung für die Wurzelkanalaufbereitung und WSR sondern auch ein hervorragendes Hilfsmittel zur 3D-Visualisierung, Behandlungsplanung und Patientenberatung. Endodontologie ist neben der Implantologie und Parodontologie eine der wichtigsten rechtfertigenden Indikationen in der Zahnheilkunde.

Endo-Segmentierung, Zahnauswahl, Kanalmarker, Kanallänge, Krümmungswinkel in Farbe mit Verlaufskontrolle. (Abb. 4, 5, 6, 7, 8, 9)

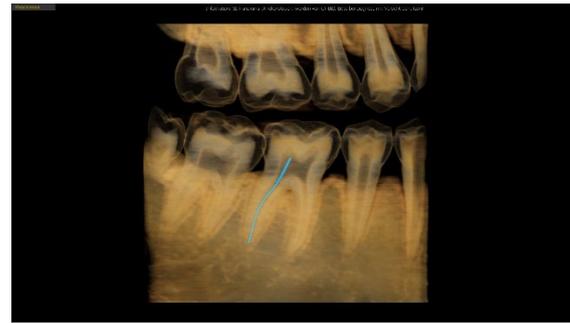


Abb. 6. Endo-Diagnostik, 3D-Panorama-Ansicht

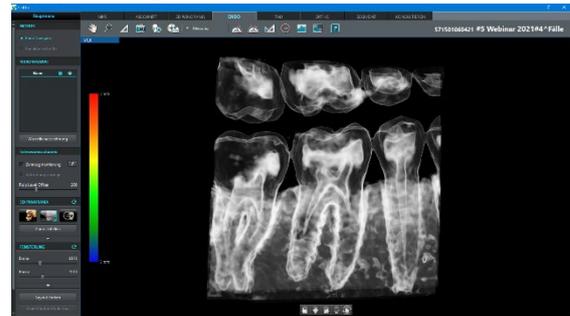


Abb. 7 Endo-Diagnostik, VR-Ansicht mit Knochensegment

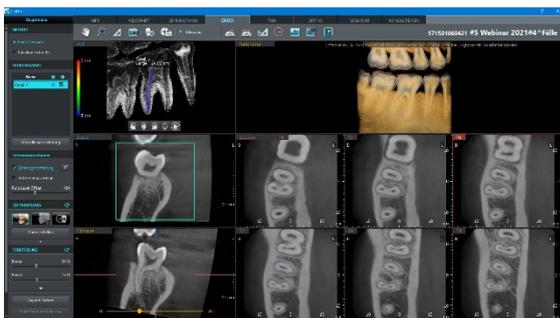


Abb. 4 Endo-Diagnostik im Endomodul

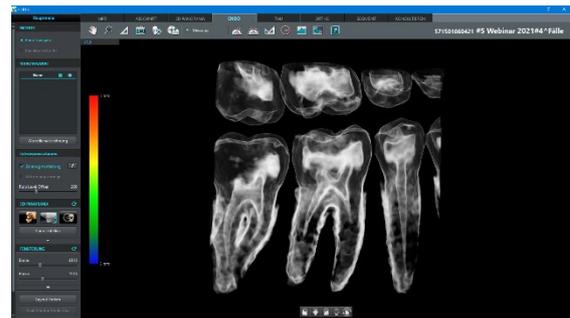


Abb. 8 Endo-Diagnostik, VR-Ansicht ohne Knochensegment

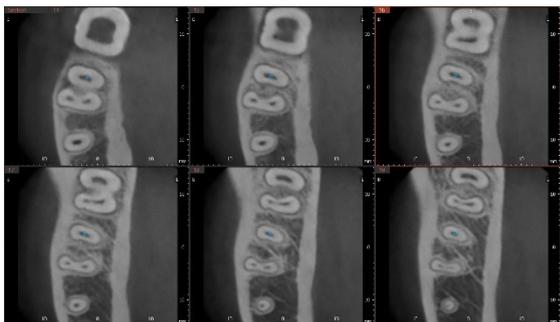


Abb. 5 Endo-Diagnostik, sektionale Ansicht



Abb. 9. Endo-Diagnostik – 3D-Kanallängenmessung

Das Green X unterstützt in idealer Weise alle diagnostischen Fragestellungen und gibt Sicherheit in der Kommunikation mit Patienten sowie zur Planung der Therapie, Wahl der Instrumente und Realisierung der Behandlungsziele. Eines der wichtigsten Werkzeuge zur transparenten Darstellung der Zahnstrukturen ist das Endo- und

Orthosegmentierungs-Modul. Mit diesem Werkzeug können Sie Zähne von umgebenden Strukturen lösen (segmentieren) und Knochensubstanz virtuell ausblenden um eine klare Sicht auf die Zahnstrukturen zu erhalten. Diese Vorgehensweise ist sowohl für die endodontische Befundung und Kanalanalyse von wesentlichem Vorteil, als auch für die Chirurgie, Implantologie und Kieferorthopädie. Die virtuelle Extraktion von Zähnen wird ermöglicht und die Zähne können inklusive der Wurzelinformationen gemeinsam mit den überlagerten Oberflächenmodellen als STL-Daten zur weiteren Verarbeitung in digitalen dentalen Workflow Protokollen übergeben werden. CAD-Software wie z.B. byzzCAD oder exoCAD sowie Software zur Planung von kieferorthopädischen Therapiehilfsmitteln wie z.B. OnyXCeph, Invisalign oder 3Shape Ortho Analyzer können somit alle zahnbezogen anatomischen Strukturen des Patienten zur Herstellung von Bohrschablonen, Schienen oder Alignern nutzen.

Historie und Einführung in die Grundlagen der Segmentierungsalgorithmen

Die digitale Zahnmedizin hat sich im letzten Jahrzehnt rasant entwickelt. Der Schlüssel zur digitalen Zahnheilkunde ist die Erfassung und Segmentierung vollständiger 3D-Zahnmodelle; sie werden z. B. benötigt, um die Zielaufstellung und Bewegungen einzelner Zähne für die kieferorthopädische Diagnose und Behandlungsplanung festzulegen. Die Erfassung von kompletten 3D-Zahnmodellen ist jedoch eine anspruchsvolle Aufgabe. Derzeit gibt es zwei gängige Technologien zur Erfassung von 3D-Zahnmodellen: (1) Intraorales-Scannen oder Desktop Scannen und (2) Cone-Beam-Computer-Tomographie (CBCT). Intraorales- oder Desktop-Scannen ist eine bequeme Methode, um die Oberflächengeometrie von Zahnkronen zu erhalten, aber es kann keine Informationen über Zahnwurzeln liefern, die in vielen Fällen für eine genaue

Diagnose und Behandlung benötigt werden. Im Gegensatz dazu liefert das CBCT umfassendere volumetrische 3D-Informationen aller oralen Gewebe, einschließlich der Zähne. Aufgrund seiner hohen räumlichen Auflösung ist das CBCT für die 3D-Bildrekonstruktion geeignet und wird häufig in der Oralchirurgie und der digitalen Zahnmedizin wie z.B. in der Kieferorthopädie eingesetzt. In diesem Artikel konzentrieren wir uns auf die Segmentierung und Identifizierung von 3D-Zahninstanzen aus CBCT-Bilddaten - eine kritische Aufgabe der Anwendungen in der digitalen Kieferorthopädie, wie in (Abb. 10) anhand der Dichtesegmentierung gezeigt wird.

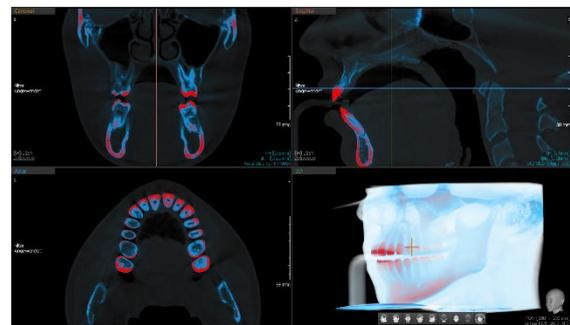


Abb. 10 byzzEz3D-i, VR-Ansicht mit Dichtesegmentierung

Bereits 2008 beschrieb Prof. Dr. Gerhard Polzar (KKU) in einem Poster zur DGI Jahrestagung die „CT-basierte Implantatplanung mit Simplant nach endständiger Distalisation eines unteren Prämolaren“ (Abb. 11).

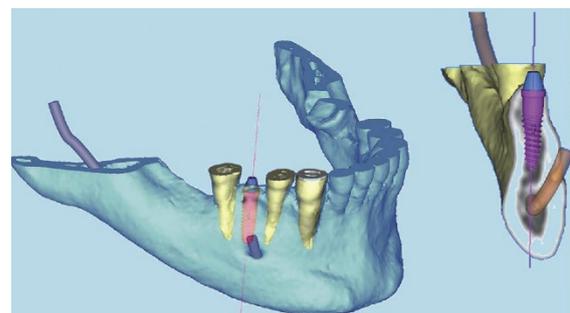


Abb. 11 Polzar, Poster DGI 2008

In weiteren Veröffentlichungen z.B. (2015, J. Compr. Dentof. Orthod. + Orthop. (COO) Umf. Dentof. Orthod. u. Kieferorthop. (UOO), G. Polzar, F. Hornung) wurden die Vorteile der Methoden der Zahnsegmentierung hinreichend erläutert. Ziel war es bereits 2015 eine kieferorthopädische Planung und

Behandlung „ganz“ ohne die Zuhilfenahme von kieferorthopädischen Abdrücken oder Gipsmodellen zu verwirklichen. Eine komplette dreidimensionale Übersicht über alle kieferorthopädisch relevanten Strukturen und Gewebe einschließlich der Anatomie der Zahnwurzeln, des Knochens und der Weichgewebe zu haben und diese dann direkt für eine kieferorthopädische Therapie zu nutzen (Abb. 12, 13). Das müsste doch die Fehlerquote erheblich reduzieren und dazu führen, dass man den idealen therapeutischen Weg findet – das war damals die Frage. Kombiniert man diese Grundlagen dann mit der Möglichkeit der neuen Folientechniken wie Invisalign, Gleichwertige oder fertigt womöglich die kieferorthopädischen Aligner im Fräs- oder 3D-Druckverfahren direkt, dann hätte man die 100%ige komplette digitale Therapie - das war die Vision bereits 2008, 2015 und bis heute!



Abb. 12 2015 Polzar/Hornung, manuelle Zahn-Segmentierung

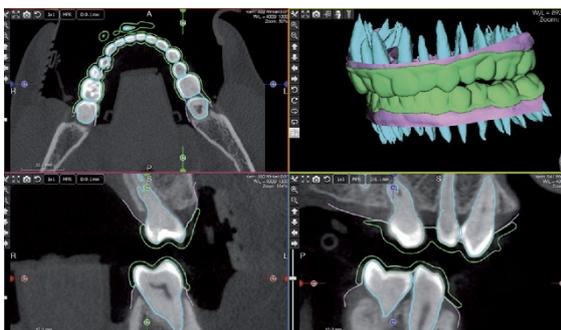


Abb. 13 2015 Polzar/Hornung, manuelle Zahn-Segmentierung mit Überlagerung Gingiva-Segmentierung und CAD-Aligner im Initialstep.

Die Segmentierung von Zähnen aus CBCT-Bildern ist aus folgenden Gründen eine schwierige Aufgabe. (1) Wenn das CBCT in der natürlichen Okklusion aufgenommen wird (d. h. die unteren und oberen Zähne berühren sich

im normalen Biss), ist es schwierig, untere Zähne von den gegenüberliegenden oberen Zähnen entlang der Okklusalfäche zu trennen, da sich in dieser Region die Grauwerte nicht ändern; (2) Ebenso ist es schwierig, einen Zahn von dem ihn umgebenden Alveolarknochen zu trennen, da die Dichte der Zähne der umgebenden Struktur sehr ähnlich ist; und (3) benachbarte Zähne mit ähnlicher Form können die Identifizierung verschiedener Zahninstanzen erschweren (siehe z. B. die beiden oberen zentralen Schneidezähne oder Molaren) (Abb. 14). Daher kann eine erfolgreiche Zahnsegmentierung kaum erreicht werden, wenn man sich nur auf die Intensitätsvariation von CBCT-Bildern verlässt, wie viele frühere Versuche zur Zahnsegmentierung gezeigt haben. Zumal bei CBCT Geräten zwingend ein Protokoll zur Hounsfield-Kalibrierung notwendig wird. Dieses kann bis heute nicht in jedem Fall für alle Geräte im Markt gewährleistet werden.



Abb. 14 Green X 18x10cm Datensatz im byzzEz3D-i mit überlagerter Zahnsegmentierung

Methoden der künstlichen Intelligenz und die Verwendung vorhandener Wissensbasis

Um die oben genannten Probleme zu lösen, nutzen einige frühere Arbeiten entweder die Level-Set-Methode oder die schablonenbasierte Fitting-Methode zur Zahnsegmentierung. Die erstgenannten Methoden sind dadurch eingeschränkt, dass sie eine praktikable Initialisierung benötigen, die langwierige Benutzerkommentare erfordert, und sie liefern unbefriedigende Ergebnisse, wenn sich die Zähne im natürlichen Okklusionszustand befinden. Den letzteren

Methoden fehlt die notwendige Robustheit in der Praxis, wenn es große Formvariationen bei verschiedenen Patienten gibt. In jüngster Zeit haben viele Deep-Learning-Methoden (Künstliche Intelligenz) für die medizinische Bildanalyse, obwohl sie nicht auf die Zahnsegmentierung angewendet wurden, eine vielversprechende Leistung gegenüber traditionellen Methoden in verschiedenen Aufgaben gezeigt.

Segmentierung von Zähnen aus CBCT-Bildern

Eine genaue Zahnsegmentierung aus CBCT-Bildern ist ein grundlegender Schritt für die Rekonstruktion individueller 3D-Zahnmodelle, die Ärzte bei der kieferorthopädischen Diagnose und Behandlungsplanung unterstützen können. Viele traditionelle Algorithmen wurden für die Zahnsegmentierung vorgeschlagen, um die Bedeutung dieser Anwendung zu verdeutlichen. Unterstützt durch die Intensitätsverteilung in CBCT-Bildern, greifen bisherige Ansätze auf Region Growing und Level Sets Boosted Algorithmen zurück. Durch weitere Berücksichtigung des Vorwissens über den Zahn werden statistische Formmodelle zur leistungsfähigsten und effizientesten Wahl. Allerdings leiden diese Methoden immer unter vielen Artefakten oder Fehlern, selbst bei ausgezeichneter manueller Initialisierung (**Abb. 15**). Die Ergebnissgalerie der Zahnsegmentierung und -identifikation. Verschiedene CT-Scans mit Segmentierungsergebnissen sind in der ersten Spalte, und die rekonstruierten 3D-Zahnmodelle aus drei verschiedenen Ansichten in den folgenden drei Spalten gezeigt.

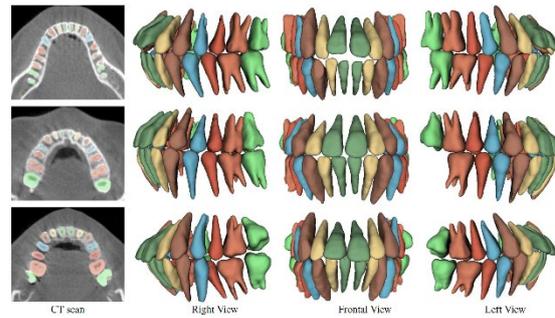


Abb. 15 CT-Scan, Rechts-, Frontal- und Links-Ansicht

Quelle: 2019 Automatic Tooth Instance Segmentation and Identification from Cone Beam CT Images, Z. Cui, C. Li, W. Wang, University of Hong Kong

Alle diese bisherigen Arbeiten haben Wissenschaftler vor allem aus Asien motiviert, das Problem der Zahnsegmentierung aus CBCT mit einer datengetriebenen Methode zu lösen, die die Form- und Datenprioritäten gleichzeitig erkennt und lernt. Konkret verwendet das byzzEz3D-i Segmentierungsmodul eine neuartige KI- und lernbasierte Methode zur automatischen Segmentierung und Identifizierung von Zahninstanzen. Das heißt, die Methode zielt darauf ab, alle Zähne von den umgebenden Bereichen zu segmentieren, die Zähne voneinander zu trennen und jeden Zahn zu identifizieren, und ihm ein korrektes Label (Zahnnummer) zuweisen.

byzzEz3D-i Software Endo-Segmentierungs-Modul

Die byzzEz3D-i Software liefert mit dem Endo-Segmentierungsmodul ein ideales Werkzeug um die endodontische Diagnose zu unterstützen. Durch das Ausblenden der Knochen-segmente besteht die Möglichkeit die Darstellbarkeit der Zahnschicht maximal zu optimieren. Mit dem Werkzeug „Pulp-Level-Offset“ besteht noch eine weitere komfortable Möglichkeit die Wurzelkanäle virtuell zu durchleuchten bzw. freizulegen.

(**Abb. 16, 17, 18, 19**).



Abb. 16 Endo-Diagnose Zähne 45 46, Coronar-, Horizontal-, Sagittal-Ansicht



Abb. 17 Endo-Diagnose Zähne 45 46, VR-VOI-Ansicht Zähne mit Knochensegmente

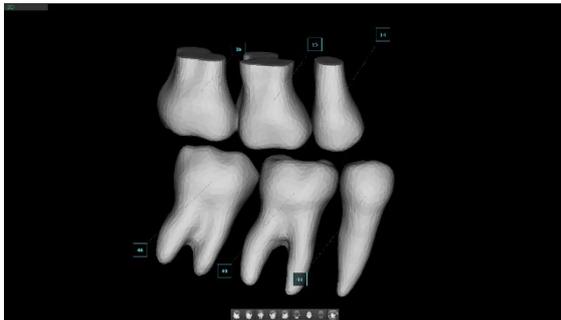


Abb. 18 Endo-Diagnose Zähne 45 46, Zahnsegmentierung



Abb. 19 Endo-Diagnose Zähne 45 46, VR-VOI-Ansicht Zähne ohne Knochensegmente

Segmentierung der Zahnschichten und Knochensegmente. Weiterhin lassen sich markierte Zähne virtuell extrahieren, bewegen und im STL-Format exportieren. Gleiches gilt für Knochensegmente der Maxilla und der Mandibula. Mit dem Ortho-Chirurgie-Modul lassen sich Segmentgruppen aus Knochenanteilen und Zähnen virtuell schneiden, verlagern und ebenfalls im STL-Format exportieren (**Abb. 20, 21, 22, 23, 24**).



Abb. 20 byzzEz3D-i - KFO-Diagnose Zahnstatus OK UK inkl. Zahnsegmentierung OK

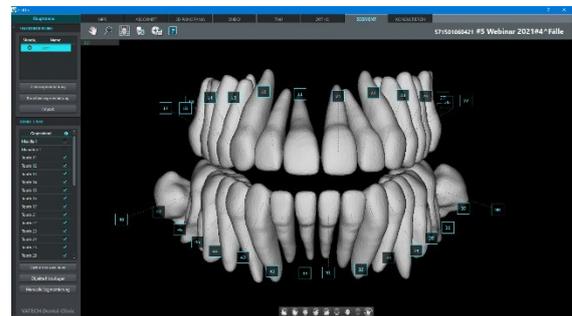


Abb. 21 byzzEz3D-i - KFO-Diagnose Zahnstatus OK UK „Künstliche Intelligenz“ automatisierte Zahnsegmentierung

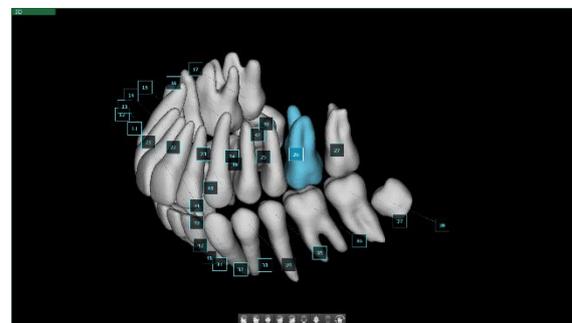


Abb. 22 byzzEz3D-i - KFO-Diagnose OK 26 virtuelle Zahnselektion

byzzEz3D-i Software Ortho-Segmentierungs-Modul

Dieses Modul unterstützt den Chirurgen, Zahnarzt und Kieferorthopäden bei der

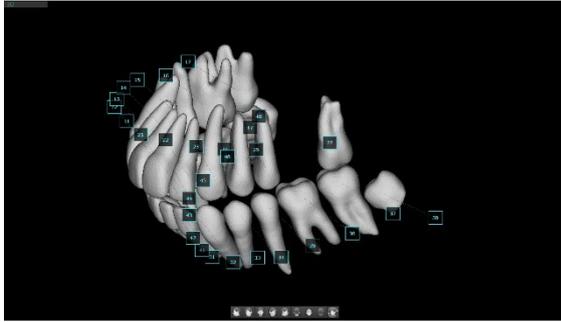


Abb. 23 byzzEz3D-i - KFO-Diagnose OK 26 virtuelle Zahnextraktion



Abb. 27 byzzEz3D-i - byzzCAD segmentierte Zähne OK

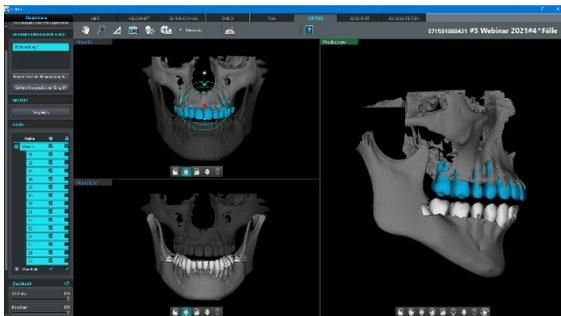


Abb. 24 byzzEz3D-i - byzzCAD segmentierte Zähne OK UK, Knochen-Segmentierung

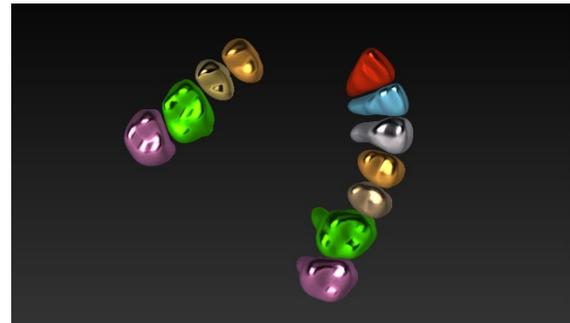


Abb. 28 byzzEz3D-i - byzzCAD segmentierte Zähne OK UK, virtuelle Extraktion 11, 12, 13

Die Daten lassen sich wie bereits erklärt komfortabel in allen gängigen dentalen CAD-Software-Systemen weiterverarbeiten (Abb. 24, 25, 26, 27).

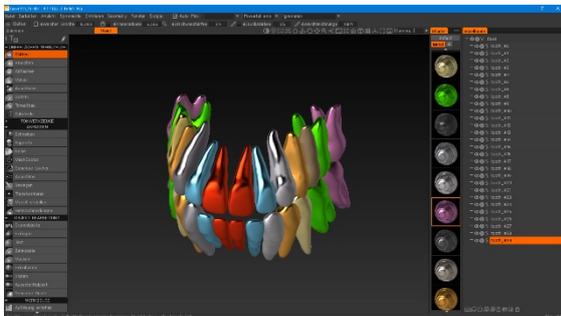


Abb. 25 Ez3D-i - byzzCAD – STL-Export OK UK



Abb. 26 Ez3D-i - byzzCAD segmentierte Zähne OK UK

Fazit

Die Segmentierung der dentoalveolären Strukturen dichte kalibrierter CBCT-Daten auf Basis von festgelegten Hounsfield Werten alleine, ist nicht zielführend. Künstliche Intelligenz, eine vorhandene Wissensbasis, moderne Methoden (Algorithmen) sowie die fast unbegrenzt vorhandene Rechenleistung erlauben heutzutage den Einsatz von Softwarelösungen im medizinischen und zahnmedizinischen Bereich, welche neben diagnostischen Werkzeugen umfangreiche Hilfsmittel zur Vorbereitung und Realisierung des digitalen Workflows erlauben. Die Firma orangedental GmbH aus Biberach a. d. Riß mit den Röntgensystemen von Vatech, der „Inhouse“ entwickelten byzzSuite Software und der Highend-Software byzzEz3D-i zu Diagnose-, Analyse- und Planungszwecken bietet Ihnen alle komfortablen Möglichkeiten um Ihren digitalen Workflow ideal zu unterstützen.

Wir verstehen „Qualität“ als uneingeschränkte Erfüllung Ihrer Erwartungshaltung.

Dipl. Ing. Dipl. Inform. Frank Hornung
Orangedental GmbH & Co. KG - Biberach

Meik Hornung ZTM
mydentLAB – Geroda

Prof. Dr. Gerhard Polzar (KKU)
KFO Polzar – Büdingen