

Praktische Erfahrungen mit einem Cone-Beam-CT

Die digitale Volumentomographie (DVT)/Cone-Beam-Computertomographie (CBCT) liefert eine exakte dreidimensionale Darstellung der Zähne und des Kiefers für die dreidimensionale Diagnostik. Seit 2003 wird der Cone-Beam-Tomograph 3D Accuitomo bei ambulanten Patienten zur dreidimensionalen Diagnostik eingesetzt. Die dreidimensionalen Aufnahmen werden für ein weites Indikationsspektrum herangezogen, wie z. B. für die dentale Implantologie, Endodontologie oder Traumatologie. Gerade bei unklaren klinischen Befunden liefert der Cone-Beam-CT eine verlässliche diagnostische Abklärung, wie im Folgenden an mehreren Fallbeispielen mit Angaben zu Gerät und Technik verdeutlicht wird.

Im Oktober 2003 wurde einer der in Deutschland ersten Cone-Beam-Computertomographen (CBCT) zur Aufnahme für den sitzenden Patienten in der Ingelheimer Praxis für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie installiert: das 3D Accuitomo (Morita, Kyoto, Japan).

Der CBCT unterscheidet sich von konventionellen Computertomographen (CT) u. a. durch seine geringere Strahlenbelastung, höhere Auflösung und durch einen kleineren definierten Objektbereich (region of interest). Vor allem bei der Abklärung unsicherer diagnostischer Fragestellungen und bei unklaren klinischen Befunden, bei denen eine herkömmliche zweidimensionale Röntgenuntersuchung nicht ausreicht, können mittels Volumentomographie deutlich bessere diagnostische und damit konsekutiv auch therapeutische Ergebnisse erzielt werden^{15,18,3}. Mittlerweile ist neben dem Accuitomo eine Reihe weiterer CBCT-Geräte zur 3D-Diagnostik im Bereich der maxillofazialen Radiologie auf dem Markt erhältlich^{1,15,18,2,9,7,5}.

Spezifische Indikationen | Unser Patientengut weist eine Reihe spezifischer Indikationsstellungen auf, die eine dreidimensionale Untersuchung statt oder in Ergänzung anderer Darstellungstechniken notwendig erscheinen lassen. Manche Patienten wurden an uns überwiesen, um eine zweite oder weiter reichende diagnostische Aussage zu erhalten. Generell können folgende Indikations-

bereiche in diesem Zusammenhang hervorgehoben werden: die präoperative Planung in der Implantologie, die dreidimensionale Darstellung von Kieferzysten sowie retinierten und verlagerten Zähnen, des Weiteren die Diagnostik innerhalb der Traumatologie, bei craniomandibulären Dysfunktionen, die Demonstration parodontaler Läsionen und endodontologischer Fragestellungen sowie die Darstellung und Abklärung von Tumoren oder anatomischer Aberrationen. Sechs dieser verschiedenen Indikationsbereiche werden mittels Fallbeispielen in diesem Beitrag beschrieben.

Material und Methode | Seit 2003 wurden jährlich mehrere hundert Untersuchungen bei einer vergleichbaren Anzahl von Patienten in nahezu allen Altersgruppen mit dem 3D Accuitomo durchgeführt. Die Aufnahmen umfassen ein weites Spektrum verschiedener klinischer Indikationsstellungen auf dem Gebiet der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Hauptanwendungsbereiche waren die dentale Implantologie, die Endodontologie, Infektionen und die Traumatologie.

Der CBCT besteht aus zwei Einheiten: aus der so genannten main unit und der computer unit. Die Haupteinheit enthält den Patientenstuhl und die Aufnahmeeinheit mit einem C-Röntgenarm. Der Patientenstuhl ermöglicht eine komfortable sitzende Position, während der C-Arm für einen kompletten Aufnahmemodus drei

volle Rotationen um den Patienten ausführt. Zudem gewährleistet der Patientenstuhl eine schnelle, exakte und reproduzierbare Positionierung des zu fokussierenden Bereichs.

Die Darstellungstechnik des 3D-Volumentomographen unterscheidet sich von der konventionellen CT: Der C-Arm besteht aus einer CCD-Kamera (charged-couple device) mit Bildverstärker und einer Cone-Beam-Röntgenstrahlquelle auf der contralateralen Seite. Die CCD-Kamera nimmt während eines Abtastvorgangs eine Sequenz spezifischer zweidimensionaler Bilder auf. Der Aufnahmeprozess dauert etwa 18 Sekunden; er beinhaltet eine 360-Grad-Rotation um den Aufnahmebereich und erfasst ein 4 cm mal 3 cm großes zylindrisches Volumen. Das zweidimensionale laterale cephalometrische Scannen schafft eine zweidimensionale Rekonstruktion in axialer, sagittaler und koronaler Ebene. Um eine dreidimensionale, hochauflösende Darstellung zu erhalten, muss die Information der CCD-Kamera korrigiert werden und den Rechenprozess der "i-Dixel Software" durchlaufen, der auf einem speziellen Algorithmus basiert. Mit einer Auflösung von über zwei Linienpaaren pro Millimeter besitzt das Bild eine isotropische Voxelgröße von 0,125 mm und eine Schichtbreite zwischen 0,125 mm und 2 mm. Der CBCT verwendet einen Röntgenstrahler mit einer Energieleistung von max. 2,0 kVA. Die Röhrenspannung umfasst einen Bereich von 60 bis 80 kV mit Röhren-

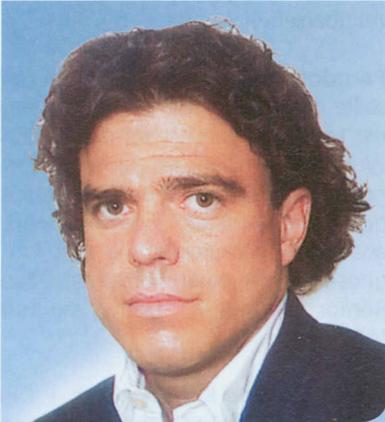
strom von 1 bis 10 mA. Aufgrund des Einsatzes isotropischer Voxel und der sensitiven CCD-Kamera ist die Strahlendosis niedriger als 7 μ Sv und damit vergleichbar mit der einer konventionellen Panoramaaufnahme.

Praxisbeispiele | Retinierte Zähne und Zysten

Bei einer 35-jährigen Patientin mit einem retinierten Weisheitszahn im linken Unterkiefer konn-

te die dreidimensionale Rekonstruktion die komplexe Beziehung der Wurzeln und des Nervus alveolaris inferior darstellen. Die sagittalen, koronalen und axialen Schichten zeigen die vier Wurzeln und den exakten Nervenverlauf zwischen der distolingualen und der distobukkalen Wurzel (Abb. 1). Den Vorteil einer weiterführenden dreidimensionalen Diagnostik mittels CBCT-Datensatz zeigt das Beispiel

eines 57 Jahre alten Patienten. Hier konnte nicht nur der retromolare Knochendefekt eines tief retinierten, rechten unteren Weisheitszahnes aufgefunden und in seiner Größenausdehnung von 2,9 mm vermessend werden, sondern es konnte auch eine periradikuläre Zementose bukkal, ohne Bezug zum Nervenkanal, dargestellt werden (Abb. 2).



Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Christoph M. Ziegler

1983–1994 Studium der Zahnmedizin und Medizin an der Universität Heidelberg
 1989–2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter und zuletzt Oberarzt an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Heidelberg
 Weiterbildung zum Zahnarzt für Oralchirurgie, zum Facharzt für MKG-Chirurgie und Weiterbildung für Plastische Operationen
 2003 Habilitation, danach Privatdozent an der Universität Heidelberg mit ununterbrochener Lehrfähigkeit
 2002–2005 Chefarzt verschiedener Privatkliniken für Plastische und Ästhetische Chirurgie in Heidelberg, Nürnberg und Oberstufen
 Seit 2005 Ärztlicher Leiter der Abteilung für MKG-Chirurgie des St. Olavs Universitätskrankenhauses in Trondheim, Norwegen
 Professor an der Norwegisch Technisch-Naturwissenschaftlichen Universität (NTNU) in Trondheim



Dr. med. Dr. med. dent. Roswitha Ritter

1974–1978 Studium Sinologie, Biologie, Physik
 1979–1985 Medizinstudium, Mainz
 1985–1989 Zahnmedizinstudium, Mainz/Kiel
 1987–1988 2 Doktorgrade (Universität Mainz)
 1988–1991 Spezialisierung im Fachgebiet Mund-, Kiefer- u. Gesichtschirurgie, in den Universitätskliniken Hamburg (UKE)
 1991–1993 weitere Spezialisierungen bei Prof.Dr.Dr.Schmideder, Frankfurt
 Seit 1993 eigene Praxis und Tagesklinik für Mund- Kiefer-Gesichtschirurgie
 Spezialisierung und Zertifizierung für Implantologie.
 Verschiedene Kurse auf den Gebieten Implantologie, Distraktionsosteogenese, Lippen-, Kiefer-Gaumenspalten-Operationen, Gesichtschirurgie/Schönheitschirurgie
 Mitgliedschaften in der AAOMS, BAO, DGÄC, DGMKG, DGZMK, DGI, DGZI, EAO, EACMFS



Dr. Thomas Richard Klimowicz

1995–2001 Studium der Zahnmedizin und Approbation an der Universität Erlangen-Nürnberg
 2004 Promotion an der Universität Erlangen-Nürnberg
 2002–2004 Tätigkeit als Assistenz-zahnarzt in Kronach und Altdorf bei Nürnberg
 2004–2007 Ausbildung zum Oralchirurgen an der ATOS-Klinik Heidelberg, Klinik für MKG der Universität Pretoria, Südafrika, Klinik für MKG des St. Olavs Universitätskrankenhauses in Trondheim, Norwegen
 Seit 2008 Oberarzt und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Klinik für MKG des St. Olavs Universitätskrankenhauses in Trondheim Norwegen
 Tätigkeitsschwerpunkte: Implantologie, Parodontologie, Radiologie, Traumatologie und Dysgnathie

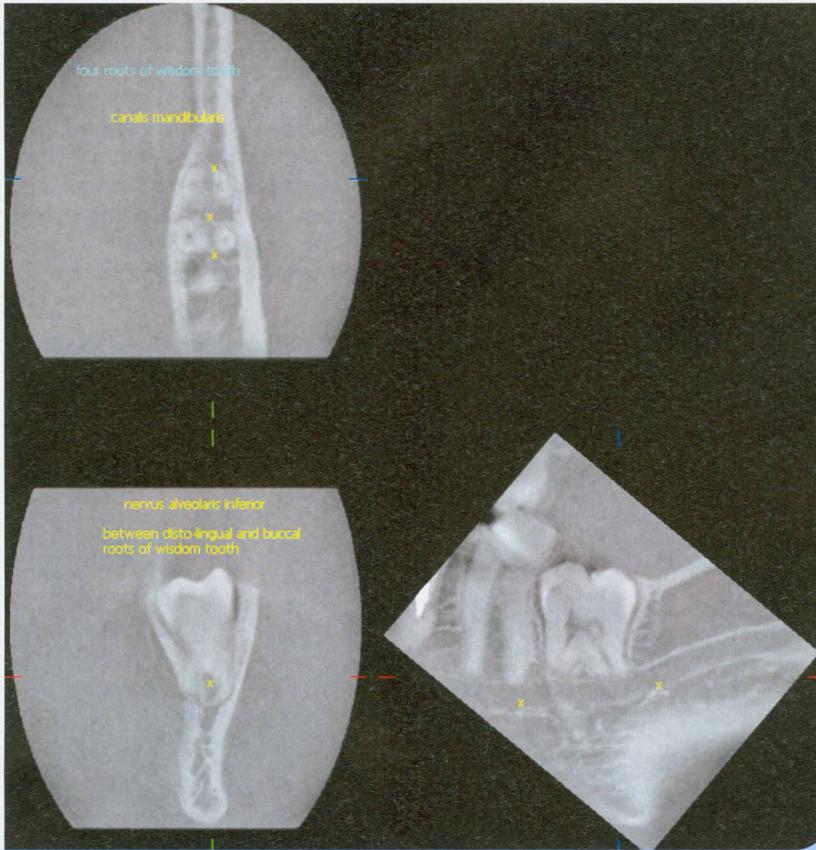


Abb. 1: Weisheitszahn 38. Die CBCT zeigt das Verhältnis der beiden distalen Wurzeln zum Mandibularnerven.

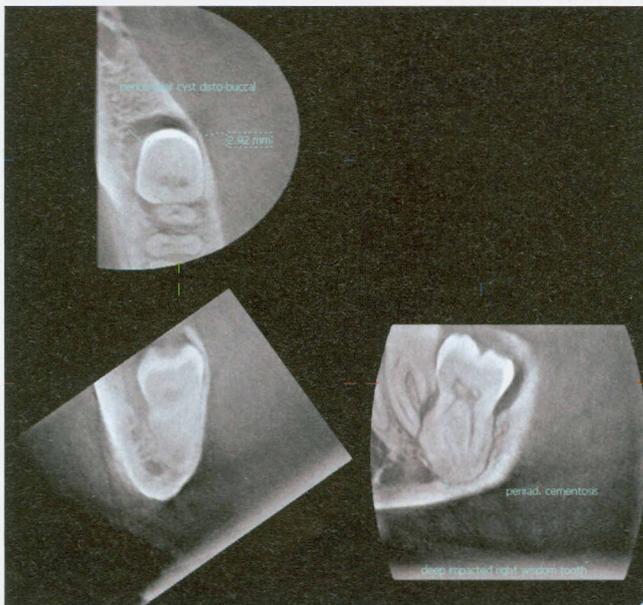


Abb. 2: Weisheitszahn mit periradikulärer Zementose.

Endodontie | Bei Zahn 36 zeigt die CBCT nicht nur die vier in der zweidimensionalen Röntgendiagnostik überlagerten Wurzeln, sondern auch dreidimensional den Wurzelkanalverlauf und eine periapikale Osteolyse (Abb. 3). Bei diesem Beispiel ist anzumerken, dass der Zahn bereits zuvor einer endodontischen Behandlung unterzogen wurde, welche jedoch keinen Erfolg brachte, da im konventionellen Röntgenbild die vierte Wurzel übersehen wurde.

Parodontologie | Im gezeigten Fall sollte speziell der komplette Umfang der Läsion im Bereich der palatinalen Wurzeln eines oberen Molaren dargestellt werden. Eine entsprechende qualitative Aussage über Ausmaß, adäquate Therapieplanung und Prognose ist mit einer konventionellen Röntgendiagnostik nicht möglich (Abb. 4).

Frakturen und Kiefergelenk | Die CBCT ermöglichte ebenfalls eine wertvolle und umfassende Diagnostik im Bereich der oro-maxillofazialen Traumatologie. Dies soll am Beispiel einer 20-jährigen Patientin mit Fraktur im Bereich des Corpus mandibulae belegt werden. Da die Patientin die empfohlene Frakturbehandlung

mit offenem Zugang und Osteosynthese verweigerte, konnte lediglich eine intermaxilläre Fixation (IMF) ohne Plattenfixation durchgeführt werden. Hauptaugenmerk bei der anschließenden Röntgenkontrolle war der Ausschluss einer potenziellen Dislokation nach alleiniger IMF. Eine CBCT wurde durchgeführt, um eine hohe Auflösungsqualität und damit eine hohe Sicherheit zu erreichen; die dreidimensionale Darstellung zeigt tatsächlich deutliche Vorteile gegenüber einer zweidimensionalen Darstellung (Abb. 5).

Speziell bei Frakturen des Collum mandibulae ist die präoperative Röntgendiagnostik entscheidend, um zwischen einer konservativen und einer offenen operativen Therapie abwägen zu können. Der Wert einer dreidimensionalen Darstellung mittels CBCT soll am Beispiel einer 16-jährigen Patientin mit beidseitiger Collumfraktur aufgezeigt werden, bei der die 3D-Darstellung eine Dislokation in allen drei Ebenen ausschließen konnte und damit eine konservative Therapie indizierte (Abb. 6 u. 7).

Bei einer anderen Patientin mit persistierenden Beschwerden im Bereich des Temporomandibulargelenkes drei Jahre nach dislozierter Collumfraktur konn-

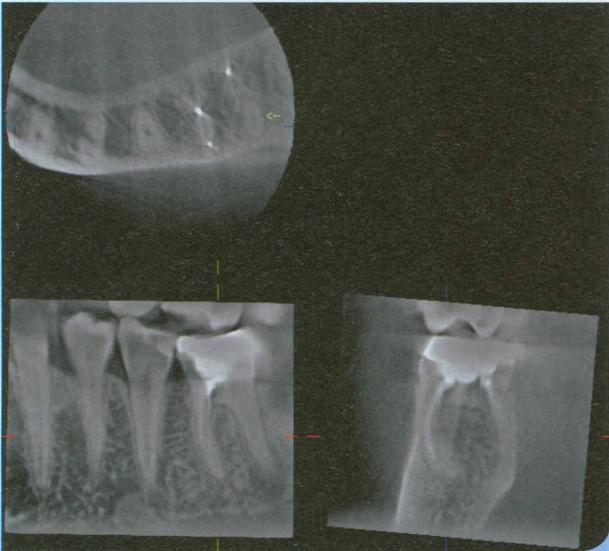


Abb. 3: Unterer erster Molar mit vier Wurzeln und periapikaler Transluzenz im Bereich der distobukkalen Wurzel, welche keine Füllung aufweist.



Abb. 5: Postoperative Bilder einer Mandibulafraktur nach intermaxillärer Fixation.

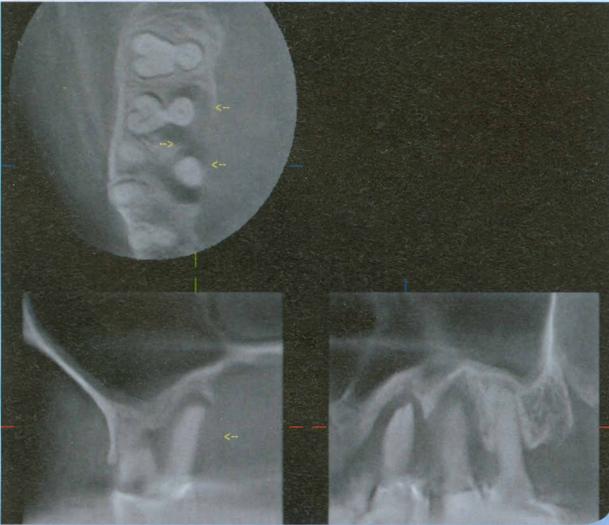


Abb. 4: Oberkiefermolaren mit palatinalen parodontalen Läsionen.

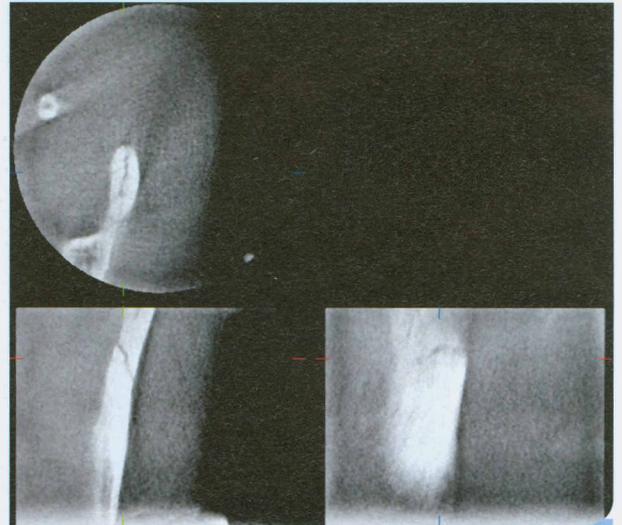


Abb. 6: Nicht dislozierte linksseitige Collumfraktur.

te mittels CBCT der alte Frakturverlauf dargestellt und gleichzeitig die knöchernen Remodulationen verdeutlicht werden (Abb. 8).

Anatomische Aberrationen | Auch bei der Darstellung anatomischer Normvarianten und pathologischer Prozesse ist oftmals eine dreidimensionale Darstellung zur Diagnose und Therapiefindung hilfreich. Bei einer 37-jährigen Patientin, die eine umfangreiche kieferorthopädische Behandlung absolviert hatte, konnte eine deutliche Knochenresorption mit Verlust der bukkalen Knochenlamelle des Alveolarfort-

satzes in der dreidimensionalen Darstellung aufgezeigt werden, welche in der konventionellen Röntgendiagnostik nicht deutlich wurde (Abb. 9).

Die Darstellung und exakte Lokalisation von Speichelsteinen ist oftmals schwierig. Unser Beispiel verdeutlicht hier die Möglichkeiten der CBCT mit der Abbildung dreier Sialolithen in genauer anatomischer Relation zum Unterkiefer (Abb. 10).

Abbildung 11 zeigt eine Staphne-Kavität im Bereich des Unterkiefers eines 38-jährigen Patienten (Abb. 11). Dieser Befund ist in der konventionellen zweidimensionalen Rönt-



Abb. 7: Rechtsseitige Fraktur bei der gleichen Patientin, ebenfalls ohne Dislokation der Fragmente.

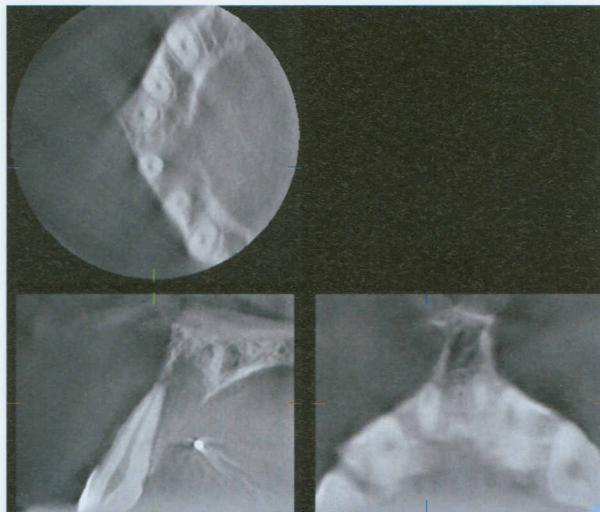


Abb. 9: Verlust der bukkalen Knochenlamelle im Bereich der OK-Front.

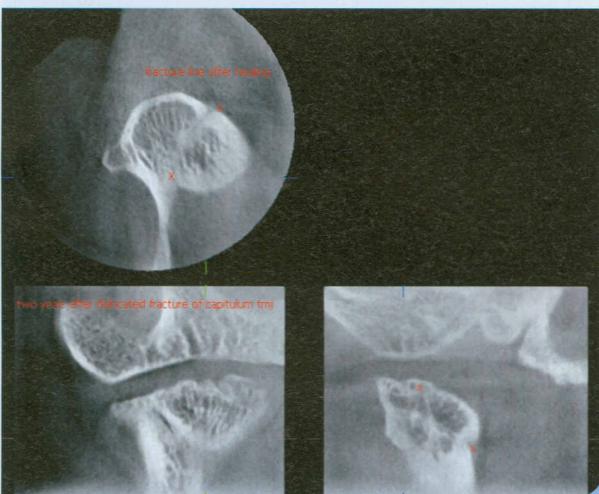


Abb. 8: Zustand drei Jahre nach dislozierter Collumfraktur.



Abb. 10: Sialolithe im Bereich der Gld. parotis.

gendarstellung leicht als eine Knochenzyste fehlzuinterpretieren.

Gerade bei überzähligen Zähnen, wie im Beispiel eines Mesiodens mit Lokalisation im Bereich der Zähne 11 und 51 bei einem 11-Jährigen (Abb. 12), ist eine genaue und sichere Lagebestimmung mittels konventioneller Diagnostik oft nicht möglich, mit der CBCT hingegen durchaus.

Implantatplanung | Die dentale Implantologie und damit u. a. auch eine entsprechende radiologische Bildgebung mit dreidimensionaler präoperativer Planung nehmen einen zunehmend größeren Stellenwert in der Zahnheilkunde ein. Die diagnostischen Möglichkeiten der CBCT werden am folgenden Beispiel aufgezeigt (Abb. 13). Nicht nur das absolute Knochenniveau, sondern auch die

Relation zur Okklusionsebene ist für eine erfolgreiche Implantatbehandlung ausschlaggebend. Ein anderes Planungskriterium für eine optimale Implantatversorgung ist der Winkel zwischen Alveolarfortsatz und der Zahnachse der geplanten prothetischen Suprakonstruktion. Die gleichzeitige Darstellung aller drei Dimensionen ist ebenfalls von großem Vorteil, beispielsweise um die Notwendigkeit eines Bonesplittes oder einer Augmentation abzuklären (Abb. 14 u. 15).

Ergebnisse | Durch die Nutzung des CBCT konnte eine Vielzahl unterschiedlicher Fragestellungen beantwortet werden, ohne dass eine weiterführende Diagnostik erforderlich war. Implantatversorgungen, spezielle endodontologische Problemstellungen, Knocheninfektionen (z. B. api-

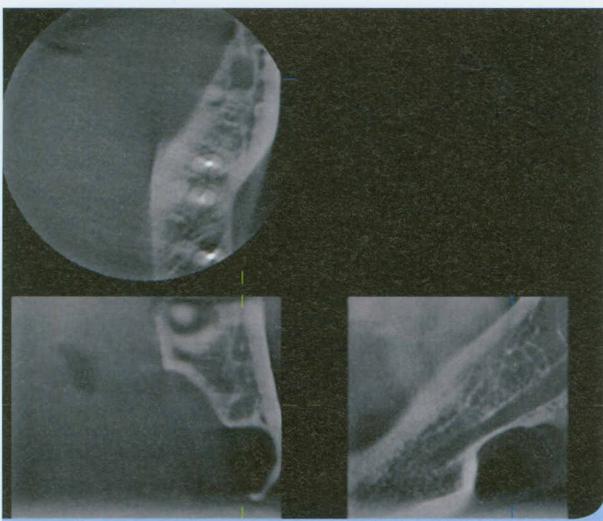


Abb. 11: Staphne-Kavität im Bereich des UK's.

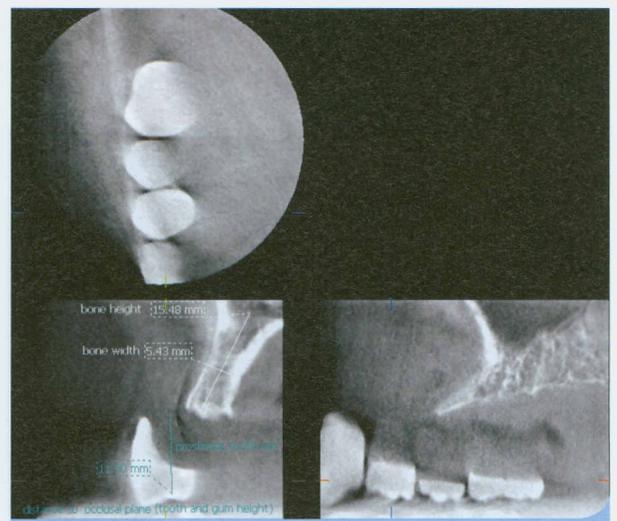


Abb. 13: Implantatplanung bei OK-Atrophie.

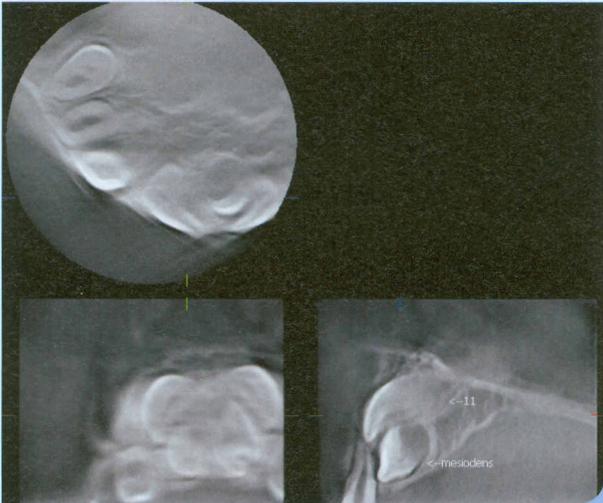


Abb. 12: Exakte Lokalisation eines Mesiodens in der prämaxil-lären Region.

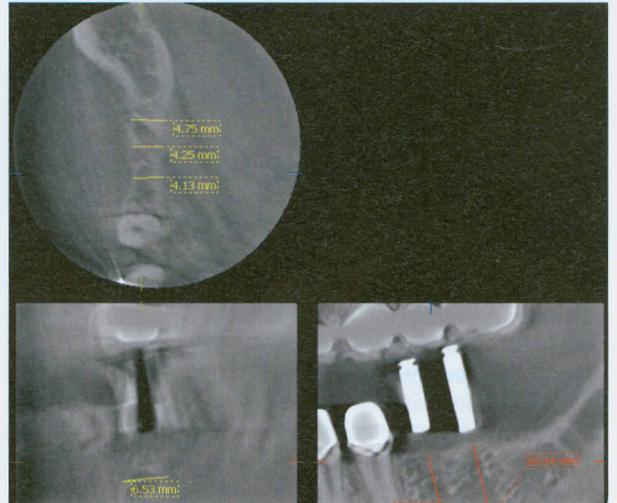


Abb. 14: Planungs-CBCT mit Bohrpin.

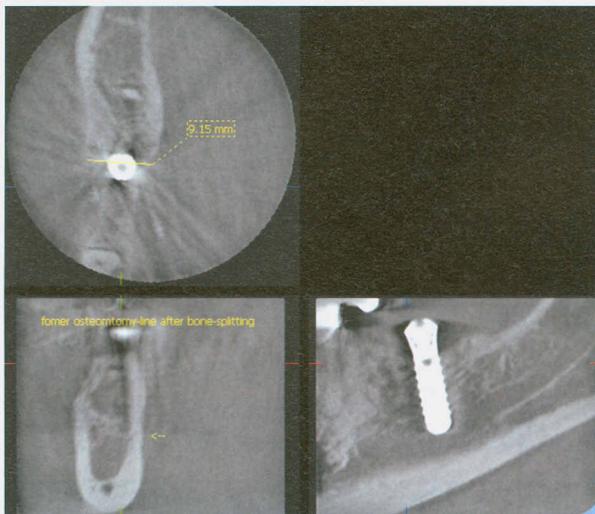


Abb. 15: Postoperativer Befund nach Implantatinsertion und Bonesplitt.

kale Ostitiden) und die Traumatologie stellten die Hauptindikationen. Eine exakte dreidimensionale Darstellung der gesamten Kieferregionen konnte gewährleistet werden. Die mittlere Untersuchungszeit eines Patienten mit Interpretation der 3D-Bilder betrug etwa 15 Minuten. Fehler während des Aufnahmeprozesses, bedingt durch technische Mängel, eine inadäquate Patientenpositionierung oder durch Bewegungseffekte, welche zu einer insuffizienten Bildgebung führten und eine Wiederholung der Aufnahme erforderlich machten, waren in weniger als vier Prozent der Untersuchungen zu verzeichnen.

Diskussion | Auch andere Geräte gewährleisteten eine geringe Strahlenexposition und eine einfache routinemäßige Anwendung der Cone-Beam-Technik, u. a. die Newtom (NewTom Deutschland, Marburg) und I-Cat-Geräte (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA). Diese Geräte liefern hochauflösende Bilder des Ober- und Unterkiefers bei einer Strahlendosis von ungefähr $75 \mu\text{Sv}^{18,2,11}$. Sie gewährleisteten Übersichtsdarstellungen, beispielsweise von Kieferfrakturen, tumorösen und zystischen Läsionen, die eine dreidimensionale Diagnostik und Therapieplanung ermöglichen^{10,15,18,5,14,16,13}. Meist können die Aufnahmen am sitzenden Patienten durchgeführt werden.

Das 3D Accuitomo war zum Zeitpunkt der Anschaffung im Jahre 2003 das Gerät mit der höchsten Auflösung, verbunden mit der geringsten Strahlenbelastung^{10,15,9}. Die Strahlenexposition eines Scans mit einem Aufnahmeareal von 3 cm mal 4 cm beträgt weniger als $7 \mu\text{Sv}$. Auch wenn eine komplette Untersuchung des gesamten Kiefers drei Scans benötigt, so liegt die Gesamtdosis immer noch unter $30 \mu\text{Sv}$ und beträgt daher etwa 1/30 einer konventionellen Computertomographie und zwischen einem Drittel und einem Fünftel der Cone-Beam-Computertomographien der oben genannten Konkurrenzgeräte.

Die Knochenrelationsmessung eines experimentellen Aufnahmesatzes durch den Accuitomo weicht lediglich 0,19 mm von der realen Objektgröße ab, eine geringe Differenz, verglichen z. B. mit den 0,36 mm Abweichung des New Tom. In Anbetracht der Feinauflösung von 2 Linienpaaren pro Millimeter ist das Accuitomo an erster Stelle unter den CBCT für die Detaildarstellung etwa von Wurzelkanälen und Bifurkationen zu empfehlen. Eine exakte und sichere prä- und postoperative Repräsentation der Lagebeziehung zwischen Implantaten und wichtigen anatomischen Strukturen, wie dem Mandibularkanal oder dem Sinus maxillaris, ist genauso möglich wie die Darstellung von Cochlea-Veränderungen im Bereich der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde^{15,8,12,6,4}.

Zudem zeichnen niedrige Betriebskosten und die einfache Anwendung des Gerät ebenso aus wie die bequeme Sitzposition für den Patienten, welche nicht nur Platz sparend, sondern auch für ängstliche und klaustrophobische Patienten akzeptabel ist^{10,15}. Als Konsequenz unserer sehr guten praktischen Erfahrungen können wir das Accuitomo-Gerät für die Anwendung in der dentalen Radiologie empfehlen. Es ermöglicht eine dreidimensionale Untersuchung in der Routinediagnostik, gerade weil eine hohe Detailauflösung und eine relativ geringe Strahlenbelastung verbunden werden.

Die Literaturliste kann unter www.spitta.de/ZMK-Literaturliste abgefordert werden.

Autoren:
 Christoph Mike Ziegler*
 Thomas Richard Klimowicz*
 Roswitha Ritter**
 Markus Esch**

* NTNU Trondheim, St. Olavs Hospital, Universitätsklinik Trondheim, Norwegen

** Praxis und Tagesklinik für MKG-Chirurgie, Ingelheim

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Christoph M. Ziegler
 Department for Oral and Maxillofacial Surgery
 Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
 St. Olavs Hospital
 Trondheim University Hospital
 Olav Kyrres gate 17
 7006 Trondheim / Norway
 E-Mail: christoph.ziegler@stolav.no