

Digitale Volumentomografie (DVT)

Indikationen und Anwendung

Einleitung

Seit ihrer Einführung im Jahre 1997 hat sich die digitale Volumentomografie (DVT), auch cone beam computer tomography (CBCT) genannt, rasant entwickelt. Diese Entwicklung wurde maßgeblich durch implantologische Anwender befördert und beschert diesen heute dreidimensionale Aufnahmen mit Auflösungen bis zu 80µm Kantenlänge pro Voxel in allen drei Raumebenen, ein hervorragendes Kontrastverhältnis, minimierte Artefakte und umfangreiche Softwarepakete, die es ermöglichen, virtuelle Implantatplanungen, Augmentation, Volumen- und Dichtemessungen vorzunehmen und bereits virtuelle Prothetikvorschläge zu erstellen [1]. Der Raumbedarf eines heutigen DVTs liegt im Rahmen eines Panoramagerätes, die Strahlenbelastung, je nach Gerät und Aufnahmeprotokoll bei dem 3- bis 44-fachen einer Panoramaaufnahme [2].

Die Vielzahl der verfügbaren Geräte sowie deren unterschiedliche Konfigurationen bilden das breite Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie in der Praxis ab. Durchgesetzt haben sich zum einen Geräte mit einem möglichen großen Anwendungsspektrum, was auch die Anfertigung einer konventionellen Panoramaaufnahme einschließt, sowie Geräte, die anhand ihres Leistungsumfangs und der Software überzeugen können.

Angesichts der Vielzahl der Aspekte stellt sich dem implantologisch tätigen Zahnarzt die Frage nach den klinisch relevanten Indikationen sowie der dafür nötigen technischen Features.

In diesem Artikel werden die Indikationen den nötigen technischen Merkmalen gegenübergestellt und

praktisch relevante Aspekte in der Anwendung der DVT zusammengefasst.

Volumengröße vs. Indikationsbreite

Für Anwendungen in der Implantologie stellt sich die Volumengröße als entscheidendes Kriterium dar. Umfangreiche Implantationen können nur mit einem ausreichend großen Volumen in einer Aufnahme dargestellt werden. Volumengrößen von 5x4 cm oder 8x8 cm Field-of-View (FOV) erlauben es beispielsweise nicht, zuverlässig einen Kiefer vollständig abzubilden. Reicht diese Volumengröße für Einzelzahnimplantate noch aus, können bei größeren Schalllücken bereits mehrere Aufnahmen nötig sein. Dies stellt sich insbesondere bei der Verwendung von Software zur computerunterstützten Implantatplanung als Handicap heraus, da hier sowohl das geplante Implantatbett als auch die Scanschablone mit Referenz in einem Scan dargestellt sein müssen. Sind für atrophe Kiefer Augmentationen geplant, empfiehlt sich ebenfalls eine ausreichende Volumengröße, da etwa bei der retromolaren Knochenentnahme nicht nur das Implantationsgebiet, sondern auch die Entnahmestelle dargestellt werden sollten. Gerade hier ist eine suffiziente Darstellung des Nervus alveolaris inferior unverzichtbar, um diesen einerseits nicht zu gefährden und andererseits eine ausreichende Größe des Knochenblocks sicherstellen zu können. Bei Augmentationen im Oberkiefer kommt der Evaluation des Sinus maxillaris eine besondere Bedeutung zu, da hier zum einen krankhafte Prozesse, aber auch mögliche Septen erkannt werden sollten.

Da Septen die häufigste Ursache für die Perforation der Schneider'schen Membran bei der Präparation darstellen, bedeutet die exakte Lokalisation dieser einen entscheidenden Vorteil in der Planung. Zur sicheren Erfassung dieser implantologisch relevanten Strukturen ist eine ausreichende Volumengröße unabdingbar. Darüber hinaus benötigen kleine Volumina zu einer exakten Positionierung des Patienten im Gerät, um genau den interessierenden Bereich im Volumen abzubilden. Die mitunter schwierige Positionierung endet dann nicht selten in einer Wiederholung der Aufnahme, was natürlich auch eine erhöhte Strahlenbelastung mit sich bringt. Darüber hinaus zeigen aktuelle Messungen [2], dass Geräte mit einem kleinen Volumen keinen Vorteil hinsichtlich der effektiven Dosisbelastung zeigen. Beispielsweise kann eine Aufnahme mit einem 8,1x7,6 cm FOV eine effektive Dosisbelastung von bis zu 652 µSv erzeugen, während andere Geräte für eine FOV von 15x15 cm lediglich eine effektive Dosis von 70µSv benötigen [2]. Da laut Röntgenverordnung jede Röntgenaufnahme eine rechtfertigende Indikation benötigt, ist auch hier Risiko und Nutzen abzuwägen. Dem gegenüber sollte auch bei Geräten mit größeren Volumina beachtet werden, dass nur der nötige Bereich dargestellt wird. Somit ist z.B. für Implantationen im Unterkiefer die Darstellung des Oberkiefers im Allgemeinen nicht nötig. Geräte, die über ein großes Volumen verfügen, sollten daher sinnvolle Einblendungsmöglichkeiten bieten, die es erlauben Ober- und Unterkiefer getrennt aufnehmen zu können, jedoch dabei die Positionierung einfach und sicher gestalten. Ein weiterer Aspekt hinsichtlich

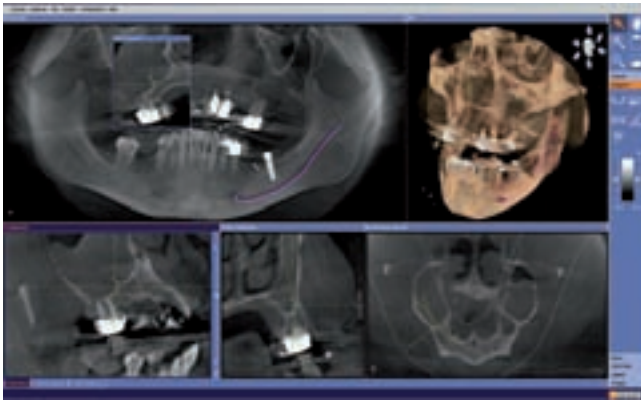


Abb. 1 Darstellung eines Volumendatensatzes in ausreichender Größe zur implantologischen Planung. Es zeigen sich Septen und eine fast vollständige Verschattung im Sinus auf beiden Seiten. Der Verlauf des Nervus alveolaris inferior ist auf der rechten Seite eingezeichnet.

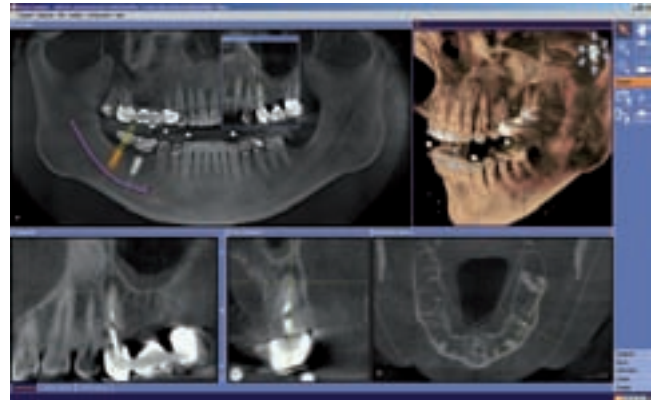


Abb. 2a Datensatz zur implantologischen Planung mit Scanschablone und Markern (siehe runde röntgendichte Strukturen interokklusal) mit multiplen Nebenbefunden: Apikale Aufhellung an Zahn 25 – im transversalen Schnitt (unten Mitte) lässt sich die insuffiziente, spiralförmige Aufbereitung des Wurzelkanals erkennen. Die vorhandenen Metallartefakte stören bei dieser Diagnose nicht.

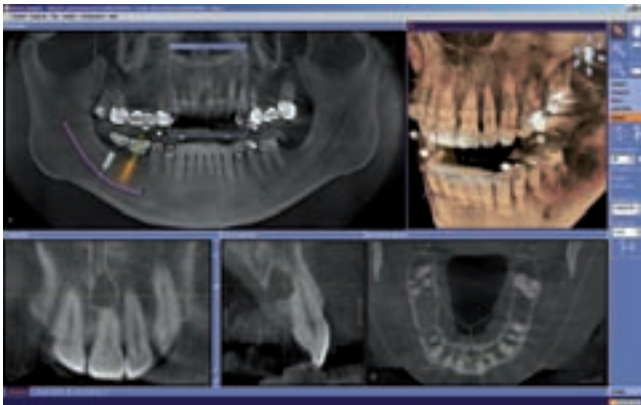


Abb. 2b Nasopalatinale Zyste palatal von 21. Die Erstdiagnose, die eindeutige Lage- und Größenbezeichnung wäre ohne eine dreidimensionale Aufnahme nicht möglich gewesen. Die Arodierung der Wurzel des 21 indizierte eine Entfernung der Zyste.

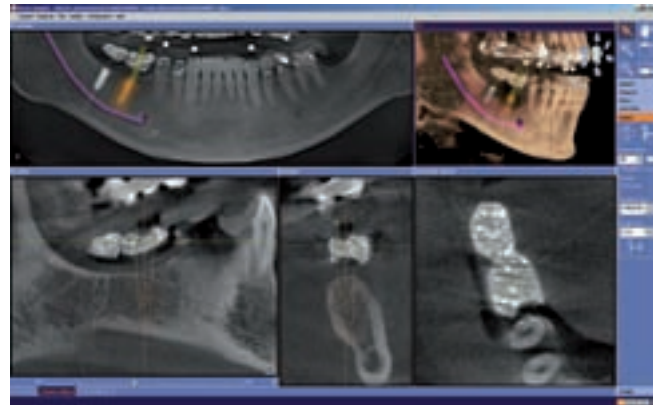


Abb. 2c Fertige Implantatplanung des gleichen Patienten unter Berücksichtigung der prothetischen Planung in Form der Barium-Sulfat-Scanschablone sowie des Knochenangebots. Die speziell ausgerichtete Implantatansicht zentriert immer auf das Implantat. Die Verlängerung der Implantatachse wird angezeigt (gelber Zylinder), was auch die Berücksichtigung des prothetischen Vorschlags erleichtert. Weiterhin wird ein definierbarer Sicherheitsabstand um das Implantat herum angezeigt.

der Volumengröße gilt der nötigen Befundung, welche für alle abgebildeten Bereiche erforderlich und zu dokumentieren ist. Somit ist die Einblendung sowohl aus strahlenhygienischen wie auch aus forensischen Gründen sinnvoll.

Sollen weitere Indikationen, wie Kieferorthopädie, Traumatologie oder Sinusdiagnostik, abgedeckt werden, ist hierfür ebenfalls eine ausreichende Volumengröße nötig [3-5].

Auflösung vs. Zahnerhaltung

Neben den chirurgischen Indikationen wird auch in der Endodontie und Parodontologie von erfolgrei-

cher Anwendung der DVT berichtet. Zahlreiche Studien haben ergeben, dass die Aussagekraft des Zahnstatus im Rahmen der parodontalen Diagnostik eingeschränkt ist. Einerseits werden knöcherne Defekte durch intakte Kompakta oder Zahnwurzeln überlagert, andererseits können dünne Knochenlamellen bei ungünstiger Projektionsrichtung oder Überbelichtung überstrahlt werden [6]. Im Vergleich zur intraoperativen Situation unterschätzen und übersehen Behandler den vorhandenen Knochenabbau. Weiterhin ist eine Beurteilung der oralen und vestibulären Flächen der Zähne, insbesondere in Bezug auf Dehiszenzen

und Fenestrationsen, nur eingeschränkt möglich [7]. Ebenso werden Knochentaschen bezüglich ihrer Größe und Morphologie nicht richtig eingeschätzt. Mithilfe der DVT lässt sich die parodontale Situation räumlich beurteilen und auswerten. Somit wird eine Untersuchung von ein-, zwei- und dreiwandigen Knochentaschen ebenso möglich wie die Klassifizierung der Furkationsbeteiligung. Es ist davon auszugehen, dass die röntgenologische Diagnostik und die klinische Situation in Hinblick auf den horizontalen und vertikalen Knochenabbau näher beieinander liegen und dass präoperativ eine gezieltere Einschätzung des zu er-



Abb. 3 Dreidimensionale Analyse eines massiv parodontal geschädigten Zahnsystems. Sowohl die dreidimensionale Darstellung oben rechts, wie auch die axiale Darstellung darunter können zur Evaluation parodontaler Defekte hilfreich sein.

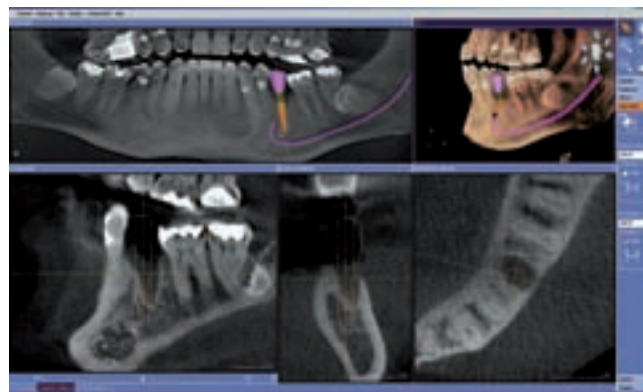


Abb. 4 Implantatplanung basierend auf CEREC und 3D-Röntgendaten. Durch die Fusion der beiden Datenquellen kann die Erstellung der Röntgenschablone durch den Zahntechniker eingespart und das Ergebnis exakt visualisiert werden.

wartenden intraoperativen Befundes möglich ist [8].

In der Endodontie zeigen sich ebenfalls vielfache Anwendungsmöglichkeiten: Somit lassen sich zum einen Wurzelkanalgeometrien erfassen, aber auch periapikale Herde dreidimensional evaluieren sowie Wurzelspitzenresektionen optimal planen [9].

Mit Anwendungen aus der Paro- und Endodontologie verbreitert sich zwar das Indikationsfeld, allerdings sind daran auch weitere technische Bedingungen geknüpft [10]. Die klinisch erzielbare räumliche Auflösung spielt dabei eine wesentliche Rolle. Mittlerweile kann eine technische Auflösung von 150 µm oder weniger als Standard angesehen werden. Wichtig ist hierbei die Unterscheidung zwischen technisch möglicher und klinisch erzielbarer Auflösung. Da letztlich alle DVT-Aufnahmen aus primären Einzelbildern errechnet werden, spielt die Bewegung des Patienten während der Aufnahme eine wesentliche Rolle. Verändert dieser seine Position während der Aufnahme, verringert sich die Auflösung um den Betrag der Patientenbewegung, da nun die Primärbilder den Patienten in unterschiedlichen Positionen darstellen. Somit müssen Aufnahmedauer und Auflösung gemeinsam betrachtet werden. Beispielsweise verlängert sich die Aufnahmezeit


für viele Geräte bei höherer Auflösung. Hierbei wird ein gegenläufiger Effekt erzielt: Durch die längere Aufnahmezeit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für Bewegungsartefakte, womit die Auflösung effektiv verringert wird. Daher ist es wichtig, zur Erzielung einer effektiv hohen Auflösung eine möglichst kurze Aufnahmedauer zu verwenden. Auflösungen im Bereich kleiner als 150 µm sind daher ohne massive Fixierung des Patienten klinisch kaum zu erzielen. Fixierungen werden allerdings nicht von allen Patienten toleriert, sodass auch hier ein klinisch einsetzbarer Kompromiss gefunden werden muss. Auch der Rotationsstabilität des verwendeten Gerätes gebührt hierbei Aufmerksamkeit.

Dosis vs. Bildqualität

Die effektive Dosisbelastung einer DVT-Aufnahme liegt derzeit nach ICRP 2007, je nach Gerät, zwischen dem 3- und 44-fachen einer Panoramaaufnahme, oder absolut ausgedrückt: zwischen 68 und 1073 µSv. Ein dosisreduziertes Programm einer Computertomografie (CT) kann Dosiswerte bis zu 534 µSv erreichen [2]. Somit ist die Aussage, dass DVT-Aufnahmen stets eine geringere Dosis als CT-Aufnahmen haben, nicht haltbar – es hängt hier auch wesentlich vom Gerätetyp ab. Viele DVT-Geräte

erlauben allerdings Aufnahmen unter 100 µSv und bieten daher den gewünschten strahlenhygienischen Vorteil.

Für viele Geräte sind wissenschaftlich fundierte Dosismessungen durchgeführt worden und in der Literatur verfügbar. Vor der Anwendung oder Anschaffung eines bestimmten DVTs erlaubt sich also ein Vergleich. Geräte, die bereits länger auf dem Markt sind und für die keine Dosismessungen zur Verfügung stehen bzw. vom Hersteller nicht zur Verfügung gestellt werden, muss von einer hohen Dosis ausgegangen werden, da jeder Hersteller darauf bedacht ist, geringe Dosiswerte werberisch zu verwenden. Da sich bei den aktuellen Geräten keine direkte Korrelation zwischen Volumengröße und Dosisbelastung zeigt, schneiden Geräte mit größeren Volumina hier tendenziell besser ab. Da bei einer geringen Dosisleistung auch ein geringeres Kontrastverhältnis erreicht wird, stellt sich auch die Frage, ob sich eine Abhängigkeit von Dosis und Bildqualität zeigt. Hierzu findet sich in der Literatur kein Anhalt, zumal die Bildqualität von einer Reihe von Faktoren beeinflussbar ist. Es empfiehlt sich daher, die unterschiedlichen Bildeindrücke der Geräte selbst zu vergleichen.

Nachteil der DVT-Technologie ist die Anfälligkeit gegenüber Metallartefakten [11]. Diese verbieten es, 

auch bei höheren Dosen in einem bereits versorgten Zahnsystem eine sichere Kariesdiagnostik zu betreiben. Aufgrund der hohen Dichte der in der Zahnmedizin verwendeten Werkstoffe können diese von Röntgenstrahlen in diagnostischer Qualität nur schlecht durchdrungen werden, was zu Auslöschungsartefakten führt. Diese schlagen sich im DVT-Datensatz als schwarze Bereiche nebst jeder Füllung, Brücke oder Krone und auch im Bereich der Implantate nieder. Dies bedingt ebenfalls, dass eine Periimplantitis mithilfe der DVT nicht sicher gestützt werden kann, da regelmäßig circumferente Artefakte am Implantat erscheinen. Allerdings lassen sich Position und Ausrichtung eines gesetzten Implantats hervorragend bestimmen, womit der DVT auch in der Komplikationsbehandlung ein erheblicher Stellenwert zuzumessen ist.

Software vs. Effizienz

Da es sich bei der DVT um ein komplexes bildgebendes System handelt, kommt der Bedienung und damit der Software ein wesentli-

cher Stellenwert zu. Aufgabe einer klinisch anwendbaren Software ist es, die durch die dreidimensionale Bildgebung zusätzlich gewonnene Information so aufzubereiten, dass ein zahnärztlicher Anwender keine Schwierigkeiten hat, sich zu orientieren und die relevante Information effizient finden und dokumentieren kann. Hierbei liegt der Nachteil vieler Systeme darin, dass sie jeweils zusätzliche Softwarepakete benötigen, um den vollen Leistungsumfang abzudecken. Systeme, die lediglich die Befundung erlauben, aber für die Implantatplanung zusätzliche Module benötigen, erweisen sich in der Praxis als wenig effizient. Ein zeitraubender Datenimport und -export ist erforderlich, der es verbietet beispielsweise den Patienten sofort nach der Aufnahme, etwa am Bildschirm, über Implantatplanungen zu informieren. Gerade diese Funktionalität stellt sich aber als überaus wertvoll im klinischen Alltag heraus. Weiterhin sollte bei der Software die Erweiterbarkeit und Zukunftsfähigkeit beachtet werden, womit Systemanbieter, die etwa auch CAD/CAM-Geräte anbieten, deutlich im Vorteil sind. Es

wurden bereits erste Studien veröffentlicht, die eine Kombination von CAD/CAM-Systemen und 3D-Röntgen beschreiben, die es Anwendern ermöglichen, auch virtuell prothetische Vorschläge zu erstellen und in Zukunft auch Bohrschablonen chairside zu erstellen[12].

Zusammenfassung

Die DVT besitzt in der Diagnostik und zur Planung von implantologischen Eingriffen einen hohen Stellenwert. Sie bietet dreidimensionale Bilder ohne Überlagerung, 1:1 Messungen in Submillimetergenauigkeit sowie gute Bildqualität bei vergleichsweise geringer Strahlenbelastung. Die Indikation ist zur präimplantologischen Diagnostik regelmäßig, aber nicht zwingend zu stellen. Erleichtert werden Diagnostik und Planung durch klinisch sinnvoll anwendbare Software, der neben Auflösung und Volumengröße die größte Aufmerksamkeit gebührt.

Neben der Oralchirurgie ist die DVT auch in der Parodontologie und Endodontologie anwendbar. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine ausreichende Auflösung, um auch feine Details erkennbar zu machen. Im Sinne der Patienten sollte bei dem Einsatz der Technologie auf die Indikation und auf eine optimale Relation zwischen Dosis und Informationsgewinn geachtet werden. ■

Lutz Ritter, Jörg Neugebauer,
Joachim E. Zöller

Literatur

- [1] Neugebauer J, Ritter L, Mischkowski R, Zoller JE. Three-dimensional diagnostics, planning and implementation in implantology. *Int J Comput Dent* 2006;9(4):307-19.
- [2] Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106(1):106-14.
- [3] Bamgbose BO, Adeyemo WL, Ladeinde AL, Ogunlewe MO. Conebeam computed tomography (CBCT): the new vista in oral and maxillofacial imaging. *Nig Q J Hosp Med* 2008;18(1):32-5.
- [4] Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E, et al. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104(4):551-9.
- [5] Holberg C, Steinhauser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop* 2005;66(6):434-44.
- [6] Visser. Zeitgemäße parodontologische Röntgendiagnostik. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999(54):64-72.
- [7] Rees TD, Biggs NL, Collings CK. Radiographic interpretation of periodontal osseous lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32(1):141-53.
- [8] Grimard BA, Hoidal MJ, Mills MP, Mellonig JT, Nummikoski PV, Mealey BL. Comparison of clinical, periapical radiograph, and cone-beam volume tomography measurement techniques for assessing bone level changes following regenerative periodontal therapy. *J Periodontol* 2009;80(1):48-55.
- [9] Tyndall DA, Rathore S. Cone-beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. *Dent Clin North Am* 2008;52(4):825-41, vii.
- [10] Ozmeric N, Kostjoutchenko I, Hagler G, Frentzen M, Jervoe-Storm PM. Cone-beam computed tomography in assessment of periodontal ligament space: in-vitro study on artificial tooth model. *Clin Oral Invest* 2008;12(3):233-9.
- [11] Baba R, Ueda K, Okabe M. Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33(5):285-90.
- [12] Ritter L, Neugebauer J, Dreiseidler T, Rothamel D, Cizek J, Karapetian VE, et al. 3D X-ray meets CAD/CAM dentistry: a novel procedure for virtual dental implant planning. *Int J Comput Dent* 2009;12(1):29-40.

Korrespondenzadresse

Dr. Lutz Ritter
Klinik und Poliklinik für Mund-,
Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie und Interdisziplinäre
Poliklinik für Orale Chirurgie
und Implantologie
Kerpener Str. 62. 50937 Köln
e-mail: lutz.ritter@uk-koeln.de