

# Die digitale Volumentomographie – klinisch unterschätzt und wirtschaftlich überschätzt?

Brauchen zahnärztliche Praxen tatsächlich die digitale Volumentomographie oder reichen herkömmliche Verfahren der Bildgebung nicht doch aus? Viele Zahnärzte stehen der noch relativ neuen, teuren Technik skeptisch gegenüber. Doch die digitale Volumentomographie kann diagnostisch sinnvoll in vielen Bereichen eingesetzt werden und wird schon bald die Computertomographie und konventionelle röntgenologische Verfahren für knöcherne Fragestellungen im Schädelbereich obsolet erscheinen lassen. Die Wirtschaftlichkeit des Systems steht auf einem anderen Blatt: Für die Einzelpraxis wird sich eine solche Anschaffung kaum rechnen, es sei denn, der Zahnarzt möchte eine röntgenologische Überweiserpraxis aufbauen. Dafür muss das Gerät allerdings auch geeignet sein, wie im folgenden Beitrag nachzulesen ist. Neben den Kriterien der Geräteauswahl beleuchten die Autoren die rechtlichen Grundlagen, die Indikationen für eine digitale Volumentomographie und die Vorteile dieses Verfahrens.

Bildgebende Verfahren sind ein essenzieller Bestandteil der täglichen zahnärztlichen Diagnostik. Eine kom-

plette Neuorientierung und Neubewertung der zahnärztlichen Röntgentätigkeit ist erforderlich aufgrund der



**Prof. Dr. Axel Bumann**

1980–1985 Studium der Zahnmedizin in Kiel  
 1986–1989 Fachzahnarzt Ausbildung „Oralchirurgie“ in Kiel  
 1988 Promotion  
 1989–1992 Fachzahnarzt Ausbildung „Kieferorthopädie“ in Kiel  
 1991 Lehrer der „Akademie Praxis und Wissenschaft“  
 1992 Habilitation  
 1992 Oberarzt und stellv. Abteilungsdirektor der Abt. Kieferorthopädie in Kiel  
 1993 Visiting Professor an der University of Manitoba in Winnipeg (Kanada)

1996 Ernennung zum apl. Professor an der Universität Kiel

1997–1998 Visiting Professor an der Harvard Medical School, Boston (USA)

1997–2000 Visiting Professor an der Harvard School of Dental Medicine, Boston (USA)

1998–2000 Research Associate an der Boston University, Boston (USA)  
 Autor Farbatlanten der Zahnmedizin „Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien“; Band 12, Thieme Verlag, Stuttgart

14 nationale und internationale Forschungs- und Posterpreise

Seit 2000 Clinical Professor (part time) am Dept. of Craniofacial Sciences and Therapy, University of Southern California, Los Angeles (USA)

Seit 2000 Kieferorthopädische Praxis in Berlin

Seit 2006 Direktor von Mesantis, Institut für kraniofaziale Volumentomographie in Berlin

Nationaler und internationaler Referent, Themenschwerpunkte: Kieferorthopädie, digitale Volumentomographie, Funktionsdiagnostik und Funktionstherapie

seit 2003 erheblich veränderten nationalen Gesetzeslage (= Röntgenverordnung) mit den dazugehörigen Richtlinien sowie aufgrund der fundamentalen Änderungen der gesamten Röntgentechnik nach Einführung der digitalen Systeme. Dies wird durch die dreidimensionale Röntgentechnik in Form der dentalen, digitalen Volumentomographie noch weiter verstärkt, da mit dieser in der Zahnmedizinischen Fachkunde definierten Geräteklasse ein völlig neues diagnostisches Spektrum abgedeckt werden kann<sup>22</sup>.

**Standing der DVT** | In den vergangenen Jahren konnten sich digitale Röntgensysteme zunehmend in zahnärztlichen Praxen etablieren. So stieg der Anteil digitaler Panoramaröntgengeräte von 10 % im Jahr 1998 auf 80 % im Jahr 2006<sup>23</sup>. Andere Autoren berichten mit 20 % über deutlich niedrigere Zahlen<sup>22</sup>. Parallel zu dieser Entwicklung warnen vermehrt Stimmen vor einer begrenzten diagnostischen Aussagekraft zweidimensionaler Röntgenbilder<sup>24</sup>. Seit Anfang der 1980er Jahre sind mithilfe der Computertomographie (CT) dreidimensionale Darstellungen des Gesichtsschädels möglich. Die CT geht jedoch mit einer vergleichsweise hohen Strahlenbelastung einher. Eine klinisch sinnvolle Alternative stellt die digitale Volumentomogra-

phie (DVT) dar. Das technische Prinzip der digitalen Volumentomographie und erste klinische Ergebnisse wurden bereits vor zehn Jahren von Mozzo et al. beschrieben<sup>15</sup>. Im Gegensatz zur CT umkreist bei der DVT die Strahlenquelle das Untersuchungsobjekt nicht unzählige Male, sondern nur mit einer einzigen Umdrehung (Abb. 1).

In Deutschland wurde im Jahre 1997 der erste Volumentomograph für klinische Anwendungen aufgestellt. In den vergangenen 11 Jahren hat sich dieser Bereich enorm weiterentwickelt. Mittlerweile gibt es mehr als zehn Geräteanbieter – teilweise mit mehreren Geräten – in diesem Segment. Gegenwärtig gibt es ca. 200 Volumentomographen in Deutschland. Die Nettopreise für die reine Geräteanschaffung liegen zwischen ca. 160.000 und 240.000 Euro. In Deutschland ist die Strategie, die bei der Anschaffung eines Volumentomographen verfolgt wird, in der Regel eine ganz andere als in den USA. Während in Deutschland diese Geräte häufig von Einzel- oder Gemeinschaftspraxen zum „Eigengebrauch“ angeschafft werden, erfolgt in den USA der Erwerb dieser Geräte in der Regel durch Einzelpersonen, die den Volumentomographen im Sinne eines Dental Imaging Centers (= zahnärztliches 3D-Röntgeninstitut) einsetzen. Die digitale Volumentomographie

wird in den nächsten Jahren fast alle bisherigen Verfahren ersetzen können (Tab. 1).

**Rechtliche Grundlagen**

**I** Mit zunehmendem Qualitätsanspruch an eine Röntgenaufnahme muss die aufzuwendende Strahlendosis steigen. Diese physikalische Gesetzmäßigkeit ist unumgänglich.

Die allgemeine Qualitätssicherung im Gesundheitssystem macht selbstverständlich auch nicht vor der Röntgendiagnostik halt. Die Röntgenverordnung in der Fassung vom 30.

April 2003 ([www.aroo.org/files/roev.pdf](http://www.aroo.org/files/roev.pdf)) regelt daher den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung. Sie basiert im Wesentlichen auf drei Säulen:

- Schutz des Patienten,
- effektive Qualitätssicherung,
- Schutz des Personals.

Diese Ziele sollen durch die Einhaltung von drei bedeutsamen Eckpunkten erreicht werden:

- rechtfertigende Indikation (§23 der RöV),
- Festlegung von Dosisgrenzwerten (§§31 und 32 der RöV),
- Vermeidung unnötiger Strahlenexposition durch Dosisreduzierung (§2c der RöV).

Die Röntgenverordnung behandelt jedoch nur die Aufnahme-modalitäten, also das Röntgengerät und die Indikationsstellung. Die digitale Verarbeitung der Daten ist hier noch nicht gesondert berücksichtigt.

Bildgebende Technik	Kann durch DVT ersetzt werden
Panoramaaufnahme	ja
Zahnfilm	ja
Bissflügel	gelegentlich
Aufsichtaufnahmen	ja
Fernröntgen seitlich	ja
Fernröntgen p.a.	ja
Schüller-Aufnahmen	ja
Parma-Aufnahmen	Ja
Transmaxilläre Aufnahmen	ja
Transpharyngeale Aufnahmen	ja
Submentovertex-Aufnahme	ja
Konventionelle Tomographien	ja
Arthrographie	ja
Magnetresonanztomogramme	gelegentlich
Computertomogramme	ja

Tab. 1: Tabellarische Darstellung bildgebender Verfahren in der Zahnheilkunde und deren möglicher Ersatz durch die digitale Volumentomographie.

In Ergänzung zur Röntgenverordnung regelt das Medizinproduktegesetz in §3 Abs. 1a, was als Medizinprodukt gilt. Unter anderem gilt auch ein Befundungsmonitor als Medizinprodukt und muss daher u. a. ein MPG-konformes Netzteil aufweisen, was häufig übersehen wird.

Neben der Röntgenverordnung und dem Medizinproduktegesetz muss der Strahlenschutzverantwortliche bzw. der Strahlenschutzbeauftragte beim Einsatz eines DVT eine Reihe von speziellen Richtlinien einhalten, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Diese Zusammenhänge sind den meisten Kollegen durch die entsprechenden Fachkunde- und Strahlenschutzkurse hinlänglich bekannt.

Weniger bekannt ist hingegen, dass zusätzlich eine Reihe von Normen einzuhalten ist. Diese sind der besseren Übersicht halber in Tabelle 3 aufgeführt. So müssen beispielsweise nach DIN 6868-57 (Kapitel 5.3) Betrachtungsmonitore als Klasse-B-Monitore abgenommen werden. Dazu müssen folgende Parameter erfüllt sein:

- ein Kontrast von > 40:1 (unter Berücksichtigung der Schleicher-

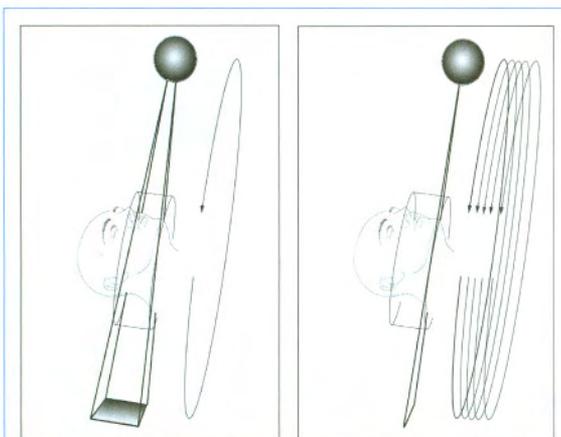


Abb. 1: Funktionsprinzip der digitalen Volumentomographie mit konusförmigem Röntgenstrahl (links) und dem Spiral-CT mit fächerförmigem Röntgenstrahl (rechts).

Richtlinie (RL)	Gegenstand der Richtlinie
Sachverständigen-Prüf-RL (SV-RL)	Anleitung für den Sachverständigen zur Durchführung seiner Prüfungen
Qualitätssicherungs-RL (QS-RL)	Anleitung zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Abnahmeprüfung und Konstanzprüfung für Modalitäten, für die es noch keine Normen gibt
Fachkunde-RL Medizin/Zahnmedizin	Erwerb und Aktualisierung von Fachkunde und Kenntnissen im Strahlenschutz
RL Aufzeichnungen	Anleitung zur Aufzeichnungspflicht nach §28 RöV für den Anwender
RL ärztliche und zahnärztliche Stellen	Struktur und Arbeit der ärztlichen und zahnärztlichen Stellen

Tab. 2: Für die zahnmedizinische Bildgebung relevante Richtlinien zur RöV (modifiziert nach Ewen 2007<sup>5</sup>).

DIN-Norm	Gegenstand der Norm
DIN 6812	Baulicher Strahlenschutz
DIN 6815	Überprüfung von Röntgeneinrichtungen und gerätetechnischer Strahlenschutz
DIN V 6868-151	Abnahmeprüfung an zahnmedizinischen Röntgeneinrichtungen
DIN 6868-5	Konstanzprüfungen an zahnmedizinischen Röntgeneinrichtungen
DIN V6868-57	Anleitung zur Durchführung der Abnahmeprüfung an Monitoren
DIN 61223-2-5	Anleitung zur Durchführung der Konstanzprüfung an Monitoren
DIN 60601-1(-1-2)	Elektrische und elektromagnetische Sicherheit in der Medizintechnik

Tab. 3: Für die zahnmedizinische Bildgebung relevante Normen (modifiziert nach Ewen 2007<sup>5</sup>).

Leuchtdichte und des Umgebungslichts),  
 - eine Helligkeit von mindestens 120 cd/m<sup>2</sup>,  
 - eine so genannte DICOM-Charakteristik.

Während die beiden ersten Anforderungen problemlos mit hochwertigen Standardmonitoren erfüllt werden können, wird das dritte Kriterium in mehr als 90 % der deutschen Praxen und Kliniken nicht erfüllt. Bei der Angabe der Kontraste ist darauf zu achten, dass Datenblattangaben mit 1000:1 aus der Dunkelkammer schnell auf unter 100:1 sinken, wenn das Umgebungslicht bei der Messung

hinzukommt. Für die Qualitätssicherung sind die tatsächlichen Messwerte unter Umgebungslicht relevant und nicht die Datenblattangaben.

**Bilddatenarchivierung** | Ärzte und Zahnärzte müssen Röntgenbilder zwischen zehn und 28 Jahre lang aufbewahren. Mit der stetigen Zunahme digitaler Daten wachsen die Probleme der langfristigen Aufbewahrung. Anwender der digitalen Volumentomographie wurden in der Vergangenheit weder vonseiten der Hersteller noch vom Gesetzgeber zu einem langfristig umsetzbaren Archivierungskonzept angeleitet<sup>21</sup>.

Unter diesen Aspekten kommt der Größe einer rekonstruierten Datei besondere praktische Bedeutung zu. Geht man beispielsweise von nur zehn DVTs pro Tag an 220 Tagen im Jahr bei nur zehnjähriger Lagerung aus, entspricht dies 22.000 Scans. Die Dateigröße eines Scans schwankt bei den Geräten unterschiedlicher Hersteller zwischen 50 MB und 1 GB. Während eine Differenz von beispielsweise 500 MB bei isolierter Datensatzbetrachtung noch nicht so sehr ins Gewicht fällt, sind die langfristigen Konsequenzen immens. Bei nur zehnjähriger Aufbewahrung müssten je nach DVT-Hersteller 11.000 GB mehr gespeichert werden. Legt man die maximale Aufbewahrungsfrist von 28 Jahren zugrunde, ergeben sich sogar Unterschiede von 30.800 GB, die zusätzlich zu den Rohdaten revisionssicher archiviert werden müssen. Bei diesen Berechnungen darf man nicht vergessen, dass hier von nur zehn Aufnahmen pro Tag ausgegangen wurde, was ein zahnärztliches Röntgeninstitut bzw. ein Imaging-Center sicher nicht auslastet bzw. betriebswirtschaftlich rentabel gestaltet.

Ein weiteres häufig unterschätztes Thema ist der Datenversand. Insbesondere im Bereich der digitalen Bildgebung bietet sich inzwischen das Internet als Medium für den Transport digitaler Datenbestände an. Geregelt wird der Schutz solcher Daten durch das Datenschutzgesetz, die EU-Richtlinie 2002/58/EG, die Musterberufsordnung für die deutschen Ärztinnen und Ärzte (MBO) und §28 der Röntgenverordnung<sup>6</sup>. Wenn Daten über das Internet versendet werden, müssen diese zwingend verschlüsselt sein. Der Strahlenschutzverantwortliche muss daher entsprechende Hard- und Software vorhalten.

**Geräteauswahl** | Im Praxisalltag wird die Kaufentscheidung für einen Volumentomographen häufig vom Kaufpreis, der Größe (passt er in den alten Röntgenraum?) und vom Bedienungskomfort abhängig gemacht. Aus zahnmedizinisch-anwendungstechnischer Sicht sind jedoch einzig

und allein zwei völlig andere Kriterien relevant. Diese sind das „Field of View“ (= Größe des maximalen Bildausschnittes) und die Strahlenbelastung eines Gerätes.

Das Field-of-View (FoV) bestimmt in erster Linie, ob man das angeschaffte Gerät „nur“ für den Eigenbedarf oder im Sinne eines 3D-Röntgeninstitutes nutzen kann. Wird ein Gerät für den Eigenbedarf genutzt, wird man es in aller Regel betriebswirtschaftlich nicht ausnutzen können. In diesem Fall dient das 3D-Röntgen mehr der Imageaufwertung einer Praxis und die hohen Anschaffungskosten müssen aus einem anderen Teilbereich der Praxis (z. B. erhöhte Implantationszahlen und damit verbundene Implantatprothetik) subventioniert werden. Viele Kollegen und Kolleginnen übersehen in der derzeitigen DVT-Euphorie aber, dass sie auch ohne hohe Investitionen in den Genuss einer Imageaufwertung ihrer Praxis kommen können, indem sie nämlich einen Patienten in ein spezialisiertes DVT-Röntgeninstitut überweisen. Damit stehen alle Vorteile der digitalen Volumentomographie zur Verfügung, ohne auch nur einen einzigen Cent investieren zu müssen. Das Teuerste an einem Volumentomographen ist der Sensor, dessen Größe das FoV determiniert. Deswegen sind Geräte mit kleinem FoV (z. B. 4 x 4 cm) günstiger als Geräte mit einem großen FoV (z. B. 24 x 19 cm). Etliche Anwender entscheiden sich daher für ein kleines FoV, nur um beispielsweise 30.000 Euro Anschaffungskosten zu sparen. Dieser Entscheidungsprozess ist oberflächlich betrachtet unter investitonstechnischen Aspekten auch durchaus nachvollziehbar. Mit einer Entscheidung zu einem kleinen FoV und damit zu geringeren Investitionskosten erkaufte man sich aber gleichzeitig zwei entscheidende Nachteile:

1. Mit einem kleinen FoV kann man keine Überweiserpraxis aufbauen, da man nicht die unterschiedlichen Wünsche der potenziellen Überweiser abdecken kann.
2. Ein kleines FoV erfordert in vielen Patientenfällen Mehrfachaufnahmen. Dadurch summiert sich die

Strahlenbelastung und eine eventuell niedrige Strahlenbelastung eines Gerätes mit kleinem FoV übersteigt plötzlich bei weitem die nur geringfügig höhere Strahlenbelastung eines Gerätes mit großem FoV.

In Zukunft wird die rechtfertigende Anwendung und damit die Verbreitung der digitalen Volumentomographie einzig und allein über die Strahlenbelastung bestimmt werden. Daher kommt diesem Parameter eine ganz besondere Bedeutung bei der Geräteauswahl zu. In diesem Zusammenhang sollten Anbieter auf objektive wissenschaftliche Studien zu ihren Geräten verweisen können, wie dies beispielsweise für das i-CAT (Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA), das Newtom 3G (Newtom, NY, USA) und das 3DeXam (KaVo, Biberach) der Fall ist<sup>1</sup>. Persönliche Meinungen eines Außendienstmitarbeiters sind für die Kaufentscheidung wenig relevant. Unabhängig von diesen unmittelbaren Konsequenzen muss man sich bei einer Investition dieser Dimension schon heute die gesundheitspolitischen Trends in Deutschland vor Augen halten. Die hiesigen Krankenkassen fangen gerade erst an, das Potential der digitalen Volumentomographie zu begreifen. Dabei geht es nicht um die Vergütung der Einzelaufnahme, sondern vielmehr um die Erkenntnis, dass man aus gesundheitspolitischer und strahlenschutztechnischer Sicht einen kompletten 3D-Datensatz des knöchernen Schädels zur Verfügung hat, auf den auch sämtliche anderen Disziplinen, die im Kopfbereich tätig sind, zugreifen können. Dieses Ziel ist aber nur erreichbar mit Geräten, die ein großes FoV aufweisen können. Daher werden unserer Ansicht nach allein aus gesundheitspolitischen und strahlenschutztechnischen Gründen Geräte mit kleinem FoV nicht lange überleben. Psychologisch ist es momentan jedoch durchaus verständlich, dass Anbieter zukünftige Anwender mit niedrigeren Investitionskosten und gewohnten Zahnfilmformaten „locken“. Hier greift derzeit die Mar-

keting-Regel Nr. 1: Firmen versuchen Kunden dort abzuholen, wo sie momentan technisch stehen, um ihnen neue Technologie zu verkaufen.

**Strahlenbelastung** | Um vergleichbare Angaben zur Strahlenbelastung von Volumentomographen zu erhalten, müssen minimale wissenschaftliche Standards eingehalten werden. Die Werte für die jeweilige Strahlenbelastung sollten der effektiven Dosis entsprechen. Die Kalkulation der effektiven Dosis sollte auf den Richtlinien der *International Commission on Radiological Protection* (ICRP 2007, www.icrp.org) basieren. Weiterhin ist es bedeutsam, identische FoVs miteinander zu vergleichen.

Die in wissenschaftlichen Studien publizierte Strahlenbelastung der verschiedenen Volumentomographen variiert bei jeweils maximalem FoV zwischen 39  $\mu$ Sv und 1.038  $\mu$ Sv. Die drei Volumentomographen 3DeXam (KaVo), iCAT (Imaging Sciences International) und Newtom 3G (Newtom AG) können für kieferorthopädische Auswertungszwecke Aufnahmen mit ausreichendem FoV und einer Strahlenbelastung von ca. 60  $\mu$ Sv erstellen (Tab. 4). Dies entspricht exakt der Strahlendosis, die mit konventionellen digitalen Aufnahmen in der Kieferorthopädie (OPG, FRs und vier Zahnfilme der Front) verbunden ist. Demnach können in der Kieferorthopädie mit modernen DVT-Scannern 3D-Aufnahmen ohne Strahlenmehrbelastung angefertigt werden. Eine hochauflösende DVT für die tägliche kieferorthopädischen Behandlungsplanung entspricht ca. neun Tagen natürlicher Umgebungsstrahlung im Flachland.

Im Vergleich zur konventionellen Spiral-Computertomographie beträgt die Reduktion der Strahlenbelastung bei Anwendung der DVT sogar 86 %<sup>1</sup>. Ausgehend von diesen Erkenntnissen kann man feststellen, dass Computertomographen zur Beantwortung knöcherner Fragestellungen im Bereich des Schädels medizinisch-wissenschaftlich und nach §2c der Röntgenverordnung nicht mehr indiziert sind. Dies stellt ein ernsthaft-

	NewTom 9000	i-CAT	Spiral-CT
<b>Effektive Dosis</b>	56.2	61.1	429.7

Tab. 4: Effektive Dosen von digitalen Volumentomographien für kieferorthopädische Behandlungsplanungen nach Alves Garcia Silva et al. (2008<sup>1</sup>). Alle Angaben erfolgten in  $\mu\text{Sv}$  kalkuliert nach ICRP-Richtlinien 2007. Danach weist ein modernes DVT 86% weniger Strahlenbelastung auf als ein modernes Computertomogramm (CT).

tes forensisches Problem dar, ist aber vielen Kollegen, auch im allgemeinmedizinischen Bereich, in seiner Tragweite noch nicht bekannt.

Die zögerliche gesundheitspolitische Anerkennung der digitalen Volumentomographie wird auch durch politische Widersprüche auf höchster Ebene genährt. Auf einer gemeinsamen Pressekonferenz<sup>20</sup> des Umweltministers Sigmar Gabriel und des Präsidenten des Bundesamtes für Strahlenschutz Wolfram König am 12.07.2007 in Berlin wurden die Mediziner öffentlich wegen der hohen medizinischen Strahlenbelastung – insbesondere durch die breitere Anwendung der Computertomographie – getadelt. Gleichzeitig geben das Bundesministerium für Umwelt und das Bundesamt für Strahlenschutz eine „Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen“ heraus<sup>3</sup>, in der die DVT nicht mit einer Silbe erwähnt wird. Vor diesem Hintergrund ist es natürlich schwierig, privaten Kostenträgern zu erläutern, warum eine diagnostische Maßnahme sinnvoll ist, für die es bisher keine gezielte wissenschaftliche Stellungnahme von den Fachgesellschaften gibt und die in offiziellen politischen Orientierungshilfen nicht aufgeführt ist. In dieser Hinsicht besteht dringender Handlungsbedarf bei den einschlägigen Fachgesellschaften und beim Bundesamt für Strahlenschutz, da sich ansonsten eine diagnostisch sinnvolle Methode an der täglichen Bürokratie mit den privaten Krankenkassen aufreiben und verlieren wird.

**Indikationen I** Insbesondere in den vergangenen zwei Jahren hat die schon zehn Jahre alte Technologie der DVT immer mehr Teilbereiche der Zahnmedizin erobert. „Morgen“ wird keine kieferorthopädische Planung,

keine Implantation und keine umfangreiche parodontalchirurgische Maßnahme ohne Volumentomographie akzeptiert werden<sup>10,16,17,18,23</sup>. In den USA verwendet bereits heute die Hälfte aller kieferorthopädischen Ausbildungsinstitute digitale Volumentomographien routinemäßig im Rahmen der Fachzahnarztbildung zum Kieferorthopäden. Aus dem weiten Bereich der Indikationen, für die eine Volumentomographie sinnvoll ist (Abb. 2–4), werden im Folgenden die Teilbereiche Implantologie, Kieferorthopädie und Parodontologie herausgegriffen und etwas näher beleuchtet.



Abb. 2: 3D-Rendering der linken Unterkieferhälfte mit Nervdarstellung aus einem digitalen Volumentomogramm.



Abb. 3: 3D-Rendering eines Unterkiefers in der Aufsicht. Moderne DVT-Scanner können mittlerweile auch die Fissuren der Seitenzähne darstellen.

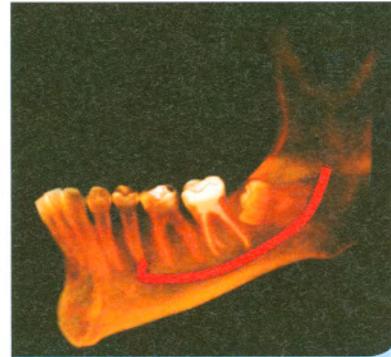


Abb. 4a: 3D-Rendering einer rechten Unterkieferhälfte zur Beurteilung der Wurzelfüllung und des Nervverlaufes in Relation zum Weisheitszahn.

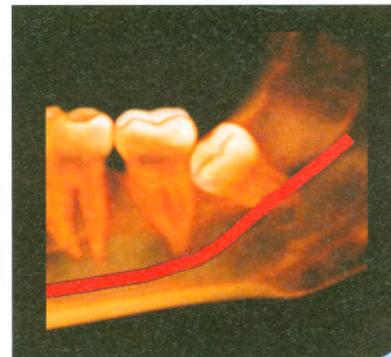


Abb. 4b: Retention und Verlagerung des Zahnes 48 mit bukkal verlaufendem Nerv.

### DVT bei der Implantatplanung I

Um den therapeutischen Umfang bei der implantologischen Therapie zur Wiederherstellung der Kaufunktion genau zu bestimmen, ist es wichtig, das vorhandene Knochenangebot unter quantitativen und qualitativen Aspekten zu evaluieren<sup>16,17</sup>. Obwohl man über viele Jahre für die Implantatplanung die Anfertigung einer Panoramaschichtaufnahme für ausreichend hielt, tritt diese Ansicht mit zunehmender klinischer Erfahrung mit der DVT immer mehr in den Hintergrund. Eigene, bisher unveröffentlichte Ergebnisse einer quantitativen Auswertung von Volumentomographien, bei ausreichendem vertikalem Knochenangebot in der Panoramaschichtaufnahme, zeigten, dass in ca. 20 Prozent der Fälle überraschende Nebenbefunde im Hinblick auf die

Implantatplanung gefunden werden. Die hohe Prävalenz von Nebenbefunden, der deutliche diagnostische Mehrgewinn, die präzisere Planung, der Schutz sensibler Strukturen, die Verkürzung der Operationszeit und die nur unwesentlich höhere Strahlenbelastung stellen heutzutage eine rechtfertigende Indikation zur DVT für die dreidimensionale Implantatplanung dar.

In unserem Institut erhält ein Überweiser neben den 3D-Daten mit kostenloser Viewer-Software routinemäßig einen Standardausdruck zum bildunterstützten Aufklärungsgespräch mit seinem Patienten (Abb. 5–7).

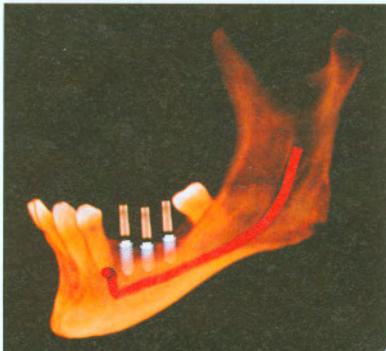


Abb. 5a: 3D-Implantatplanung mit Schablone und Titanröhrchen im linken Unterkieferseitenzahnbereich.



Abb. 5b: 3D-Implantatplanung in der Okklusalanischt.

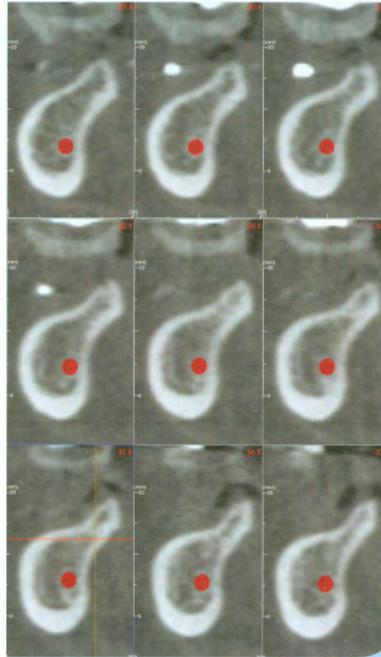


Abb. 5c: Cross Sections des Unterkiefers zur Implantatplanung. Trotz ausreichender Höhe gibt es häufig anatomische Restriktionen in der Coronalebene.

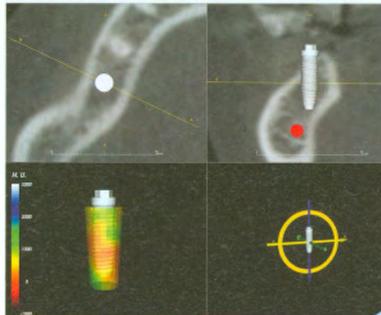


Abb. 5d: Präimplantologische Messung der Knochendichte an der Oberfläche des Implantates.

### DVT in der Kieferorthopädie |

Kieferorthopädische Behandlungsplanungen sind eine klassische rechtfertigende Indikation für die digitale Volumentomographie (8–12). Die grundsätzliche Eignung der DVT zu diagnostischen Zwecken in der Kieferorthopädie wurde bereits in zahlreichen wissenschaftlichen Studien belegt<sup>4,7,11,14</sup>.

In analoger Weise konstatierten die Leiter der kieferorthopädischen Abteilung der Universität Köln: Dysgna-

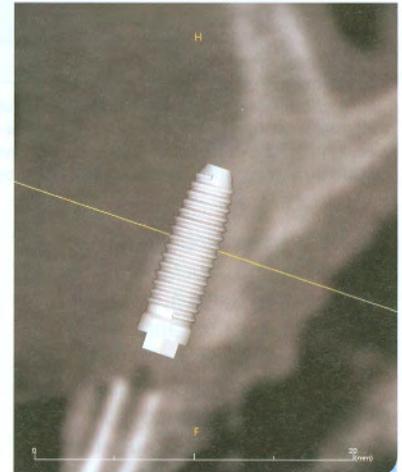


Abb. 6: Die 3D-Implantatplanung mit Titanröhrchen führt in diesem Fall zur Perforation der bukkalen Kortikalis. Entweder muss das Röhrchen versetzt oder ein Knochenaufbau vorgenommen werden.



Abb. 7: Digitale Volumentomographie für die 3D-Implantatplanung mit einer NobelGuide-Schiene. Der Schienenkunststoff ist nicht zu sehen, lediglich die bukkalen und lingualen Marker.

thien können Abweichungen in der Zahnstellung sowie sagittale, vertikale und transversale Abweichungen in der Lagebeziehung der Kiefer zueinander beinhalten. Jede Dysgnathie kann auf funktionelle, dentoalveoläre oder skelettale Ursachen zurückgeführt werden. Die in der kieferorthopädischen Diagnostik gewonnenen Einzelbefunde gestatten eine differenzialdiagnostische Beurteilung und eine Einordnung in einen kieferorthopädischen Gesamtbefund, welcher in

der kieferorthopädischen Behandlung therapiert wird. Durch die röntgenologische dreidimensionale Diagnostik gewinnt der Kieferorthopäde Informationen, die maßgeblich die Behandlungsplanung beeinflussen. So können dentoalveoläre Fehlstellungen in mesiodistaler oder bukkolingualer Richtung genau beurteilt werden und in der therapeutischen Planung mit Berücksichtigung finden.

Weiterhin sind die Ursachen für Fehlstellungen von Zahngruppen dreidimensional diagnostizierbar. Im Bereich der skelettalen Abweichungen bietet die dreidimensionale Darstellung neue Möglichkeiten in der Beurteilung der kraniofazialen Strukturen und verspricht künftig eine präzisere Differentialdiagnose<sup>2</sup>.

Neben der metrischen Genauigkeit gibt es eine Reihe qualitativer Parameter, die das diagnostische Spektrum in der Kieferorthopädie signifikant erweitern (Abb. 13 u. 14). Die DVT weist hinsichtlich kieferorthopädischer Fragestellungen gegenüber der konventionellen digitalen Röntgentechnik bei Berücksichtigung von 18 Parametern unter 17 Aspekten deutliche Vorteile auf<sup>9</sup>. Die einzelnen Vorteile der DVT insbesondere in der Kieferorthopädie sind in Tabelle 5 dargestellt.

Wie bereits weiter oben ausgeführt, kann nicht jeder Volumentomograph sinnvoll in der Kieferorthopädie eingesetzt werden. Für die routinemäßige Anwendung in der Kieferorthopädie gibt es zwei Ausschlusskriterien:

1. Das FoV (= dargestellter Bildausschnitt) ist nicht groß genug (mindestens 13 x 17 cm), um alle kieferorthopädisch relevanten Strukturen zu erfassen.
2. Die Strahlenbelastung des jeweiligen Gerätes überschreitet zahnmedizinisch sinnvolle Grenzwerte (< 150  $\mu$ Sv bei Spezialfragestellungen und < 75  $\mu$ Sv bei täglicher KFO-Behandlungsplanung).

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei Einsatz eines geeigneten Volumentomographen aus strahlenschutztechnischer und wissenschaftlich-klinischer Sicht schon heute der Anwendung nichts entgegensteht.



Abb. 8: Panoramaansicht aus einem DVT ohne Überlagerung der Halswirbelsäule und anderer anatomischer Strukturen.

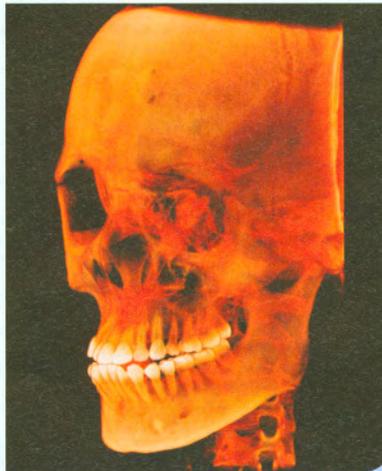


Abb. 9: Halbprofilansicht eines DVT einer Patientin mit frontal offenem Biss.

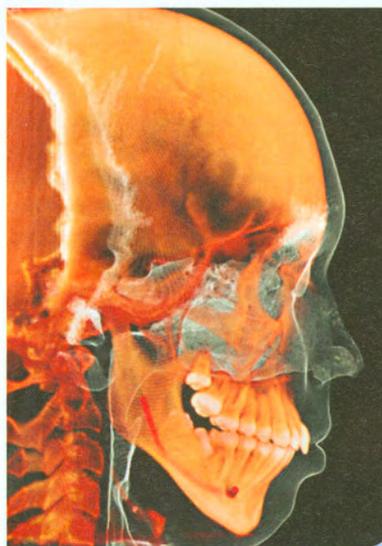


Abb. 10: Sagittalansicht eines Schädels mit Weichteil- und Nervendarstellung. Aufgrund der fehlenden Überlagerungsartefakte sind die einzelnen Strukturen deutlich besser zu erkennen als im herkömmlichen seitlichen Fernröntgenbild.



Abb. 11a: Klinisches Beispiel für eine Einengung der oberen Atemwege.



Abb. 11b: Klinisches Beispiel mit physiologischer Konfiguration der oberen Atemwege.

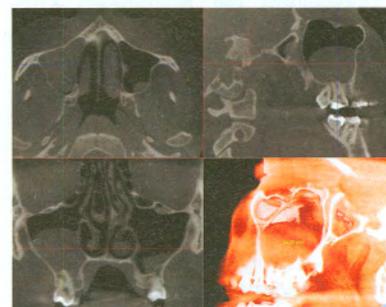


Abb. 12: Klinisches Beispiel mit einer ausgeprägten Verschattung des rechten Sinus maxillaris in drei Ebenen und einer 3D-Ansicht in den Sinus maxillaris von medial (unten rechts).

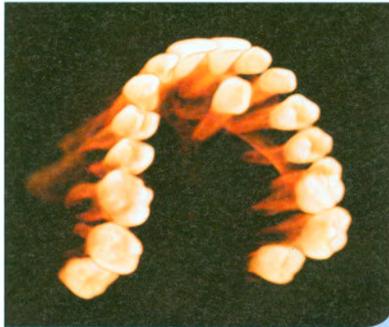


Abb. 13: 3D-Darstellung der verlagerten Zähne 18, 23 und 28.



Abb. 14: 3D-Darstellung eines Oberkieferzahnboogens in der Aufsicht. In regio 21 befinden sich zwei Mesiodentente.

**Einsatz in der Parodontologie**

Mithilfe der DVT kann die parodontale Situation räumlich beurteilt und ausgewertet werden<sup>13</sup>. Ein typisches klinisches Beispiel ist in Abbildung 15 zu sehen. Nach Hirsch bestehen derzeit folgende Indikationen für ein DVT in der Parodontologie<sup>8</sup>:

- Darstellung der marginalen Knochenkontur,
- Bestimmung der Form und Ausdehnung von Knochentaschen,
- Bestimmung der Situation in den Furkationen mehrwurzeliger Zähne,
- Präoperative Diagnostik vor regenerativen und augmentativen Therapieverfahren,
- Einschätzung der Erhaltungswürdigkeit parodontal geschädigter Zähne im Zuge eines prothetischen Behandlungskonzeptes,
- Beurteilung des Parodontalspaltes (z. B. bei Verdacht auf ankylosierte Zähne).

Befund	Konventionelle digitale Bildgebung	DVT
Panoramaansicht bukkal	●	●
Panoramaansicht lingual	●	●
Fernröntgen seitlich	●	●
Fernröntgen frontal	●	●
Isolierte Weichteildarstellung (Kontrast gegen Luft)	●	●
Obere Atemwege	●	●
Nasennebenhöhlendiagnostik	●	●
Nervdarstellung	●	●
KFO-Chirurgieplanung	●	●
3D-Kiefergelenkdiagnostik	●	●
Transversales Knochenangebot	●	●
Parodontaler Knochenverlauf	●	●
Retention und Verlagerung von Zähnen	●	●
Lückenschlussdiagnostik	●	●
Festlegung der Zahnbogenform	●	●
Darstellung der Axialebene	●	●
3D-Kephalometrie	●	●
3D-Planung Verankerungspins	●	●

● = überlegen  
 ● = mögliche Darstellung, aber schlechtere Qualität  
 ● = nicht möglich

Tab. 5: Tabellarische Darstellung der Vorteile der digitalen Volumentomographie für die kieferorthopädische Behandlungsplanung in der täglichen Praxis.

In diesem Zusammenhang wird leider immer wieder vergessen, dass eine hoch aufgelöste DVT der Alveolarfortsätze eine geringere Strahlenbelastung verursacht als ein Zahnfilmstatus. Folgt man dem §2c der Rönt-

genverordnung, ist der konventionelle Zahnfilmstatus in der Parodontologie forensisch gesehen deutlich problematischer als ein DVT der Alveolarfortsätze.



Abb. 15a: 3D-Darstellung des Zahnes 36 in der Bukkalansicht.



Abb. 15b: 3D-Darstellung des Zahnes 36 in der Lingualansicht.

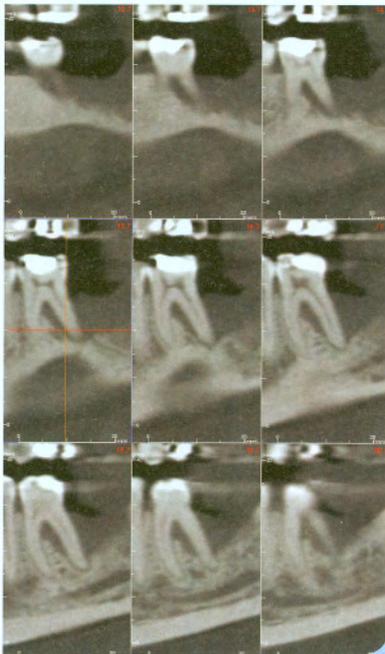


Abb. 15c: Sagittalschichten zur exakten Befundung der parodontalen Läsion am Zahn 36.

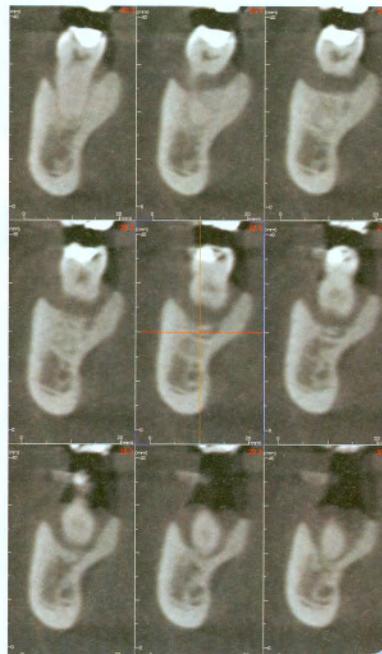


Abb. 15d: Cross Sections zur exakten Befundung der parodontalen Läsion am Zahn 36.

**Funktionsanalyse** | Im Rahmen der bildgebenden Diagnostik von morphologischen, strukturellen und Weichteilveränderungen der Kiefergelenke hat sich in jüngster Vergangenheit in der Funktionsdiagnostik die Anwendung der CT und der Magnetresonanztomographie auf breiter Basis etabliert<sup>19</sup>. Für röntgenologische bildgebende Verfahren gibt es in der Funktionsdiagnostik zwei wesentliche Indikationen:

1. Ausschluss primärer Gelenkerkrankungen,
2. Erhebung differenzialtherapeutischer Befunde.

Für beide Indikationen gibt es derzeit kein besseres bildgebendes Verfahren als die DVT. Wenn sich durch die klinische Funktionsanalyse und/oder manuelle Strukturanalyse Hinweise auf strukturelle Veränderungen ergeben, ist immer eine DVT indiziert. In diesem Zusammenhang hat es sich bewährt, für die Überwiser einen standardisierten Kiefergelenkreport zu erstellen (Abb. 16). Die Darstellung der Kiefergelenke in allen drei Ebenen und zusätzlich in sechs dünnen

Schichten in der Sagittalebene erlaubt erstmals eine vollständige morphologische Beurteilung der knöchernen Gelenkstrukturen. Die DVT weist bei bis zu 86% geringerer Strahlenbelastung die gleiche Sensitivität und Spezifität wie CTs und konventionelle Tomographien auf.

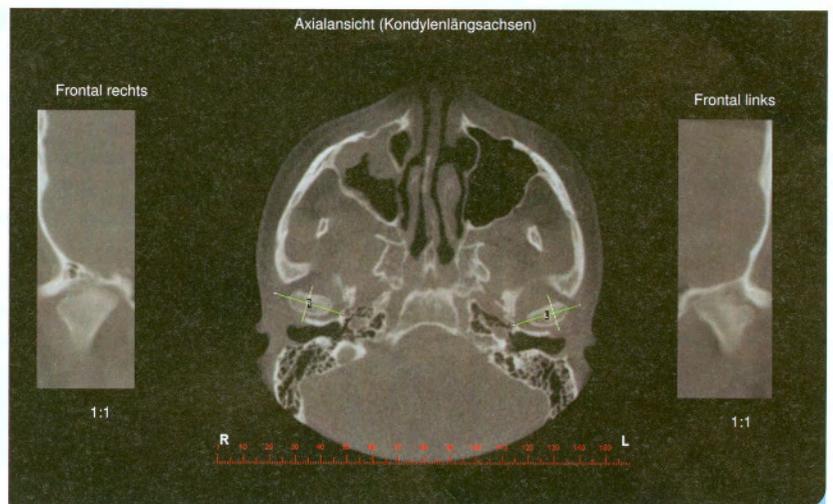


Abb. 16a: Standardisierter Kiefergelenkreport mit Darstellung der Axialebene und der angulierten Frontalebene.

**Fazit** | Nach §2c der Röntgenverordnung muss seit dem Jahr 2003 bei allen Indikationen, die die knöchernen Schädelstrukturen betreffen, der DVT gegenüber der CT der Vorzug gegeben werden, auch wenn dies im klinischen Alltag häufig noch anders gehandhabt wird.

Neben der Implantatplanung ist die Kieferorthopädie mit großem Abstand die zahnmedizinische Disziplin, die am meisten von der dreidimensionalen Diagnostik profitiert. Deswegen ist es nur folgerichtig, die neue Technologie – wo immer möglich – für die tägliche kieferorthopädischen Diagnostik einzusetzen. Dabei muss jedoch gewährleistet sein, dass die Strahlenbelastung für den Patienten 75 bis 150  $\mu$ Sv nicht überschreitet und sowohl die Röntgenverordnung als auch die assoziierten Richtlinien genau eingehalten werden.

Betriebswirtschaftlich werden sich die teuren Volumentomographen zukünftig wohl nur in zentralen zahnärztlichen Röntgeninstituten – analog den amerikanischen Dental Imaging Centern – rentieren. Gegenwärtig werden die Volumentomographen häufig durch die Steigerung des zahnärztlichen Umsatzes subventioniert, dies wird sich jedoch auf breiter Basis nicht durchsetzen lassen.

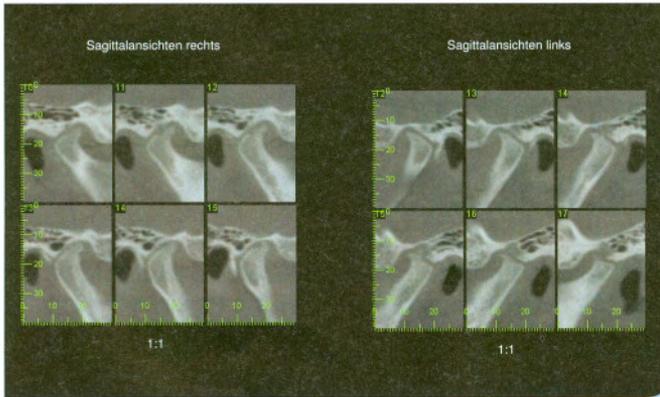


Abb. 16b: Standardisierter Kiefergelenkreport mit Darstellung von jeweils sechs sagittalen Schichten des rechten und linken Kiefergelenkes. In diesem Fall bestehen beidseits ausgeprägte osteoarthrotische Veränderungen, die rechts konservativ und links operativ behandelt werden mussten.

Autoren:

Prof. Dr. med. dent. Axel Bumann<sup>1,2,3,4</sup>

Dr. med. dent. Kerstin Wiemer<sup>1</sup>

Dr. med. dent. Kamelia Staribratova-Reister<sup>1</sup>

Dr. med. dent. Nadia El-Teter<sup>1</sup>

Nicole Kamp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Praxis für Kieferorthopädie, Berlin

<sup>2</sup> Mesantis-Institut für kraniofaziale Volumentomographie, Georgenstraße 25, 10117 Berlin

<sup>3</sup> Advanced Dental Imaging, Las Vegas und Palm Desert, USA

<sup>4</sup> Dept. of Craniofacial Sciences and Therapy, University of Southern California, Los Angeles, USA

Die Literaturliste kann unter [www.spitta.de/ZMK-Literaturliste](http://www.spitta.de/ZMK-Literaturliste) abgefordert werden.

**Korrespondenzadresse:**

Prof. Dr. med. dent. Axel Bumann

Praxis für Kieferorthopädie

Georgenstraße 25, 10117 Berlin

E-Mail: [ab@kfo-berlin.de](mailto:ab@kfo-berlin.de)