

# Dreidimensionale digitale Röntgentechnik in der zahnärztlichen Anwendung

Dr. Herbert Martin

**Nach der Markteinführung des ersten speziell für zahnmedizinische Fragestellungen entwickelten Computertomografen (CT) im Jahr 1996 blieb diese Technik vorwiegend größeren Zentren und Praxiskliniken zur bildgebenden Diagnostik vorbehalten. Bei der Spiral-CT umkreist eine Röntgenröhre den innerhalb der Kreisbahn liegenden Patienten unter Aussendung eines theoretisch zweidimensionalen fächerförmigen Strahlenbündels. Der Computer errechnet aus den Daten der so einzeln erfassten scheibenförmigen Volumina ein dreidimensionales Bild. Bei der Digitalen Volumentomografie (DVT) hingegen wird ein dreidimensionales, kegelförmiges Strahlenbündel (Cone Beam Computed Tomography = CBCT) und ein zweidimensionaler Flächendetektor verwendet.**

Dies ermöglicht mit nur einem Umlauf um den Patienten das Abscannen eines dreidimensionalen Volumens bei geringerer Strahlenbelastung. Das dreidimensionale Volumen lässt sich als Field of View (FoV) beschreiben, dessen Größe vom verwendeten Gerät abhängt<sup>[1]</sup>.

Insbesondere die zunehmende Anzahl von Implantationen bei inzwischen hoher Leistungsfähigkeit moderner Computer hinsichtlich Grafikkarte, Arbeitsspeicher, Festplattenkapazität etc. bedingt eine verstärkte Nachfrage nach dreidimensionaler Röntgendiagnostik. Die Novellierung der Röntgenverordnung (RöV) vom 1. Juli 2002 nahm diese Entwicklung auf und brachte die DVT als dreidimensionales bildgebendes Verfahren in die Zahnheilkunde ein. Dadurch sind Zahnärzte mit Fachkundenachweis neben den Radiologen die Einzigen, die Schnittbildverfahren anwenden dürfen.

## Kosten

Während lange Zeit nur wenige, hochpreisige DVT-Geräte auf dem Markt verfügbar waren, wurden auf der IDS 2007 rund zehn neue Systeme<sup>[2]</sup> vorgestellt, die sich u. a. in der preisbestimmenden Größe des abgebildeten Volumens, der Art des Sensors (Bildverstärkersystem vs. Flachdetektor), der zusätzlichen Möglichkeit, Panoramaschichtaufnahmen (PSA) zu erstellen, dem Raumbedarf etc. unterscheiden.

Werden Bildverstärker (image intensifier) eingesetzt, erzeugen Röntgenquanten nach Konvertierung in Elektronen und Verstärkung ein Kamerabild. Wegen der Verstärkung ist eine geringere Dosis nötig, aber bei hohen Auflösungen auch ein größeres Rauschen sichtbar. Bei Flachdetektoren (Flat Panel) erzeugen Röntgenquanten im Festkörperdetektor direkt einen Elektronenfluss. Hierbei wird eine höhere Dosis benötigt, aber auch bei sehr hohen Auflösungen ein rauschärmeres Bild erzeugt.

Mit einem darstellbaren Volumen von 5 cm Durchmesser und 3,7 cm Höhe bietet das Röntgensystem KODAK 9000 3D (Carestream Health, D-Stuttgart) zwar ein relativ kleines FoV, aber mit einer Voxelgröße von 0,076 mm eine sehr geringe Schichtstärke und somit hohe Auflösung (Trennschärfe zwischen zwei Strukturen, Angabe in Linienpaar/mm). Die Voxelgröße beziffert die Kantenlänge der einzelnen Würfel, Volumenpixel, aus denen die Schichten des Datensatzes bestehen. Panoramaschichtaufnahmen (PSA) können ohne manuellen Sensorwechsel aufgenommen werden, sodass das KODAK 9000 3D ein echtes dual-use-Gerät bei gleichzeitig minimalem Raumbedarf darstellt.

Bei den günstigsten DVT-Geräten bewegt sich der Preis mittlerweile nur gering über dem Preisniveau

eines konventionellen digitalen PSA-Gerätes mit der Möglichkeit transversaler Schichtaufnahmen (TSA). Somit wird das dreidimensionale Röntgen auch für all-gemeinzahnärztliche Praxen preislich interessant. Die Frage ist, ob kleinvolumige DVT-Geräte für diesen Anwenderkreis wirtschaftlich und fachlich geeignet sind.

## Indikationen

Grundsätzlich gilt auch für die Erstellung einer DVT, dass eine rechtfertigende Indikation gemäß § 2 und § 23 der RöV vorliegen muss, insbesondere da die Strahlenexposition bei der DVT gegenüber der digitalen PSA je nach Gerät um den Faktor 4 bis 10 höher ist<sup>[2]</sup>.

Die Notwendigkeit einer rechtfertigenden Indikation bedeutet, dass eine Röntgenaufnahme nur dann durchgeführt werden darf, wenn der medizinische Nutzen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. In diesem Zusammenhang ist fallspezifisch das geeignete Verfahren zu wählen.

Eine endgültige Indikationsliste liegt zwar noch nicht vor, Anhaltspunkte bietet jedoch die Drei-Stufen-Indikationsliste nach PD Dr. Dirk Schulze:

### 1. Zahnheilkundliche Fragestellungen

- Lage retinierter Zähne, Relation zum Mandibularkanal, Kieferhöhle
- Zystische Raumforderungen, entzündliche Prozesse und Relation zur Nachbarschaft
- Detektion kleiner Fremdkörper
- Morphologie des Processus condylaris, pathologische Veränderungen der Hochkontraststrukturen
- Kieferorthopädie
- Parodontologie

An dieser Stelle soll auch die konservierende Zahnheilkunde vorbehaltlich der genaueren Prüfung erwähnt werden.

### 2. Implantologische Fragestellungen

- Präimplantationsdiagnostik, Datenakquisition für Navigationssoftware
- Dreidimensionale Implantatkontrolle post implantationem

### 3. MKG-Fragestellungen

- Trauma
- Lokale Tumordiagnostik
- Nasennebenhöhlen- und Kieferhöhlen-Diagnostik
- Osteomyelitis
- Lippen-Kiefer-Gaumenspalten

Die unter 3. angeführten Indikationen sollten im Regelfall großvolumigen DVT-Geräten und somit kieferchirurgischen Großpraxen oder Zentren und Kliniken vorbehalten sein.

Das DVT-System KODAK 9000 3D wird in meiner Zahnarztpraxis mit den Schwerpunkten Allgemeinzahnheilkunde, Parodontologie und Implantologie seit mittlerweile einem Jahr eingesetzt. Im Folgenden werden einige Beispiele zu den Indikationen nach 1. und 2. geboten und der Nutzen des DVT-Einsatzes für die Praxis bewertet. Die Beispiele verdeutlichen, in welcher Qualität DVT-Aufnahmen möglich sind.

### Lagebestimmung retinierter Zähne

Die Wahl der DVT als bildgebendes Verfahren sollte hierbei additiv erfolgen, wenn aus der herkömmlichen PSA-Aufnahme eine unklare Lagebeziehung zu kritischen anatomischen Strukturen ablesbar ist. Mit der DVT sind multiplanare Rekonstruktionen in horizontaler, sagittaler und transversaler Richtung möglich, sodass sich ein retinierter Zahn überlagerungsfrei darstellen lässt. Abbildung 1 zeigt eine PSA, auf der keine klare Abgrenzung des retinierten Zahns 38 zum Nervus alveolaris inferior erkennbar ist. Abbildung 2 zeigt die mit KODAK 9000 3D erstellte



Abb. 1: PSA – keine klare Abgrenzung von Zahn 38 zum Nervus alveolaris inferior erkennbar.

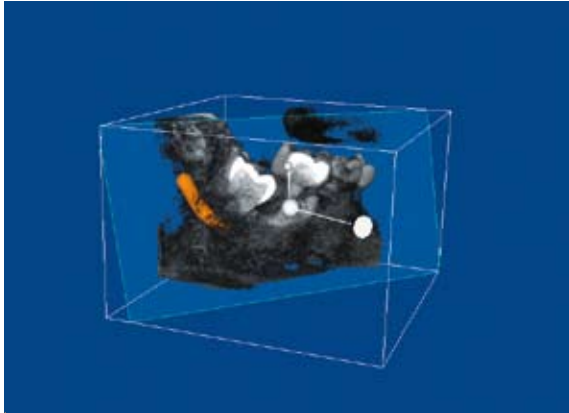


Abb. 2: Mit KODAK 9000 3D erstellte DVT-Aufnahme.

DVT-Aufnahme. Mittels der systemzugehörigen und der intuitiv zu bedienenden Software lässt sich auf einfache Weise der Mandibularkanal markieren. Die Funktion „Schräges Schneiden“ ermöglicht zudem das dreidimensionale Umfahren des relevanten Bereichs. Auf der DVT-Aufnahme ist deutlich zu sehen, dass der retinierte Zahn 38 nicht in Kontakt mit dem Nervus alveolaris inferior steht. Die Nutzung der DVT im Rahmen dieser Indikation wird von zahlreichen Anwendern befürwortet<sup>[3, 4, 5]</sup>.

### Detektion kleiner Fremdkörper

Abbildung 3 zeigt die PSA mit erbsengroßer Verschattung in regio 48, die durch einen metallischen Fremdkörper hervorgerufen wird. Die dreidimensionale Analyse der Region of Interest (RoI) erfolgte anschließend mit einer DVT, sodass sich die intraosäre Lage des Fremdkörpers exakt bestimmen ließ (Abb. 4).



Abb. 3: PSA – Verschattung in regio 48.

### Darstellung der Kiefergelenke

Die Darstellung der Hartgewebestrukturen der Kiefergelenke ist auch mit kleinvolumigen DVT-Ge-

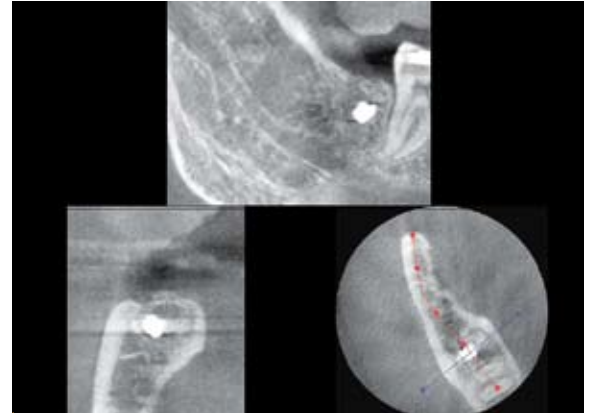


Abb. 4: DVT für exakte Lagebestimmung des Fremdkörpers.

räten möglich. Abbildung 5 zeigt die dreidimensionale Ansicht eines linken Kiefergelenks.



Abb. 5: 3D-Ansicht eines linken Kiefergelenks.

An Rekonstruktionsalgorithmen für DVT-Darstellungen wird weiterhin weltweit gearbeitet, sodass erwartet werden darf, dass die derzeit noch schlechte Darstellung von Weichgeweben im Vergleich zum CT künftig verbessert wird<sup>[1]</sup>. Aktuell ist die Magnetresonanztomografie (MRT) als bildgebendes Verfahren im Rahmen der Kiefergelenkdiagnostik vorzuziehen.

### Kieferorthopädie

Es ist davon auszugehen, dass sich das dreidimensionale Röntgen in der Kieferorthopädie verstärkt etablieren wird. Die Erstdiagnose erfolgt hier anhand einer PSA. Bei Verdacht auf Retention, Resorption, Angulation oder sonstige Pathologien können diese mittels DVT genauer und vor allem sicherer diagnostiziert werden, als es mit anderen bildgebenden Verfahren möglich ist. Entsprechende therapeutische Maßnahmen können somit effektiver eingeleitet wer-

den. Die Darstellung der durchgebrochenen Zähne und der Zahnkeime erfolgt überlagerungsfrei.

Abbildung 6 zeigt einen supernumerären Zahn 21 mit unselbstständiger Zwillingsbildung. Durch Erstellung der DVT wurde festgestellt, dass die erhoffte therapeutische Trennung der Zähne nicht möglich ist.

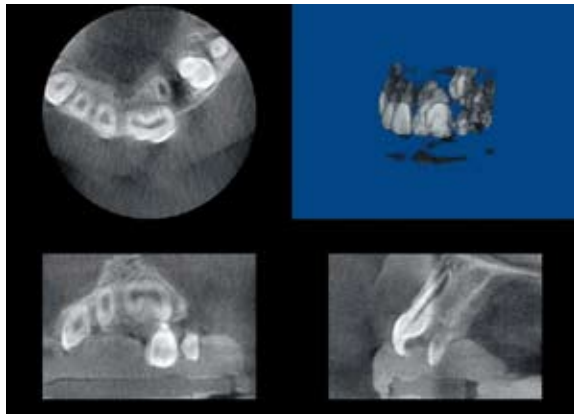


Abb. 6: Supernumerärer Zahn 21 mit unselbstständiger Zwillingsbildung.

Insbesondere aus kieferorthopädischen Praxen sind bei stark steigender Tendenz zunehmend Überweisungen für die DVT zu verzeichnen. Hinsichtlich des DVT-Einsatzes im Rahmen pädiatrischer Fragestellungen werden gegenwärtig weitere wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt.

## Parodontologie

Die Anatomie des Alveolarknochens wird wegen Summationseffekten und Überlagerungen in der PSA nicht differenziert wiedergegeben. Eine Visualisierung der knöchernen Anatomie durch DVT ist hingegen möglich. Unterschieden wird zwischen einer oberflächenbasierten – die Objekt Oberfläche wird abgebildet (SSD = surface shaded display) – und volumenbasierten Darstellung (VRT = volume rendering technics) – eine semitransparente Darstellung des Volumeninhaltes. Bei Nutzung des KODAK 9000 3D kann über ein entsprechendes Software-Tool eine 3D-Szenerie abgebildet werden. Wie bei einem medizinischen CT-Gerät kann hierbei ein Grauwert-Bereich festgelegt (Fensterung) und der Bereich mittels Helligkeits- und Kontrastfunktion durchfahren werden, sodass Knochen- und Zahnstrukturen fließend ineinander übergehend dargestellt werden.

Hierdurch ist eine Visualisierung und Qualifizierung ossärer Defekte, Denudationen, Fenestrationen, der Umfang von Furkationsbeteiligungen usw. möglich. Die bildliche Darstellung bestimmt dann das weitere operative Vorgehen. Abbildung 7 zeigt beispielsweise einen Zahn 37 und einen horizontalen Knochenabbau. Der Furkationsbereich ist lingual sichtbar.



Abb. 7: Zahn 37 und horizontaler Knochenabbau sichtbar, Furkationsbereich von lingual zu erkennen.

## Endodontie

Der Einsatz der DVT ist in der Endodontie möglich, um zusätzliche Kanäle, die Kanalsituation, apikale Bereiche etc. darzustellen. Etliche Autoren berichten über die sinnvolle Nutzung in der Endodontie<sup>[6, 7]</sup>. Die Anzahl der Kanäle, beispielsweise ein zweiter mesio-bukkaler Kanal eines oberen Sechlers, ist auf diese Weise ebenso wie eine interne Resorption etc. sicher bestimmbar.

Auf Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Wurzeln von Zahn 26 einen Recessus der Sinus maxillaris umschließen, die mesio-bukkale Wurzel über zwei Kanäle verfügt und Zahn 27 einen nicht gefüllten zweiten Wurzelkanal aufweist. Sehr gut können Wurzelfüllungen, auch retrograde nach Wurzelspitzenresektion, dargestellt werden, indem in der 3D-Ansicht Knochen- und Zahnhartsubstanz ausgeblendet werden, sodass nur die Wurzelfüllung erkennbar bleibt. Dies zeigt Abbildung 9 am Beispiel des Zahns 26.

Die technische Weiterentwicklung, z. B. hinsichtlich einer verbesserten Darstellung kleiner akzessorischer Kanäle durch Verringerung des Bildrauschens (beeinträchtigt die Unterscheidung kleiner

Bildstrukturen durch Quantenrauschen und Systemrauschen beziehungsweise elektronisches Rauschen / die Bildqualität wird von Rauschen, Kontrast und Unschärfe bestimmt) ist mit Sicherheit für die Zukunft zu erwarten.

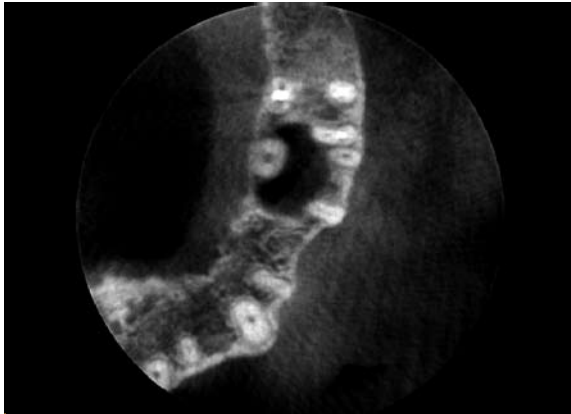


Abb. 8: Zahnwurzeln 26 umschließen Recessus der Sinus maxillaris, mesio-bukcale Wurzel verfügt über zwei Kanäle, Zahn 27 mit nicht gefülltem zweiten Wurzelkanal.



Abb. 9: Zahn 26 bei ausgeblendeter Knochen- und Zahnhartsubstanz.

## Kariesdiagnostik

Skeptisch bin ich beim Einsatz der DVT zur Kariesdiagnostik. In der 3D-Ansicht sind Karieskavitäten mit Hartsubstanzverlust zwar erkennbar, aber zur präventiven Kariesdiagnostik sollten Bissflügelnahmen auch aus Gründen der Strahlenhygiene vorgezogen werden.

## Präimplantationsdiagnostik

Vor allem bei der Planung von Implantationen zeigt die DVT den größten Nutzen und stellt in fi-

nanzieller Hinsicht im Verhältnis zu den übrigen Kosten einer Implantation für den Patienten nur einen geringen Kostenfaktor dar. Da sich vor dem Einsetzen eines Implantats durch eine DVT-Aufnahme beispielsweise das genaue Knochenvolumen sehr gut bestimmen lässt, können bereits im Vorfeld Umfang der Operation und ggf. Notwendigkeit einer Augmentation vorhergesagt werden und ein vergleichsweise präziser Kostenvoranschlag erstellt werden.

Dank der genauen Kenntnis um die knöcherne Dimension lassen sich Implantationen schneller, minimalinvasiv und sicherer durchführen – der Verlauf des Eingriffs ist exakt planbar. Fragen wie „Ist ein interner Sinuslift möglich oder wird eine einzeitige oder zweizeitige Sinusbodenelevation notwendig sein?“ können vorab beantwortet werden.

Auch für die Sinusbodenelevation ist die Kenntnis um die Anatomie des Sinus sehr nützlich. Abbildung 10 wurde im Rahmen der Planung eines Sinuslifts herangezogen und zeigt, dass die Anatomie des Recessus der Sinus maxillaris im Bereich der angestrebten Elevation keine Septen aufweist und die alveoläre Knochenhöhe 4,3 mm beträgt. Die Arteria anonyma ist medial der facialen Knochenwand im Transversalschnitt sichtbar (und kann geschont oder frühzeitig unterbunden werden!). Die Sichtung der metrischen Ausdehnung des Recessus und dessen Anatomie erleichtert die Präparation des Kieferhöhlenepithels. Auf Abbildung 11 ist der Zustand nach erfolgreichem Sinuslift zu sehen. Anhand dieser DVT-Aufnahme wurde das Implantat in regio 26 geplant. Die Markierung gibt eine Ausdehnung von 16 mm an.



Abb. 10: DVT zur Planung eines Sinuslifts.

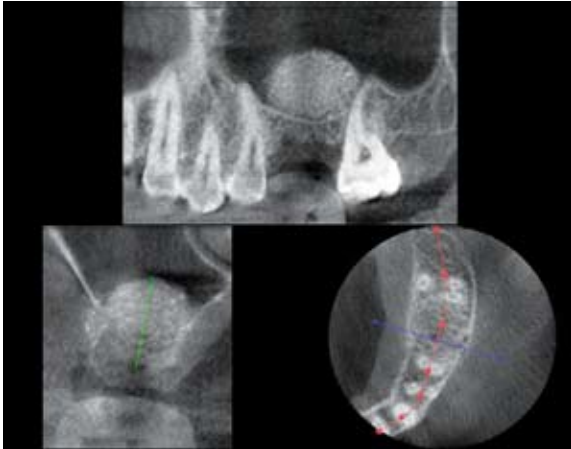


Abb. 11: Situation nach erfolgreichem Sinuslift.

Bekannt ist der Einwand von Kostenträgern, dass mittels Modellanalyse und PSA eine ausreichende präoperative Diagnostik möglich sei. Hier muss jedoch entgegengehalten werden, dass es in der PSA durch Überlagerung und Summationseffekte zu projektionsbedingten Fehlmessungen im Bereich von 2 mm kommt, während diese bei der DVT lediglich im Bereich von 0,1 mm liegen<sup>[9]</sup>. Abbildung 12 zeigt die Folgen einer solchen Fehlmessung: Das Implantat in regio 46 touchiert den Mandibularkanal. Nur die Beachtung des Leitsatzes der Implantologie, stets einen Sicherheitsabstand von 3 mm zum Nervus alveolaris inferior einzuplanen, hat die iatrogene Schädigung verhindert.

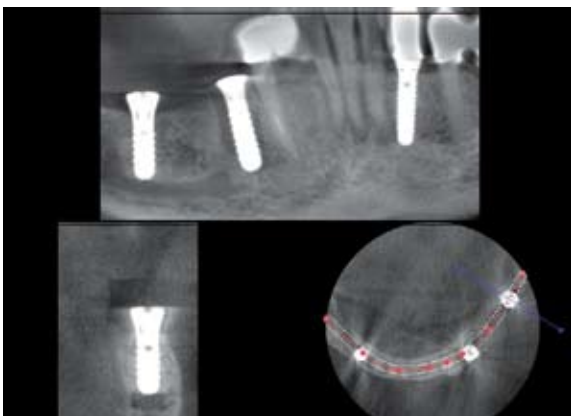


Abb. 12: Folge einer projektionsbedingten Fehlmessung - Implantat touchiert Mandibularkanal.

In der ebenfalls mit einem Implantat versorgten regio 44 liegt eine Periimplantitis vor. Die Abbildung zeigt die Möglichkeit der Bearbeitungssoftware, eine pseudosagittale Darstellung ähnlich einer PSA-Aufnahme aus der gekrümmten Darstellung zu

errechnen. Senkrecht zu dieser Panoramarekonstruktionslinie werden Transversalschnitte erzeugt (cross-sections). Die pseudosagittale Darstellung ist dem Zahnarzt vertraut und nützt vor allem der Planung der Implantatposition.

Selbstverständlich können auch die Datensätze kleiner Volumina für die Planung implantologischer Eingriffe mit Navigationsprogrammen verwendet werden, da eine Ausgabe der Daten im internationalen Standardformat Dicom 3.0 möglich ist. Eine eigene Implantat-Datenbank kann auch direkt in der Software des Röntgensystems angelegt werden.

### Dreidimensionale Implantatkontrolle

Die Kontrolle nach Implantationen erfolgt in der Regel mit PSA oder Kleinbildaufnahme. In ausgewählten Fällen – beispielsweise nach Augmentation oder bei Verdacht auf Fenestration – kann auch eine DVT-Aufnahme angefertigt werden. Gegenüber dem CT fällt auf, dass kaum störende metallische Artefakte durch das Implantat erzeugt werden. Dies kann auf die unterschiedlichen Strahlengeometrien zurückgeführt werden.

Abbildung 13 zeigt die DVT-Kontrollaufnahme des Zustands in regio 21 nach einer Augmentation.

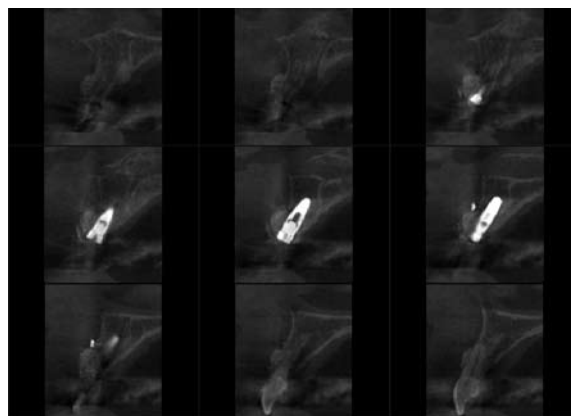


Abb. 13: Kontroll-DVT nach Augmentation in regio 21.

### Schlusswort

Der Arbeitsausschuss Röntgendiagnostik in der zahnärztlichen Röntgenologie empfiehlt zur Qualitätssicherung:

- Das Volumen umfasst den dentomaxillären Gesichtsschädel.
- Bei kleinen Volumina ist eine möglichst hohe Ortsauflösung anzustreben.
- Das dargestellte Volumen sollte der Fragestellung angepasst werden.
- Die Strahlendosis ist so niedrig wie möglich und notwendig zu halten.

In über 90 % der Fälle reicht ein Volumen von 5 cm x 3,7 cm Volumen völlig aus. Vorteil eines kleineren Volumens ist u. a., dass die applizierte Strahlenmenge geringer ist. Da die rechtfertigende Indikation die Anwendung von Verfahren mit keiner oder geringerer Strahlenexposition bei vergleichbarem Nutzen gebietet, dürften im dentomaxillären Bereich streng genommen daher keine Standard-CT mehr angefertigt werden.

Das geringere Volumen erfordert zudem weniger Speicherplatz (beim Kodak 9000 3D aktuell noch circa 175 MB bei 0,076 mm Schichtstärke), wodurch die Bereitstellung des erforderlichen Equipments zur Archivierung kostengünstiger und effizienterer Zugriff möglich ist. Da beispielsweise die Röntgenaufnahme eines achtjährigen Kindes über einen Zeitraum von 20 Jahren archiviert werden muss, spielt das Speichervolumen trotz rasant steigender Speicherkapazitäten eine durchaus relevante Rolle. Aufgrund der hohen Datenmengen insgesamt sollte bei der Installation des Praxisnetzwerks nicht an hochwertigen Komponenten gespart werden. Zudem sollte dieses professionell betreut werden. Die Einbindung der Software des Röntgensystems in ein Praxisnetzwerk und an die vorhandene Praxissoftware sollte außerdem problemlos möglich sein. Auch gilt es bei Nutzung größerer Volumina zu bedenken, dass in diesen Fällen eine komplette Befundung erforderlich ist, obwohl Zahnärzte für die Befundung der dargestellten craniellen Bereiche in der Regel gar nicht ausgebildet sind.

Bei der Suche nach einem geeigneten DVT-Gerät sollte stets auf die einfache Bedienbarkeit und Integration in den Praxis-Workflow geachtet werden. Ebenso sollten die Daten leicht zu exportieren sein und ein Viewer für Überweiser kostenlos zur Verfügung stehen. Für einen betriebswirtschaftlichen Nutzen des DVT ist eine oralchirurgische Ausrichtung

der Praxis empfehlenswert. Ich selbst nutze, wie dargestellt, die DVT hauptsächlich im Rahmen der Implantologie. Die Wirtschaftlichkeit kann hierbei über Höhe der Investitionskosten und Anzahl der Implantationen berechnet werden. ■

## Literaturverzeichnis

<sup>[1]</sup> **Schulze, R:** Aktueller Stand der digitalen Röntgentechnik. In: ZM 6 (2006).

<sup>[2]</sup> **Koch, J.H.:** Die Zukunft ist dreidimensional – digitale Diagnostik verändert die Zahnheilkunde. In: ZM 8 (2007).

<sup>[3]</sup> **Becker, J.:** Operative Zahnentfernung und ihre rechtlichen Rahmenbedingungen. In: ZM 9 (2004), S. 62.

<sup>[4]</sup> **Vosshaus, J. et al.:** Genaue Lagebestimmung der unteren Achter prä-operationem. In: ZM 2 (2005).

<sup>[5]</sup> **Scherer, P.,; Zöller, J.E. et al.:** Indikationen für die digitale Volumentomografie. In: ZM 6 (2008).

<sup>[6]</sup> **Tyndall, D.A., Rathore, S.:** Cone-beam CT diagnostic applications: caries, perodontal bone assessment, and endodontic applications. In: Dent Clin North Am 52 (2008), S. 825-841.

<sup>[7]</sup> **Patel, S.; Dawood, A.; Ford, T.P.; Whites, E.:** The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. In: Int endod J 40 (2007), S. 818-830.

<sup>[8]</sup> **Goch, I.:** Metrische Genauigkeit von Computertomografie, digitaler Volumentomografie und Orthopantomografie. In: DIGITAL\_DENTAL.NEWS 7 (2008), S. 6-12.

**Dr. Herbert Martin**  
Balingen, Deutschland



■ 1982 Zahnärztliche Approbation an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

■ 1983 Zahnärztliche Promotion

■ seit 1986 in eigener Praxis in Balingen tätig

■ Tätigkeitsschwerpunkte: Allgemeine Zahnheilkunde, Implantologie, Parodontologie

**Kontakt: Dr.H.Martin@T-Online.de**