

Sebastian Bürklein, Tom Schloss, Marc Semper, Birger Thonemann

DVT in der chirurgischen Endodontie – ein „Must-have“?!*

Warum sollten Sie diesen Beitrag lesen?

Die DVT ist mittlerweile ein etabliertes Instrumentarium in der endodontischen Diagnostik und der Einsatz in der Endodontie wird bisweilen kontrovers diskutiert. Der Beitrag erläutert die Technik mit entsprechenden Möglichkeiten und Limitationen, sowie die Indikationen mit dem Schwerpunkt der chirurgischen Endodontie.

Zusammenfassung: Die 3D-Diagnostik – also die DVT – ist in der endodontischen und endo-chirurgischen Diagnostik, Therapie und Kontrolle (Nachsorge) nicht mehr wegzudenken und nicht nur für versierte Kollegen und Spezialisten zu einem echten „Gamechanger“ geworden. Mit zunehmender Komplexität der Fälle gewinnt die überlagerungsfreie und dimensionsgetreue Darstellung selbst kleinster Details an Bedeutung und bietet eine exzellente Einschätzung der Prognose der zu therapierenden Zähne und erlaubt dadurch eine hohe Sicherheit in der Therapieplanung sowie eine (evidenzbasierte) Aufklärung der Patienten. Das gilt besonders für endochirurgische Eingriffe mit ihren engen Lagebeziehungen zu anatomisch bedeutsamen Strukturen (z.B.: Sinus maxillaris oder nervale Strukturen). Dennoch erfordert die DVT ein hohes Maß an Verantwortung hinsichtlich der Anwendung ionisierender Strahlen. Das ALARA Prinzip („As Low As Reasonably Achievable“) wird mitunter mehr und mehr durch ALADA („As Low As Diagnostically Acceptable“) ersetzt. Es gilt immer zu entscheiden, ob durch die Unterlassung der Anfertigung der Röntgenaufnahme das Patientenwohl stärker kompromittiert wird als durch die dabei auftretende ionisierende Strahlung und deren Folgen. Auch wenn es aktuelle Hinweise gibt, dass sich das Krebsrisiko durch eine Exposition mit niedrig dosierter Strahlung mit einer kumulativen Dosis von bis zu 100 mSv scheinbar nicht erhöht, ist jede DVT-Aufnahme eine zu rechtfertigende, indikationsbezogene Einzelfallentscheidung, die stets auf Basis einer gründlichen Anamnese und klinischen Untersuchung unter Berücksichtigung von etwaig vorhandenen Voraufnahmen gefällt werden muss.

Schlüsselwörter: Apikalchirurgie; CBCT; Endodontie; Mikrochirurgie; Strahlenbelastung; chirurgisch; Endodontie; Behandlungsergebnis; Röntgen

Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz (ZIA), Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Münster: Prof. Dr. Sebastian Bürklein

Private Praxis, Kornmarkt 8, 90402 Nürnberg: Dr. Tom Schloss

Private Praxis, Benquestraße 29, 28209 Bremen: Marc I. Semper

Private Praxis, Luegplatz 3, 40545 Düsseldorf-Oberkassel; Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsklinikum Regensburg: Prof. Dr. Birger Thonemann

*Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Bürklein S, Schloss T, Semper M, Thonemann B: CBCT in surgical endodontics – a must-have?! Dtsch Zahnärztl Z Int 2021; 3: 54–63

Zitierweise: Bürklein S, Schloss T, Semper M, Thonemann B: DVT in der chirurgischen Endodontie – ein „Must-have“?! Dtsch Zahnärztl Z 2021; 76: 85–95

Peer-reviewed article: eingereicht: 25.09.2020, Fassung akzeptiert: 30.11.2020

DOI.org/10.3238/dzz.2021.0008

CBCT in surgical endodontics – a must-have?!

Abstract: 3D diagnostics – i.e. CBCT – has become indispensable in endodontic and endosurgical diagnostics, treatment and control (follow-up) and has become a real “gamechanger” not only for experienced colleagues and specialists. With the increasing complexity of cases, the superimposition-free and dimensionally accurate display of even the smallest details is gaining in importance and offers an excellent assessment of the prognosis of the teeth to be treated, thus allowing a high degree of certainty in treatment planning as well as (evidence-based) patient education. This is especially relevant for endosurgical procedures with their close relationships to anatomically significant structures (e.g.: maxillary sinus or nervous structures). Nevertheless, CBCT requires a high degree of responsibility with regard to the use of ionizing radiation. The ALARA principle (“As Low As Reasonably Achievable”) is more and more replaced by ALADA (“As Low As Diagnostically Acceptable”). It is always necessary to decide whether the patient’s well-being is more compromised by not taking the X-ray than by the ionizing radiation and its consequences. Even though there is current evidence that exposure to low-dose radiation with a cumulative dose of up to 100 mSv does not appear to increase the risk of cancer, each CBCT-scan is a justifiable, indication-based, case-by-case decision that must always be made on the basis of a thorough history and clinical examination, taking into account any previous images that may be available.

Keywords: apical surgery; CBCT; endodontics; microsurgery; radiation exposure; surgical; endodontics; treatment outcome; radiography

1. Einleitung

Die endodontische Behandlung zielt auf die Prävention oder Therapie einer pulpalen/periradikulären Pathologie mit dem Ziel des Zahnerhalts. Endodontische Misserfolge resultieren in der Regel aus dem Versäumnis, dieses primäre Ziel zu erreichen, und die Revision soll die Unzulänglichkeiten der Erstbehandlung korrigieren. Dabei wird die Revision als Therapie an einem Zahn definiert, der bereits eine zuvor versuchte endgültige Behandlung erhalten hat, mit einem Zustand, der eine weitere endodontische Behandlung erfordert, um den Zahn zu erhalten.

Eine nicht-chirurgische endodontische Nachbehandlung sollte stets die erste Behandlungswahl sein, wenn eine fehlgeschlagene endodontische Behandlung festgestellt wird. Es gibt prinzipiell vier mögliche Vorgehensweisen, über die der Patient aufgeklärt werden muss, um seine Einwilligung zu geben:

- nicht-chirurgische endodontische Nachbehandlung (= Revisionsbehandlung),
- apikale Chirurgie (Wurzelspitzenresektion = WSR),
- Extraktion (mit oder ohne Ersatz; ggf. auch Transplantation),
- keine Behandlung (diese Wahl erfordert eine ordnungsgemäße Dokumentation).

Die Entscheidung über die Therapiealternative ist meist relativ einfach, wenn ein offensichtlicher Grund für den pathologischen Befund festgestellt werden kann.

2. Indikationen für eine WSR

Eine endo-chirurgische Maßnahme kann in folgenden Fällen erwogen werden, wenn eine klinische und/oder radiografische Zeichen einer apikalen Parodontitis vorliegen:

- Zähne mit obliteriertem und/oder nicht mehr instrumentierbarem Wurzelkanal (Abb. 1),
- indizierte, aber orthograd nicht durchführbare Wurzelkanalbehand-

lung bzw. bei erheblichen morphologischen Varianten der Wurzeln (Abb. 1),

- persistierende apikale Parodontitis mit klinischer Symptomatik oder zunehmender radiografischer Osteolyse nach einer vollständigen oder unvollständigen Wurzelkanalfüllung oder Revisionsbehandlung, falls diese nicht oder nur unter unverhältnismäßigen Risiken entfernt oder verbessert werden kann (Abb. 2),
- Fraktur eines Wurzelkanalinstrumentes in Apexnähe, das auf orthogradem Weg nicht entfernbar ist (Abb. 3),
- orthograd nicht mehr korrigierbare apikale Perforationen, die iatrogen in der Primärbehandlung verursacht wurden (Abb. 3 und 4),
- überpresstes Wurzelkanalfüllmaterial mit klinischer Symptomatik oder Beteiligung von Nachbarstrukturen (Kieferhöhle, Mandibularkanal) (Abb. 1–4),
- Wurzelquerfrakturen im apikalen Wurzel Drittel mit Infektion des apikalen Fragmentes,
- bereits resezierte Zähne – als Alternative zur bzw. zur Ergänzung der orthograden Revision, z.B. Verdacht auf apikale In-/Frakturen (Abb. 2),
- Verletzung von Wurzelspitzen im Rahmen chirurgischer Eingriffe (z.B. Zystenentfernung, Probeexzision),
- Zähne mit aufwendiger prothetischer Restauration oder großvolumigem Stiftaufbau (Abb. 5).

Zur Entscheidung hinsichtlich der Wahl der Therapie sind stets eine gründliche allgemeine und spezielle Anamnese sowie eine umfassende klinische Diagnostik in Kombination mit geeigneten bildgebenden Verfahren obligat.

3. Bildgebende Verfahren

In der endodontischen Behandlung sind intraorale Einzelzahnaufnahmen nach wie vor das wichtigste Hilfsmittel zur röntgenologischen Darstellung der Zähne. Die Röntgenstrahlen durchdringen das Gewebe und werden beim Passieren der Gewebe durch Absorption und Streuung abgeschwächt. Die Absorption ist elementabhängig – Strukturen mit Ele-



Abbildung 1 A = präoperativer Zahnfilm Zahn 26 mit Z.n. WKB und WF mit iatrogenen Stufenbildung und komplexer Wurzelkanalmorphologie. **B1,2** = koronale und sagittale Ansicht im DVT mit apikalen Parodontitiden. **C** = Jahreskontrolle im Zahnfilm ohne Anzeichen auf pathologische Veränderungen. **D1,2** = koronale und sagittale Ansicht des Zahnes 26 mit kompletter knöcherner Regeneration

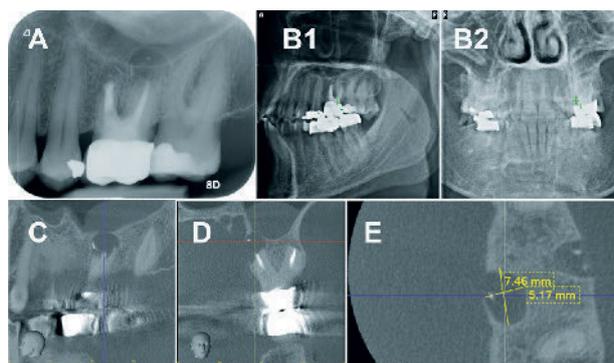


Abbildung 2 A = Zahnfilm 26 nach multiplen alio loco durchgeführten orthograden und chirurgischen Erhaltungsversuchen. **B1,2** = Voraufnahme in 2 Ebenen zur Einstellung der ROI (region of interest). **C,D** = DVT (sagittal und koronal) durch die palatinale Wurzel mit Mitbeteiligung des Sinus maxillaris (Perforation) und reaktiver Schleimhautschwellung. **E** = maximale Ausdehnung der Osteolyse an der palatinalen Wurzel im axialen Schnitt

menten hoher Ordnungszahlen absorbieren Röntgenstrahlen stärker als solche mit niedrigeren Ordnungszahlen. So entsteht das typische Graustufenbild, das entweder entwickelt werden muss (analoge Technik) oder durch digitale Signalverarbeitung eines Bildempfängers sichtbar gemacht wird. Bei der konventionellen Röntgentechnik wird ein räumliches Objekt zweidimensional auf dem Zahnfilm oder Monitor dargestellt. Überlagerungen, Verzerrungen, Additions- und Subtraktionseffekte sowie Aufhärtungsartefakte können vereinzelt dazu führen, dass einzelne Objekte nicht mehr differenzierbar sind. Wenn beispielsweise bei der Beurteilung periapikaler Strukturen eine überlagerungsfreie Projektion der Wurzeln und deren Unterscheidung nicht möglich ist, ist es indiziert, ggf. zusätzliche exzentrische Aufnahmen (etwa 30° mesial- oder distalexzentrisch von der orthogonalen Einstellung) anzufertigen. Die zusätzlichen Informationen ermöglichen es, auf die dreidimensionale Realität zu schließen. Wenn es jedoch um die Vergleichbarkeit von Einzelaufnahmen (z.B. Verlaufskontrollen) geht, sind stets gleiche Aufnahmewinkel, Belichtungszeiten, Röhrenspannung (kV), Stromstärke (mA) und Sensoren im Sinne von standardisierten Aufnahmen erforderlich.

4. DVT

DVT Aufnahmen entstehen aus multiplen zweidimensionalen Projektionsaufnahmen aus verschiedenen Richtungen während des definierten Umlaufs von Strahlenquelle und Detektor um das Objekt. Diese Einzelprojektionen werden durch mathematische Algorithmen anschließend zu 3D-Daten zusammengesetzt (Primärrekonstruktion). Dem durchstrahlten Objekt werden anhand der Absorptionen im Gewebe entsprechende Grauwerte hinsichtlich der Voxel (= Volumetric Pixel) mittels mathematischer Algorithmen zugeordnet. In der Bildgebung kann eine Graustufenverteilung als mathematische Funktion betrachtet werden und jede Funktion kann über eine unendliche Anzahl von Linien, die durch die Funktion verlaufen, vollständig aus den Integralen wiederhergestellt werden [40]. Das zugrunde liegende Rekonstruktionsprinzip selbst wird als „Rückprojektion“ bezeichnet. Heutzutage wird zur einfachen und schnellen Implementierung der bekannte Feldkamp-Algorithmus in seiner ursprünglichen Form oder in verschiedenen Modifikationen zur Erstellung der Primärrekonstruktion verwendet. Am PC lassen sich dann anschließend in der Sekundärrekonstruktion alle gewünschten Schichtrichtungen des FOV (Field of View = Sichtfeld) erstellen. Der große Vorteil der Aufnahmen ist die Iso-

metrie des Voxels. Es ist in der Länge, Breite und Höhe gleich (Isometrie), daher lassen sich in der DVT auch Längen- und Winkelmessungen durchführen, die frei von jeglichen Überlagerungen sind.

4.1 DVT-assoziierte Artefakte

Treten Differenzen zwischen Abbildung und Realität auf, dann spricht man von Artefakten, die es bei der Befundung stets zu berücksichtigen gilt. Folgende typische Artefakte werden unterschieden:

Metallartefakte

Durch Streuung verursacht: Photonen, die nach Wechselwirkung mit Materie von ihrem ursprünglichen Weg gebeugt werden, tragen zu erhöhten gemessenen Primärintensitäten bei.

Auslöschungsartefakte (extinction artefacts)

Besonders dicke und dichte Materialien (z.B. Goldrestorationen) führen zu einer Einfallintensität von „Null“ auf dem Detektor (= komplette Absorption), wodurch keine Absorption berechnet werden kann [38].

Aufhärtungsartefakte (beam hardening)

Die Strahlauhärtung ist eine der bekanntesten Quellen für Artefakte [13]. Beim Durchtritt des Strahlen-

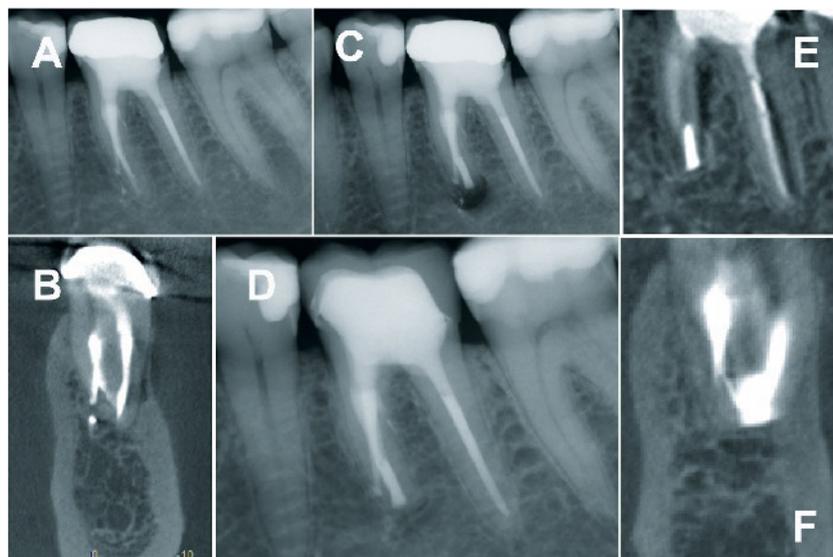


Abbildung 3 **A** = persistierende Beschwerden Zahn 36 bei Z.n. mehrfacher Revision und Perforationsdeckung nach alio loco erfolgter Primärbehandlung. **B** = koronaler Schnitt (DVT) mit extrudiertem Wurzelkanalfüllmaterial im Bereich der Perforationsdeckung. **C** = Z.n. mikrochirurgischer WSR. **D** = Jahreskontrolle (Zahnfilm) ohne Anzeichen auf Pathologie. **E,F** = sagittale und koronale Ebene (DVT) mit vollständiger knöcherner Regeneration und perfekter Angulation der Resektion

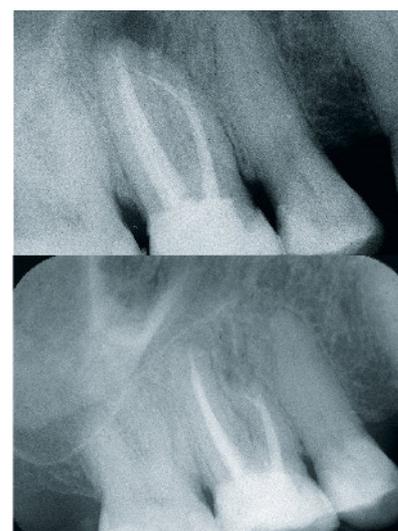


Abbildung 4 latrogen frakturiertes und über den Apex verlagertes Instrument, welches orthograd nicht mehr entfernbar war. **Unten:** Zwei-Jahres-Kontrolle (Zahnfilm 16) mit nahezu vollständiger knöcherner Regeneration (retrograde WF mit Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Frankreich)

spektrums durch dichte Objekte werden Strahlen mit niedrigerer Energie stärker absorbiert. Je dichter das Objekt und je höher die Ordnungszahl, desto größer ist der Anteil der absorbierten Wellenlängen im niedrigerenergetischen Bereich/ lange Wellenlängen. Folglich wirkt das Objekt wie ein Filter und auf den Detektor trifft vor allem bei energiearmem Spektrum relativ mehr energiereiche Strahlung, was zu dunklen Streifen führt. Selbst Leichtmetall wie Titan führt mit den gängigen KV-Zahlen zu Strahlaufhärtenungen.

Bewegungsartefakte (motion artefacts) (Abb. 6)

Atmung, Pulsschlag, Blinzeln und Muskeltonus führen zu Bewegungen der Objektpunkte während der Expositionszeit, die jedoch als ortständig betrachtet werden. Folglich werden Details in der Rekonstruktion ggf. mehreren Voxeln zugeordnet. Das verursacht sogenannte „Bewegungsunschärfen“ – gerade bei höheren Expositionszeiten. Die Summe der Bewegungsunschärfen (bis zu 1400 µm) kann ein Vielfaches einer Voxelgröße (70–400 µm) ausmachen. So sind die Expositions-

zeit und die Fixierung des Patienten wichtige Faktoren für die zu erwartende Bildqualität.

Kantenverlaufsartefakte (exponential edge gradient effect; EEGE)

Dieser Effekt tritt an scharfen Kanten (z.B. Kronenrändern) mit hohem Kontrast zu benachbarten Strukturen auf und besteht aus zarten Streifen bzw. dünnen, abwechselnd dunkel und hellen Linien hinter den Objekten. Er entsteht aufgrund der Differenz zwischen der endlichen Strahl- und Brennfleckweite bei mathematischer Annahme einer Breite von „Null“. Man kann das mit der Halbschattenbildung bei einer Lichtquelle vergleichen.

Aliasing Artefakte

Um ein Detail vollständig rekonstruieren zu können, muss die Abtastfrequenz (hier Pixelgröße des Detektors) doppelt so groß sein wie das Objekt (Nyquist-Theorem). Eine sog. „Unterabtastung“ und die Divergenz des Kegelstrahls verursachen die Aliasing-Artefakte, die sich als feines Linienmuster (Moiré-Muster) darstellen, welche zur Peripherie des

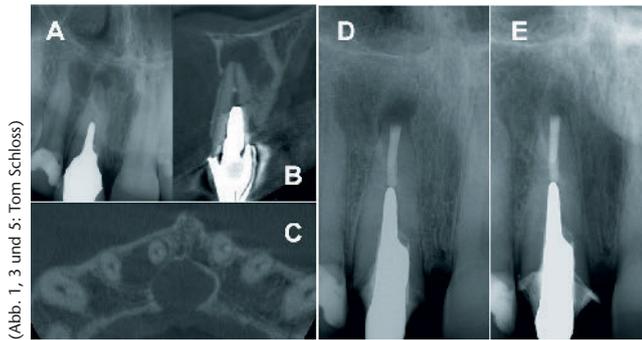
durchstrahlten Volumens hin divergieren [12].

Rauschen

Das Rauschen zählt nicht zu den eigentlichen Artefakten, beeinträchtigt aber die DVT-Bildqualität durch Verringerung der Kontrastauflösung von Objektdetails geringer Dichte, die sich folglich schwerer differenzieren lassen – ähnlich einer Digitalkamera, die bei schlechten Lichtverhältnissen Bilder minderer Qualität liefert. Das liegt daran, dass die Stromstärke (mA) aus Gründen der Dosisreduktion erheblich unter der von medizinischen Computertomographen liegt. Dies führt zu einem geringeren Signal-Rausch-Verhältnis [49].

4.2 Digitale Volumentomographie (DVT): rechtliche Grundlagen

Die bildgebende Diagnostik in der Endodontie wird heute wesentlich durch die Möglichkeiten der digitalen Volumentomographie ergänzt. Für die rechtfertigende Indikation sollte vor der Anfertigung einer DVT-Aufnahme stets eine umfangreiche Basisdiagnostik durchgeführt worden sein [17]. Des Weiteren sollten das FOV auf die frag-



(Abb. 1, 3 und 5: Tom Schloss)

Abbildung 5 A = Zahn 11 mit intaktem und orthograd nur mit hohem Risiko entfernbarem individuell gegossenem Wurzelstift und apikaler Parodontitis. B, C = sagitaler und axialer Schnitt durch die ROI. Anmerkung: neben der apikalen Parodontitis imponiert ein großlumiger Canalis incisivus. D = postoperativer Zahnfilm Zahn 11 nach mikrochirurgischer WSR mit achsgerechter retrograder Präparation und Wurzelkanalfüllung. E = Jahreskontrolle mit kompletter knöcherner Heilung (Zahnfilm 11)



Abbildung 6 Ausschnitt aus einer Schicht in der Implantat-Ansicht im DVT. Erhebliche Unschärfen durch Patientenbewegung

liche Region begrenzt und eine möglichst hohe nominelle Auflösung angestrebt werden, im Sinne einer Voxelgröße von $\leq 125 \mu\text{m}$ [46], wobei jedoch die tatsächlich erreichbare Ortsauflösung deutlich über der nominellen Größe des Voxels liegt [7, 49].

Dass die DVT in einer Vielzahl der Indikationen im Bereich der Endodontie eine höhere Sensitivität im Vergleich zur herkömmlichen Diagnostik aufweist ist unbestritten [36]. Hinsichtlich des Benefits für die Patienten und der Evidenz zur Abänderung von Therapieplänen gibt es widersprüchliche Aussagen. Während einige Autoren in systematischen Arbeiten sich sehr kritisch mit der DVT und den potenziellen Vor- und Nachteilen befassen [27, 44], beschreiben andere einen weitreichenden Einfluss auf die Therapieentscheidungen für bestimmte Indikationsbereiche – insbesondere für die endodontische Chirurgie [14, 32, 42, 43, 57].

Es stellt sich also grundsätzlich die Frage, wann der ideale Zeitpunkt ist, um ergänzend zur Einzelzahnaufnahme eine DVT zu erstellen (Befunde und Symptome => Behandlungsbedarf => Indikation). Um ggf. auch iatrogene Probleme durch zuvor erfolgte Behandlungen (z.B.: Kanalverlagerungen in bukkolingualer Ausrichtung, Perforationen) zu erkennen, welche einen Einfluss auf den möglichen Erfolg der geplanten Therapie haben [21], kann zur Wahl chirurgischer oder nicht-chirurgischer

Maßnahmen bereits die überlagerungsfreie 3D-Diagnostik indiziert sein. Unabhängig davon ist vor jedem zahnärztlichen Eingriff die Einwilligung des Patienten einzuholen, die nur nach einer umfassenden (evidenzbasierten) Aufklärung über Therapie, Alternativen, Risiken und Nebenwirkungen sowie Prognose erfolgen kann.

5. Allgemeine endodontische Indikationen

Allgemeine endodontische Indikationen, wenn die zweidimensionale bildgebende Diagnostik keine oder unzureichende Informationen für die Behandlungsplanung und Prognose liefert oder die vorhandenen klinischen Befunde und Symptome eine entsprechende Verdachtsdiagnose nicht ausreichend absichern:

- periapikale Untersuchung,
- Detektion von Wurzelfrakturen,
- Verdacht auf oder Vorliegen von Perforationen, insbesondere Stiftperforationen (Abb. 2),
- in Einzelfällen, wenn die endodontologische Therapie durch bestimmte Begleitumstände erschwert wird, wie komplexe Anatomie des Wurzelkanalsystems (Abb. 1),
- Planung endodontologisch-chirurgischer Behandlungen, insbesondere dann, wenn erschwerende Faktoren, wie die Gefährdung anatomischer Nachbarstrukturen, vorliegen (Abb. 5),

- Lagebestimmung von intrakanalär frakturierten Wurzelkanalinstrumenten (Abb. 2),
- Beurteilung von apikalen, internen und externen Wurzelresorptionen (Abb. 7),
- Beurteilung der Knochenverhältnisse (insbes. bukkale Kortikalis und Furkationsbereiche) (Abb. 8),
- Zahn- oder dentoalveoläres Trauma,
- obliterierte, kalzifizierte Wurzelkanäle,
- Revisionsbehandlung und/oder Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen.

5.1 Endochirurgie

Grundsätzlich wurde durch den vermehrten Einsatz des Operationsmikroskops in der endodontischen Chirurgie eine Vielzahl der Unzulänglichkeiten früherer Techniken überwunden. Dies gilt auch im Zusammenhang mit der Entwicklung mikrochirurgischer Instrumente, achsgerechter retrograder Präparation mit Ultraschallspitzen und neuen biologisch kompatibleren Wurzelendfüllungsmaterialien. Die endodontische Mikrochirurgie ist eine minimalinvasive Technik, die mit weniger postoperativen Schmerzen, Ödemen und einer schnelleren Wundheilung assoziiert ist und eine deutlich höhere Erfolgsrate als die traditionelle apikale Chirurgie aufweist [19].

Als Komponente, Schlüsselkonzept und wichtigen Verfahrensschritt

der endodontischen Mikrochirurgie wird auch die dreidimensionale Diagnostik genannt. Die Vorteile der dreidimensionalen Diagnostik ergeben sich klar aus der überlagerungsfreien Darstellung aller Details und ihrer benachbarten Strukturen. Auch wenn endochirurgische Maßnahmen in der „prä-DVT-Ära“ stets mit herkömmlicher Diagnostik geplant und durchgeführt wurden, sollte die DVT heutzutage gerade in komplexen Fällen als diagnostischer „State of the art“ angesehen werden. Die DVT stellt eine wertvolle diagnostische Hilfe bei der Entscheidungsfindung dar [1, 34]. Betrachtet man alleine die anatomischen Nachbarstrukturen, die im Rahmen eines endochirurgischen Eingriffes verletzt werden könnten, so erscheint eine Kenntnis der exakten Strukturen sinnvoll. Foramen mentale, Sinus maxillaris, Underwood-Septen in der Kieferhöhle (Abb. 9), Nervus alveolaris inferior, Canalis retromolaris, Spina nasalis, Canalis inzisivus, Ductus nasopalatinus und Nasenboden können sicher diagnostiziert und in ihrer tatsächlichen Lagebeziehung zu den Apices evaluiert werden [8, 29, 37, 56] (Abb. 10). Die Komplexität der Fälle steigt mit der Destruktion der kortikalen Strukturen mit oder ohne Kommunikation zum marginalen Parodont oder den sogenannten „through-and-through“-Defekten (orale und vestibuläre Kortikalis betroffen) (Abb. 8 und 9). Hier sind in der Regel Membranen zur Regeneration erforderlich (GBR/GTR) [61]. Damit ergibt sich hinsichtlich der Therapieentscheidung für oder gegen den Zahnerhalt und zur Therapieplanung für den etwaigen operativen Eingriff eine (dringende) Notwendigkeit zur 3D-Diagnostik.

5.2 Nicht-endodontisch-chirurgische Maßnahmen

Des Weiteren kann man auch bei primär nicht-endodontisch-chirurgischen Maßnahmen Informationen hinsichtlich der Therapieentscheidung erhalten. Im Hinblick auf die Therapie von externen zervikalen Resorptionen (ECR = external cervical resorption) ist bereits auf Basis der 3D-Diagnostik eine neue Klassifikation implementiert worden [33]. Die

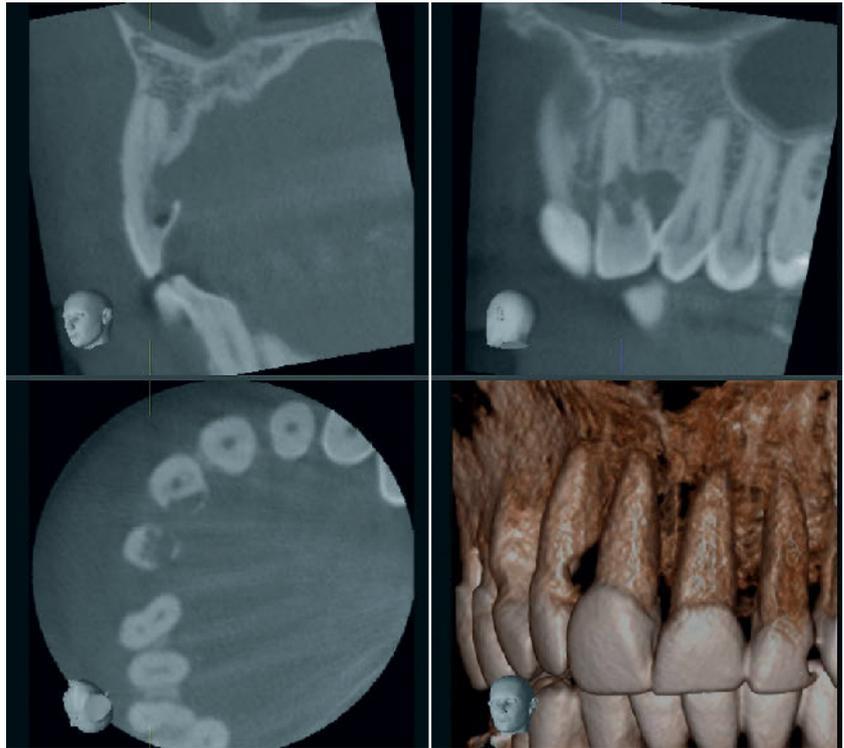


Abbildung 7 Externe invasive zervikale Resorption (EICR) Zahn 12. Ausdehnung bis ins mittlere Wurzeltrittel, zirkumferente Ausdehnung > 270 °, mögliche Pulpabeteiligung: DVT-basierte Klassifikation Zahn 12 = 3Dp; zusätzlich Zahn 11 betroffen = 2Bd

se neue Klassifikation erlaubt eine verlässlichere Therapieentscheidung, eine effektive und genaue Kommunikation zwischen den Kollegen sowie eine verlässlichere Aussage hinsichtlich der Prognose der betroffenen Zähne.

Ebenso kann man für nicht erhaltungswürdige Zähne so ggf. im Hinblick auf eine mögliche (Auto-)Transplantation von Zähnen bereits im Vorfeld Analoga drucken lassen und so das Transplantatbett (Empfängerbett) ideal an das Transplantat anpassen ohne es zu schädigen [5, 23, 58].

5.3 Navigierte endodontische Chirurgie

Als neues Feld kann man auch die „Guided surgery“ ansehen. Es gibt mittlerweile einige Fallberichte die erfolgreich mittels navigierter, geführter Chirurgie – basierend auf DVT-Daten – chirurgische Eingriffe durchgeführt haben. Die Größe des Knochenfensters, die Angulation und die Tiefe des Trepanbohrers können präoperativ geplant und definiert und entsprechende Schablonen angefertigt werden. Nach der Präparation des

Mukoperiostlappens erfolgt die WSR dynamisch navigiert mithilfe einer stereoskopischen Motion-Tracking-Kamera (computergesteuerte Bewegungsverfolgung) oder direkt und simultan mittels eines schablonengeführten Trepanbohrers [3, 20, 52, 53]. In Kadaverstudien zeigte sich die Verwendung von DVT-basierten chirurgischen Schablonen als genauere Methode für den Zugang zur Wurzelspitze im Vergleich zu einer „freihändigen“ DVT-gestützten Methode [2, 18].

5.4 Navigierte Endodontie

Abzugrenzen dazu ist hier auch die navigierte Endodontie, die sich als Therapieoption bereits etabliert hat. Anstatt eines chirurgischen Eingriffes kann in speziellen Fällen auch ein navigiertes orthogrades Vorgehen basierend auf DVT-Daten in Erwägung gezogen werden. Tiefe und Richtung der Trepanationsöffnung lassen sich durch eine exakte Planung und die Anfertigung einer passenden Bohrschablone festlegen, wobei entweder intraorale Scans (STL-Daten) mit den dreidimensionalen Daten verknüpft

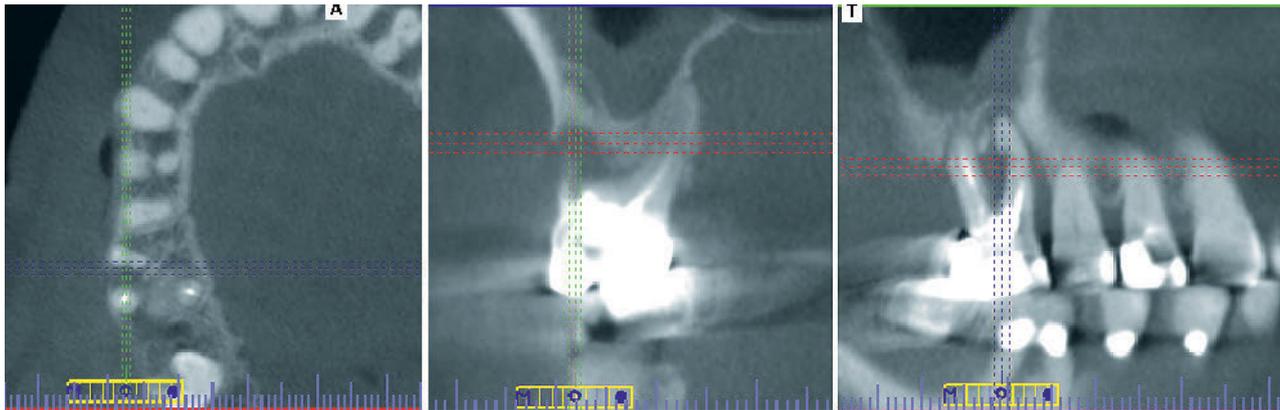


Abbildung 8 Überlagerungsfreie axiale, koronale und sagittale Schicht (Zahn 16) mit Verlust der bukkalen Lamelle und des interradiikulären Knochens sowie einer apikalen Parodontitis

oder die DICOM-Daten alleine zur Herstellung der Schablonen herangezogen werden. So ist ein sicheres Auffinden des obliterierten Kanalsystems in „tiefen“ Wurzelbereichen möglich und der operative Eingriff kann somit vermieden werden [26, 28]. Der erhöhte finanzielle und zeitliche Aufwand für die Erstellung der Schiene sowie die ggf. erhöhte Strahlenbelastung sind zu berücksichtigen.

6. „Treatment outcome“ in der Endochirurgie

Traditionell werden die Erfolgsraten in der Endodontie mittels Einzelzahn-aufnahmen mit dem PAI (periapical Index) bestimmt, während im Zusammenhang mit endodontisch-chirurgischen Eingriffen die Klassifikation nach Rud und Molven herangezogen wird [30, 31, 45]. Hierbei wird der Periapex der Wurzeln in der Summationsaufnahme hinsichtlich etwaiger Pathologien (insbesondere Osteolysen und Erweiterung des PA-Spalts) analysiert und bewertet. Die Bewertung der Behandlungsverläufe mittels Einzelzahn-aufnahmen ist trotz der immanenten Limitationen (Überlagerungen, Verzerrungen, Additions- und Subtraktionseffekte sowie Aufhärtungsartefakte) in der Literatur fest verankert. Das garantiert die Vergleichbarkeit zu älteren Studien sowie eine gute Strahlenhygiene.

In Studien wurden eine Reihe von Prädiktoren für einen Therapieerfolg endochirurgischer Therapien beschrieben, wobei diese insbesondere durch eine Abnahme der kristallinen Höhe indirekt negativ beeinflusst

werden. Auch Wurzeldefekte, das Vorhandensein präoperativer klinischer Anzeichen und bereits erfolgte retrograde Wurzelkanalfüllungen, Größe der Läsion, achsgerechte retrograde Präparation werden als Faktoren diskutiert [22] (Abb. 1–5). Zusammenfassend wurden positive Behandlungsergebnisse in bis zu 94 % der Fälle durch mikrochirurgische Techniken nachgewiesen [11, 41, 55]. Dabei scheinen die mikrochirurgischen Verfahren erfolgsversprechender zu sein als die traditionellen Techniken [50], weshalb die Mikrochirurgie zumindest in der Spezialistenpraxis als „State of the art“ angesehen werden kann [11, 19, 24, 50, 51].

Wenn man die DVT zur Erfolgskontrolle einsetzt, können deutlich mehr Indizes (z.B.: Dicke des kortikalen Knochens, Resektionsfläche und -winkel, achsgerechte Lage der retrograden WF) erhoben und somit die Heilung genauer bewertet werden [60] (Abb. 1 und 3). Es wurden reliable DVT-basierte periapikale Indices vorgeschlagen [15, 16] und mittlerweile gibt es einige Studien, die die traditionelle zweidimensionale (2D) und dreidimensionale (3D) Heilung bei endochirurgischen Eingriffen evaluieren [10, 47, 54, 59]. Alle Studien legen nahe, dass die DVT eine bis zu 1/3 höhere Sensitivität in der Detektion pathologischer Strukturen aufweist als Einzelzahn-aufnahmen. Dennoch rechtfertigt das nicht die DVT-Analyse zur periapikalen Diagnose als Standardmethode [27], auch wenn als klarer Vorteil der 3D-Evaluation das exakte Ausmessen und der Ver-

gleich des Volumens (cm^3) etwaiger prä- oder postoperativer Osteolysen angesehen werden kann (Abb. 2). Dies kann im Hinblick auf den Einfluss regenerativer Techniken (GBR/GTR) auf die Heilung wertvolle Hinweise geben [24] und Klarheit darüber bringen, ob eine vollständige Heilung/Regeneration eingetreten ist und ob die einjährige Verlaufskontrolle ausreicht, um eine Ausheilung (uncertain healing) zu beurteilen. Eine durch die ossäre Zugangskavität bedingte Einziehung im kortikalen Bereich kann nur so sicher von anderen Pathologien oder osteolytischen Prozessen abgegrenzt werden. Unabhängig davon sind eine exakte Beurteilung und die Differenzierung apikaler Pathologien und der Nachweis auf eine etwaige Malignität nur durch eine histologische Untersuchung ganz sicher möglich [6].

7. Strahlenhygiene

In der Regel spricht das Risiko-Nutzen-Verhältnis in Bezug auf die Strahlenexposition bei der Diagnostik und den Nachkontrollen für die konventionelle zweidimensionale Röntgentechnik, die bei Anfertigung eines Zahnfilms mit einer effektiven Dosis von 0,6–5 μSv vergesellschaftet ist, während die DVT nach dem SEDENTEXCT-Konsortium Report bei adaptierten Einstellungsparametern und kleinem FOV mit 19–55 μSv auskommen kann [35].

Allerdings unterscheiden sich DVT-Geräte sowohl in der Technik (Sensor, Detektor) als auch der Bildrate, der Rotationszeit und dem Rota-

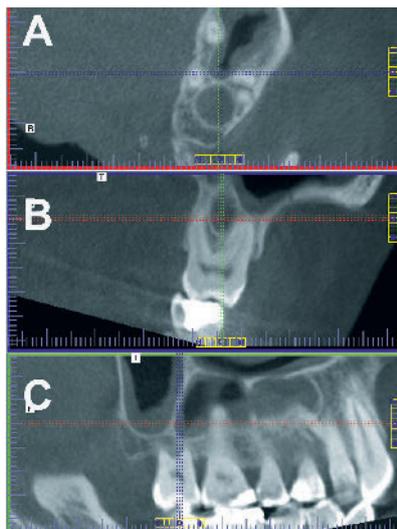


Abbildung 9 A,B,C = axiale, koronale und sagittale Schnitte regio 17. Zwischen den bukkalen Wurzeln und der palatinalen Wurzel erstreckt sich ein Septum im Sinus maxillaris (Underwood-Septum).

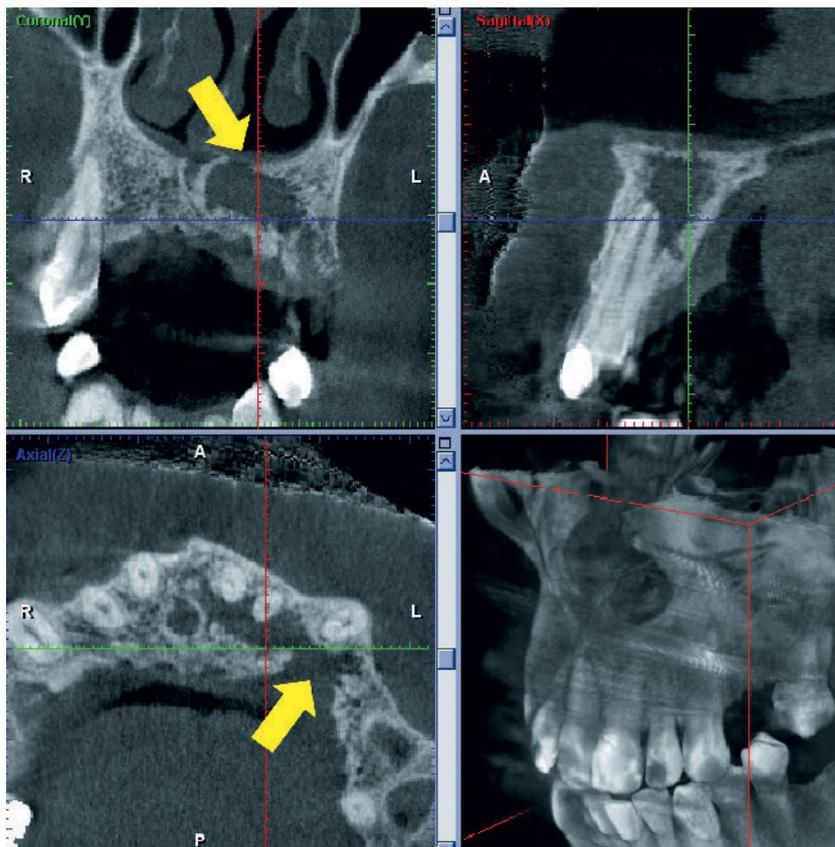


Abbildung 10 Koronaler, axialer und sagittaler Schnitt regio 23. Ausgedehnter osteolytischer Prozess ausgehend von Zahn 23 mit Verlust der knöchernen Barriere zum Nasenboden sowie der palatinalen Kortikalis (palatum durum)

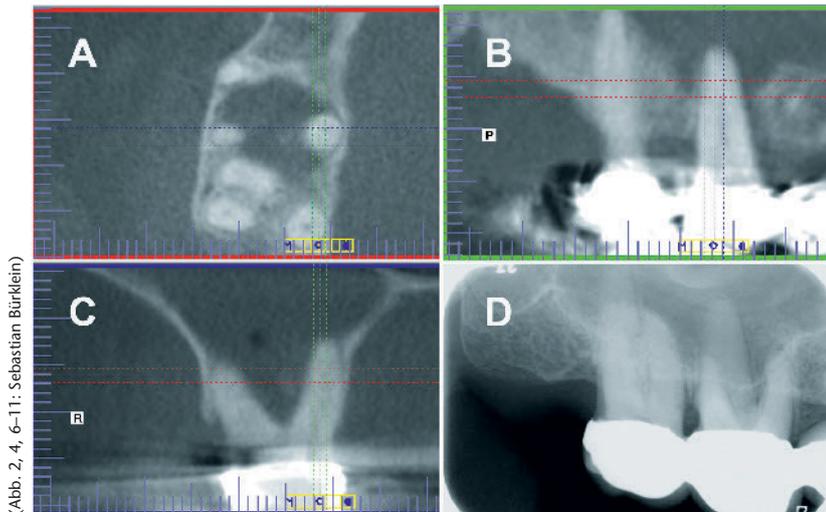
tionswinkel bei der Exposition des Patienten, sodass die effektiven Dosen bei vergleichbaren Parametern extrem variieren können (Faktor 20 bis 170) [4, 35]. Im Allgemeinen wird über eine höhere Anzahl von Basisprojektionen ein höher auflösendes und kontrastreicheres Bild erzeugt. Dem steht aber eine dadurch bedingte höhere Strahlendosis entgegen. In den meisten DVT-Geräten werden daher Programme implementiert, die zum einen die Anzahl der Basisprojektionen (high dose) oder die Strahlendosis reduzieren (low dose). Je höher die Auflösung ist, umso höher ist die hierzu notwendige Strahlendosis bei gleichem Field-of-View (FOV), weil im hochauflösenden Modus mehr Rohaufnahmen angefertigt werden, was immer mit einer verlängerten Expositionszeit verbunden ist. Wenn man allerdings mit einer reduzierten Anzahl von Rohaufnahmen zur Dosisreduktion arbeitet, kann das die Gefahr von Bewegungsartefakten erhöhen (Abb. 6).

Die Höhe des Field-of-View (FOV) gilt dennoch als wichtigster Faktor für die Strahlendosis. Die gängigen, modernen DVT-Geräte ermöglichen je nach Detektorgröße, Bauart und voreingestellten Parametern die Anfertigung unterschiedlich großer Volumina (z.B.: Zylinder mit einem Durchmesser von 12–15 cm, 8–11 cm oder 3–5 cm mit entsprechender Höhe). Mit der Funktion von „Pre-Shots“ (Voraufnahmen) (Abb. 2 B1,2) aus 2 Ebenen kann die exakte Ausrichtung des Volumens mit der ROI (Region of Interest) sicher gewährleistet werden. Für endodontische Fragestellungen sollte immer das kleinste mögliche Volumen gewählt werden, das für die diagnostische Aufgabe ausreichend ist. Geringere Strahlendosis und die auf die ROI limitierte Befundung sind damit assoziiert. Durch die Verpflichtung der Befundung des gesamten Volumens entfallen hierbei im Gegensatz zu großen FOVs die Diagnostik und Interpretation kranialer Strukturen, die u.U.

den versierten Zahnmediziner in den Grenzbereich führt. Dies führte bereits zu Forderungen nach einer intensivierten DVT-spezifischen Ausbildung für Zahnärzte sowohl in der studentischen Ausbildung als auch in postgraduierten Kursen und Studiengängen [39].

8. Zusammenfassung

Das routinemäßige Anfertigen von dreidimensionalen Aufnahmen (hier: DVT) mit entsprechender Feldeingrenzung ist derzeit nicht „State of the art“ in der endodontischen Diagnostik und Nachsorge. Nach der Strahlenschutzverordnung „muss“ für jede Röntgenaufnahme eine rechtfertigende Indikation durch den Behandler gestellt werden. Hierbei muss die Belastung des Patienten durch ionisierende Strahlen nach dem ALARA Prinzip („As Low As Reasonably Achievable“) berücksichtigt werden. Somit muss der Behandler stets entscheiden, ob durch die Unterlassung der Anfertigung der Rönt-



(Abb. 2, 4, 6–11: Sebastian Bürklein)

Abbildung 11 A,B,C = axiale, sagittale und koronale Ebene regio 16. Die DVT-Schnitte zeigen den Verlust der basalen Knochenstrukturen im Furkationsbereich des betroffenen Zahns. Mund-Antrum-Verbindung durch fortgeschrittene Parodontitis (keine primär endodontische Ursache). **D** = dazugehöriger Zahnfilm regio 16, der die Destruktion nicht adäquat widerspiegeln kann

genaunahme das Patientenwohl stärker kompromittiert wird als durch die dabei auftretende ionisierende Strahlung und deren Folgen, auch wenn es aktuelle Hinweise gibt, dass sich das Krebsrisiko durch eine Exposition mit niedrig dosierter Strahlung mit einer kumulativen Dosis von bis zu 100 mSv scheinbar nicht erhöht [48]. Das führt möglicherweise zur Ablösung von ALARA zu ALADA („As Low As Diagnostically Acceptable“ = frei übersetzt: so gering wie für die [adäquate] Diagnostik akzeptabel).

Unabhängig davon ist die 3D-Diagnostik in der Endodontie nicht mehr wegzudenken und für versierte Kollegen und Spezialisten zu einem echten „Gamechanger“ geworden. Die zunehmende Komplexität der Fälle gerade in den Spezialistenpraxen sorgt für eine „Negativauswahl“ an vermeintlich hoffnungslosen Fällen. Hier ist aufgrund der u.U. multiplen zuvor erfolgten Behandlungs- und Rettungsversuche mit ggf. iatrogenen Wurzelkanalverlagerungen und/oder Perforationen [21] eine realistische Einschätzung zur Erhaltungsfähigkeit der betroffenen Zähne nicht mehr ohne eine räumliche, überlagerungsfreie Darstellung aller beteiligten Strukturen möglich. Das könnte möglicherweise zu einer hö-

heren Anzahl an Indikationsstellungen durch die spezialisierten Kollegen führen. Diese weisen nicht nur in der Therapie, sondern auch in der Diagnostik dieser komplexen Fälle eine besondere Expertise auf (Abb. 11). Für Vieles gilt: Das Häufige ist häufig, das Seltene ist selten, aber mit besonderer Expertise wird irgendwann das Seltene häufig und das erfordert ggf. erweiterte diagnostische Maßnahmen. Nur so können seriöse Therapieplanungen mit Einschätzung der Prognose der zu behandelnden Zähne und die adäquate (evidenzbasierte) Aufklärung der Patienten erfolgen. Das trifft insbesondere auf die chirurgische Endodontie zu, da hier das maximale Ausmaß der nicht erfolgreichen Vorbehandlungen erreicht ist. Mit den multiplen anatomisch bedeutsamen Nachbarstrukturen gilt es mittels geeigneter Diagnostik und Bildgebung den medizinischen Grundsatz „nihil nocere“ einzuhalten, weshalb der DVT hier ein besonderer Stellenwert zuzuschreiben ist. Allerdings ist die Indikationsstellung für die Nachsorge (follow-up) strenger zu stellen, zumal der bereits klinische Befund (Calor, Rubor, Dolor, Tumor, Functio laesa) neben der Bildgebung (herkömmlicher periapikaler Zahnfilm) wichtige Hinweise auf die Heilung liefert.

Die Frage nach dem richtigen Zeitpunkt für die Anfertigung einer DVT als alleiniges bildgebendes Diagnostikum oder zusätzlich zum Einzelzahnfilm oder OPG hängt folglich von vielen Faktoren ab und ist immer eine indikationsbezogene Einzelfallentscheidung.

Interessenkonflikte

Birger Thonemann gibt an, dass er ein DVT in der eigenen Praxis betreibt. Die anderen Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. AAE and AOMR Joint position statement. Use of cone beam computed tomography in endodontics 2015 update. *J Endod* 2015; 41: 1393–1396
2. Ackerman S, Aguilera FC, Buie JM et al.: Accuracy of 3-dimensional-printed endodontic surgical guide: a human cadaver study. *J Endod* 2019; 45: 615–618
3. Ahn SY, Kim NH, Kim S, Karabucak B, Kim E: Computer-aided design/computer-aided manufacturing-guided endodontic surgery: guided osteotomy and apex localization in a mandibular molar with a thick buccal bone plate. *J Endod* 2018; 44: 665–670
4. Al-Okshi A, Lindh C, Salé H, Gunnarsson M, Rohlin M: Effective dose of cone beam CT (CBCT) of the facial skeleton: a systematic review. *Br J Radiol* 2015; 88: 20140658
5. Anssari Moin D, Verweij JP, Waars H, van Merkesteyn R, Wismeijer D: Accuracy of computer-assisted template-guided autotransplantation of teeth with custom three-dimensional designed/printed surgical tooling: a cadaveric study. *J Oral Maxillofac Surg* 2017; 75: 925.e1–925.e7
6. Bornstein MM, Bingisser AC, Reichart PA, Sendi P, Bosshardt DD, von Arx T: Comparison between radiographic (2-dimensional and 3-dimensional) and histologic findings of periapical lesions treated with apical surgery. *J Endod* 2015; 41: 804–811
7. Bruellmann D, Schulze R: Spatial resolution in cbct machines for dental/maxillofacial applications|what do we know today? *Dento Maxillofac Radiol* 2015; 44: 20140204
8. Bürklein S, Grund C, Schäfer E: Relationship between root apices and the mandibular canal: a cone-beam com-

- puted tomographic analysis in a German population. *J Endod* 2015; 41: 1696–1700
9. Chong BS, Dhessi M, Makdissi J: Computer-aided dynamic navigation: a novel method for guided endodontics. *Quintessence Int* 2019;50:196–202
10. Christiansen R, Kirkewang LL, Gotfredsen E, Wenzel A: Periapical radiography and cone beam computed tomography for assessment of the periapical bone defect 1 week and 12 months after root-end resection. *Dento Maxillofac Radiol* 2009; 38: 531–536
11. Curtis DM, VanderWeele RA, Ray JJ, Wealleans JA: Clinician-centered outcomes assessment of retreatment and endodontic microsurgery using cone-beam computed tomographic volumetric analysis. *J Endod* 2018; 44: 1251–1256
12. de Man B, Basu S: Distance-driven projection and backprojection in three dimensions. *Phys Med Biol* 2004; 49: 2463–2475
13. de Man B: Metal streak artefacts in X-ray computed tomography: a simulation study. *IEEE Trans Nuc Sci* 1999; 46: 691–696
14. Ee J, Fayad MI, Johnson BR: Comparison of endodontic diagnosis and treatment planning decisions using cone-beam volumetric tomography versus periapical radiography. *J Endod* 2014; 40: 910–916
15. Esposito S, Cardaropoli M, Cotti E: A suggested technique for the application of the cone beam computed tomography periapical index. *Dento Maxillofac Radiol* 2011; 40: 506–512
16. Estrela C, Bueno MR, Azevedo BC, Azevedo JR, Pécora JD: A new periapical index based on cone beam computed tomography. *J Endod* 2008; 34: 1325–1331
17. European Commission. Radiation protection no 172: cone beam ct for dental and maxillofacial radiology. Evidence based guidelines. a report prepared by the sedentext project, 2012
18. Fan Y, Glickman GN, Umorin M, Nair MK, Jalali P: A novel prefabricated grid for guided endodontic microsurgery. *J Endod* 2019; 45: 606–610
19. Floratos S, Kim S: Modern endodontic microsurgery concepts: a clinical update. *Dent Clin North Am* 2017; 61: 81–91
20. Giacomino CM, Ray JJ, Wealleans JA: Targeted endodontic microsurgery: a novel approach to anatomically challenging scenarios using 3-dimensional-printed guides and trephine burs – a report of 3 cases. *J Endod* 2018; 44: 671–677
21. Gorni FG, Gagliani MM: The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod* 2004; 30: 1–4
22. Guerreo CG, Quijano G, Molano N, Pineda GA, Nino-Barrera JL, Marin-Zuluaga DJ: Predictors of clinical outcomes in endodontic microsurgery: a systematic review and meta-analysis. *G Ital Endod* 2017; 31: 2–13
23. He W, Tian K, Xie X, Wang E, Cui N: Computer-aided autotransplantation of teeth with 3D printed surgical guides and arch bar: a preliminary experience. *PeerJ* 2018; 6: e5939. doi:10.7717/peerj.5939
24. Kang M, In Jung H, Song M, Kim SY, Kim HC, Kim E: Outcome of nonsurgical retreatment and endodontic microsurgery: a meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 569–582
25. Kim D, Ku H, Nam T, Yoon TC, Lee CY, Kim E: Influence of size and volume of periapical lesions on the outcome of endodontic microsurgery: 3-dimensional analysis using cone-beam computed tomography. *J Endod* 2016; 42: 1196–1201
26. Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Kühl S: Guided endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol* 2016; 32: 240–246
27. Kruse C, Spin-Neto R, Wenzel A, Kirkewang LL: Cone beam computed tomography and periapical lesions: a systematic review analysing studies on diagnostic efficacy by a hierarchical model. *Int Endod J* 2015; 48: 815–828
28. Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Machado VC, Santa-Rosa CC: A new approach for minimally invasive access to severely calcified anterior teeth using the guided endodontics technique. *J Endod* 2018; 44: 1578–1582
29. López-Jarana P, Díaz-Castro CM, Falcão A, Falcão C, Ríos-Santos JV, Herrero-Climent M: Thickness of the buccal bone wall and root angulation in the maxilla and mandible: an approach to cone beam computed tomography. *BMC Oral Health* 2018; 18: 194. doi:10.1186/s12903-018-0652-x
30. Molven O, Halse A, Grung B: Incomplete healing (scar tissue) after periapical surgery – radiographic findings 8 to 12 years after treatment. *J Endod* 1996; 22: 264–268
31. Molven O, Halse A, Grung B: Observer strategy and the radiographic classification of healing after endodontic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1987; 16: 432–439
32. Mota de Almeida FJ, Knutsson K, Flygare L: The effect of cone beam CT (CBCT) on therapeutic decision-making in endodontics. *Dento Maxillofac Radiol* 2014; 43: 20130137. doi:10.1259/dmfr.20130137.
33. Patel S, Foschi F, Mannocci F, Patel K: External cervical resorption: a three-dimensional classification. *Int Endod J* 2018; 51: 206–214
34. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Manocci F: European Society of Endodontology position statement: use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int Endod J* 2019; 52:1675–1678
35. Pauwels R, Beinsberger J, Collaert B et al.: SEDENTEXCT Project Consortium. Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *Eur J Radiol* 2012; 81: 267–271
36. Petersson A, Axelsson S, Davidson T et al.: Radiological diagnosis of periapical bone tissue lesions in endodontics: a systematic review. *Int Endod J* 2012; 45: 783–801
37. Porto OCL, Silva BSF, Silva JA et al.: CBCT assessment of bone thickness in maxillary and mandibular teeth: an anatomic study. *J Appl Oral Sci* 2020; 28: e20190148
38. Prell D, Kyriakou Y, Beister M, Kalender WA: A novel forward projection-based metal artifact reduction method for flat-detector computed tomography. *Phys Med Biol* 2009; 54: 6575–6591
39. Rabiee H, McDonald NJ, Jacobs R, Aminlari A, Inglehart MR: Endodontics program directors’, residents’, and endodontists’ considerations about CBCT-related graduate education. *J Dent Educ* 2018; 82: 989–999
40. Radon J: Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. *Ber Verh Sächs Akad Wiss Leipzig, Math Phys Kl* 1917; 69: 262–277
41. Riis A, Taschieri S, Del Fabbro M, Kvist T: Tooth survival after surgical or nonsurgical endodontic retreatment: long-term follow-up of a randomized clinical trial. *J Endod* 2018; 44: 1480–1486
42. Rodríguez G, Abella F, Durán-Sindreu F, Patel S, Roig M: Influence of cone-beam computed tomography in clinical decision making among specialists. *J Endod* 2017; 43: 194–199
43. Rodríguez G, Patel S, Durán-Sindreu F, Roig M, Abella F: Influence of cone-beam computed tomography on endodontic retreatment strategies among general dental practitioners and endodontists. *J Endod* 2017; 43: 1433–1437
44. Rosen E, Taschieri S, Del Fabbro M, Beitlitum I, Tsesis I: The diagnostic efficacy of cone-beam computed tomography in endodontics: a systematic review and analysis by a hierarchical model of efficacy. *J Endod* 2015; 41: 1008–1014
45. Rud J, Andreasen JO, Jensen JE: Radiographic criteria for the assessment of healing after endodontic surgery. *Int J Oral Surg* 1972; 1: 195–214

46. Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG: Use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int J Dent* 2009; 2009: 634567. doi:10.1155/2009/634567

47. Schloss T, Sonntag D, Kohli MR, Setzer FC: A comparison of 2- and 3-dimensional healing assessment after endodontic surgery using cone-beam computed tomographic volumes or periapical radiographs. *J Endod* 2017; 43: 1072–1079

48. Schultz CH, Fairley R, Murphy LS, Doss M: The risk of cancer from CT scans and other sources of low-dose radiation: a critical appraisal of methodologic quality. *Prehosp Disaster Med* 2020; 35: 3–16

49. Schulze R, Heil U, Groß D et al.: Artefacts in CBCT: a review. *Dento Maxillofac Radiol* 2011; 40: 265–273

50. Setzer FC, Kohli MR, Shah SB, Karabucak B, Kim S: Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature – part 2: comparison of endodontic microsurgical techniques with and without the use of higher magnification. *J Endod* 2012; 38: 1–10

51. Setzer FC, Shah SB, Kohli MR, Karabucak B, Kim S: Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature – part 1: comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. *J Endod* 2010; 36: 1757–1765

52. Strbac GD, Schnappauf A, Giannis K, Moritz A, Ulm C: Guided modern endodontic surgery: a novel approach for guided osteotomy and root resection. *J Endod* 2017; 43: 496–501

53. Sutter E, Lotz M, Rechenberg DK, Stadlinger B, Rucker M, Valdec S: Guided apicoectomy using a CAD/CAM drilling template. *Int J Comput Dent* 2019; 22: 363–369

54. Tanomaru-Filho M, Jorge ÉG, Guerreiro-Tanomaru JM, Reis JM, Spin-Neto R, Gonçalves M: Two- and tridimensional analysis of periapical repair after endodontic surgery. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 17–25

55. Tsesis I, Rosen E, Taschieri S et al.: Outcomes of surgical endodontic treatment performed by a modern technique: an updated meta-analysis of the literature. *J Endod* 2013; 39: 332–339

56. Uğur Aydın Z, Göller Bulut D: Relationship between the anatomic structures and mandibular posterior teeth for endodontic surgery in a Turkish population: a cone-beam computed tomographic analysis. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 3637–3644

57. Venskutonis T, Plotino G, Juodzbalys G, Mickevičienė L: The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *J Endod* 2014; 40: 1895–1901

58. Verweij JP, Jongkees FA, Ansari Moin D, Wismeijer D, van Merkesteyn JPR: Autotransplantation of teeth using computer-aided rapid prototyping of a three-dimensional replica of the donor tooth: a systematic literature review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017; 46: 1466–1474

59. von Arx T, Janner SF, Hänni S, Bornstein MM: Agreement between 2D and 3D radiographic outcome assessment

one year after periapical surgery. *Int Endod J* 2016; 49: 915–925

60. von Arx T, Janner SF, Hänni S, Bornstein MM: Evaluation of new cone-beam computed tomographic criteria for radiographic healing evaluation after apical surgery: assessment of repeatability and reproducibility. *J Endod* 2016; 42: 236–242

61. von Arx T, Cochran DL: Rationale for the application of the GTR principle using a barrier membrane in endodontic surgery: a proposal of classification and literature review. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001; 21: 127–139



(Foto: Sebastian Bürklein)

PROF. DR. SEBASTIAN BÜRKLEIN
Zentrum für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde, Universitätsklinikum
Münster
Zentrale Interdisziplinäre
Ambulanz (ZIA)
Albert-Schweitzer-Campus 1/W30
48149 Münster
sebastian.buerklein@ukmuenster.de

Autorinnen und Autoren für wissenschaftliche Beiträge gesucht

- Beschäftigen Sie sich mit einem zahnärztlichen Thema besonders intensiv?
- Möchten Sie andere an Ihrem Wissen und Ihren Erfahrungen teilhaben lassen?
- Dann schreiben Sie eine Originalarbeit, einen Übersichtsartikel oder einen Fallbericht für die DZZ – gerne in deutscher Sprache.

Nähere Informationen zum Aufbau eines wissenschaftlichen Beitrages finden Sie unter:

<https://www.online-dzz.de/autorengutachter/>

Wir beraten Sie gern! Wenn Sie eine Idee für einen wissenschaftlichen Beitrag haben, melden Sie sich gerne bei der DZZ-Schriftleitung. Unsere Kontaktdaten finden Sie auf der neuen Webseite unter

<https://www.online-dzz.de/redaktion/>