

MKG-Chirurg

<https://doi.org/10.1007/s12285-020-00243-9>

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Redaktion

R. Kettner, Aachen

M. Schneider, Dresden



Die Endodontologie hat sich in den letzten Jahren weiterentwickelt. Neben einer Vielzahl an technischen Hilfsmitteln ermöglicht die aktuelle zahnmedizinische Forschung bessere Einblicke in die Grundlagen zum Verständnis von Regeneration, Reparatur von Pulpagewebe und Reaktionen auf pathologische Prozesse. Moderne minimal-invasive Therapieverfahren ergänzen bewährte Methoden, sodass es aktuell besser gelingt, auch stark kompromittierte Molaren über viele Jahre entzündungsfrei in Funktion zu erhalten [1].

Das durchschnittliche Lebensalter der Bevölkerung in Europa nimmt zu. Gleichzeitig nimmt auch das Bewusstsein, natürliche Zähne zu erhalten und zu pflegen, eine größere Bedeutung ein. Mit zunehmendem Alter nimmt die Anzahl der natürlichen Zähne ab, jedoch steigt die Prävalenz chronischer apikaler Parodontitiden [2, 3]. Typische Herausforderungen in der endodontischen Therapie sind ein stark mineralisiertes Dentin, das erhöhte Auftreten von rasch fortschreitender Wurzelkaries und stark verengte Wurzelkanäle als Folge von pathologischen Reizeinwirkungen [4].

Mit dem Wunsch nach Erhaltung der natürlichen Zähne nimmt auch die Häufigkeit endodontischer Revisionen zu [5]. Im Gegensatz zu einer Primärbehandlung müssen jedoch im Verlauf einer Folgebehandlung nicht nur die pathobiologischen Herausforderungen, sondern v. a. auch die iatrogen geschaffenen Problemstellungen sicher korrigiert werden.

M. Arnold

Praxis für Endodontie und Zahnerhaltung, Dresden, Deutschland

Diagnostik und Therapie in der Endodontie – aktuelle Möglichkeiten

Diagnostik und Therapieplanung

Die bewährten diagnostischen Verfahren zur Ermittlung der Pulpasensibilität, Zahnbeweglichkeit, Perkussionssensibilität und von Befestigungsverlust haben weiterhin Bestand und sind unverzichtbar für eine routinemäßige und standardisierte Basisdiagnostik. Dazu zählen auch die intraoralen Röntgenaufnahmen, die jedoch aufgrund ihrer zweidimensionalen Abbildung von dreidimensionalen Strukturen Limitationen aufweisen, sodass die sichere Diagnostik einer apikalen Parodontitis nicht möglich ist ([6]; **Abb. 1 und 2**).

Seit etwa 15 Jahren besteht die Möglichkeit zur Anfertigung kleinvolumiger, hochauflösender, dreidimensionaler Röntgenaufnahmen. Die dentale digitale Volumentomographie (DVT) ermöglicht es erstmalig, periapikale Aufhellungen sicher zu differenzieren. Mit 75–125 µm Voxelgröße können die hartgewebigen Strukturen am Patienten dreidimensional rekonstruiert und analysiert werden [7]. Beispielsweise gelingt es, anhand der Wurzelform die Anzahl und den Verlauf von Wurzelkanälen zu bestimmen. Minimal-invasive Strategien können besser geplant werden, um Obliterationen zu überwinden, schwierige Wurzelkanalanatomien zu erkennen, Stufenpräparationen zu überwinden, Fragmente zu entfernen oder Perforationen exakt zu verschließen [8–10]. Angrenzende Gewebestrukturen lassen sich gleichzeitig auf ihre Beteiligung an pathologischen Prozessen analysieren. Nicht selten haben beispielsweise Entzündungen der

Kieferhöhle ihre Ursache in infizierten Wurzelkanälen.

Fallbeispiel Zahn 16

Ein 54-jähriger Patient mit unauffälliger Allgemeinanamnese stellte sich mit einem fortbestehenden Druckschmerz im rechten Oberkiefer vor. Zeitweise nahm er einen schlechten Geruch und Geschmack trotz gründlicher, regelmäßiger Zahnpflege wahr. Es bestand der Verdacht auf eine Kieferhöhleninfektion. Der Patient gab an, dass am Zahn 16 vor etwa 20 Jahren eine Wurzelkanalbehandlung und -spitzenresektion durchgeführt worden war. Die klinische Zahnkrone war gräulich verfärbt und mit einer Gold-



Abb. 1 ▲ Zahn 26. In der Röntgenaufnahme ist eine unvollständige Wurzelkanalfüllung erkennbar, eine apikale Aufhellung kann vermutet werden. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

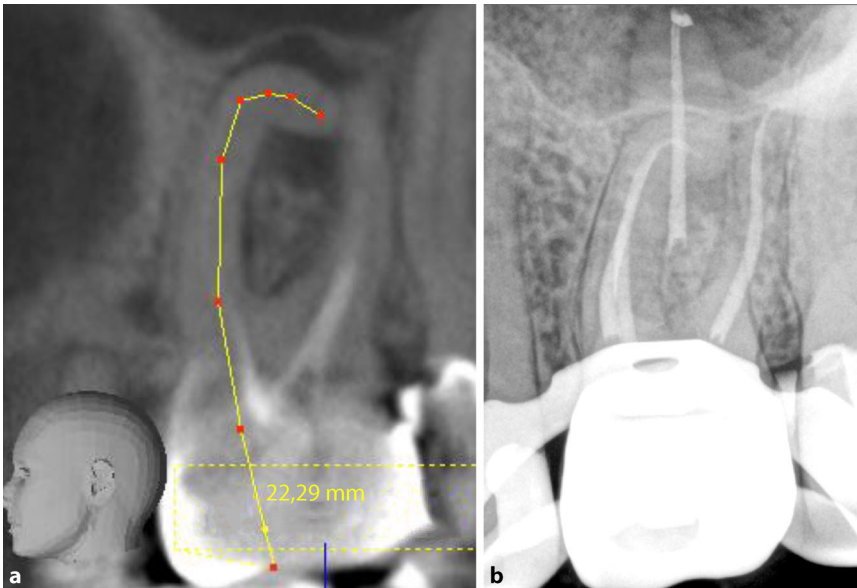


Abb. 2 ▲ a In der sagittalen Rekonstruktion der DVT-Aufnahme kann die periapikale Aufhellung eindeutig ermittelt werden. Eine extreme Wurzelkrümmung lässt sich rechtzeitig erkennen und vermessen, sodass die geeignete Instrumentenabfolge ausgewählt werden kann. b Röntgenkontrolle nach Wurzelkanalbehandlung. Die extreme Krümmung konnte vollständig erschlossen und gefüllt werden. DVT digitale Volumentomographie. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

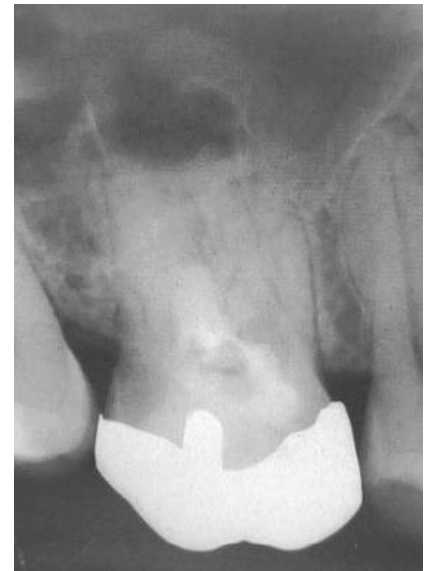


Abb. 3 ▲ Intraorale Röntgenausgangsaufnahme mit diffuser apikaler Aufhellung an Zahn 16. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

teilkronen versorgt. Die Prüfung der Sondierungswerte, Zahnbeweglichkeit und Perkussionsreize ergab keine pathologischen Befunde. Radiologisch war auf der zweidimensionalen Röntgenaufnahme eine fortbestehende apikale Aufhellung bei unvollständiger Wurzelkanalfüllung zu vermuten (■ Abb. 3). Für eine genauere Analyse wurde eine 4×4 cm große DVT-Aufnahme (Veraviewepocs® 3D, Fa. Morita, Osaka, Japan) angefertigt. Dabei bestätigte sich, dass die Wurzelkanäle unvollständig gefüllt und eine periapikale Aufhellung vorlag. Darüber hinaus wurde sichtbar, dass die basale knöcherne Begrenzung der Kieferhöhle als Folge der Entzündung aufgelöst war. In der mesiobukkalen Wurzel war ein großer irregulärer Zahnhartsubstanzenverlust zu erkennen, der als Hinweis auf eine zurückliegende interne Resorption gedeutet werden kann. Ein zweiter mesiobukkaler Wurzelkanal ließ sich nur anhand der Wurzelform im Querschnitt vermuten (■ Abb. 4).

Nach Auswertung aller Befunde lag eine fortbestehende intrakanaläre mikrobielle Infektion am Zahn 16 vor. Hinweise auf eine Vertikalfraktur fehlten. Eine weitergehende intrakoronale Prüfung der Möglichkeit zur Zahnerhaltung wur-

de empfohlen. Die bestehenden endodontischen Problemstellungen zur Überwindung von Obliterationen, Reinigung der internen Resorption und Desinfektion des Wurzelkanalsystems trotz resezierter Wurzelspitzen erschienen korrigierbar. Mit einer antimikrobiellen Therapie bestand das Ziel, den Zahn zu erhalten, aber v. a., den entzündungsbedingten Knochenabbau zu stoppen und die Kieferhöhle vor einer weiteren sekundären Infektion zu schützen.

Dentalmikroskop zur intrakoronalen Diagnostik und Therapie

Dentalmikroskope bieten eine funktionelle Einheit von Vergrößerung, schattenfreier Ausleuchtung, Ergonomie und bildgebender Dokumentation. Mit einem Arbeitsabstand von 40 bis 60 cm zum Patienten verringert sich darüber hinaus das Risiko einer mikrobiellen Infektionsübertragung zwischen Arzt und Patienten. Bei der Funktionalität gibt es je nach Hersteller und Produkt große Unterschiede. Mikroskope sind in der Anschaffung und Einarbeitung zur effektiven Anwendung mit hohen betriebswirtschaftlichen Inves-

titionen verbunden, sodass noch vor 20 Jahren nur einige wenige Endodontiespezialisten und Oralchirurgen in Europa kontinuierlich mit einem Mikroskop arbeiteten [11]. Aktuell nutzen zunehmend auch Allgemeinzahnärzte, Parodontologen und Prothetiker das Dentalmikroskop für eine umfassende zahnmedizinische Diagnostik und Therapie. Diese Trendwende steht in Beziehung mit der aktuellen Ausbildung an den Hochschulen in Deutschland. So werden in Dresden bereits seit dem Jahr 2001 Studenten am Mikroskop für endodontische Aufgabenstellungen ausgebildet [11].

Die klinische und radiologische Befundaufnahme führt nicht selten zu einer oder mehreren Verdachtsdiagnosen. Erst im weiteren klinischen Verlauf kann dann die Diagnose bestätigt oder verworfen werden. Das menschliche Auge ist auf eine Auflösung von 50–100 µm begrenzt und unterliegt einer alters- und belastungsbedingten Ermüdung [12]. Mit dem Dentalmikroskop können insbesondere in der Endodontie die diagnostische Sicherheit und das Auffinden von stark verengten Wurzelkanälen verbessert werden [13–15]. So empfiehlt sich insbesondere bei endodontischen Fragestellungen

die intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik (IKD), bevor eine endgültige Therapieentscheidung getroffen wird [16]. Mit der IKD lassen sich Risiken für den Patienten und die Prognose besser beurteilen.

Fallbeispiel IKD

Mit der Verdachtsdiagnose einer Wurzellängsfraktur bei einer fortbestehenden apikalen Parodontitis am Zahn 16 nach Wurzelkanalbehandlung und -spitzenresektion sollte die Erhaltungsfähigkeit des Zahns im Rahmen einer IKD geprüft werden.

Unter absoluter Trockenlegung wurde die primäre endodontische Zugangskavität präpariert. Bereits nach Entfernung des Kerns der Goldfüllung fiel ein infektiöser Geruch auf. Der verwendete Sealer war schwarz verfärbt, pastös und weich (▣ Abb. 5). Feuchtigkeit als Hinweis auf eine undichte Wurzelkanalfüllung ließ sich unter 8-facher Vergrößerung nachweisen. Sekundärdentin überlagerte die insgesamt 6 Wurzelkanaleingänge, sodass nur eine unvollständige Reinigung und Desinfektion möglich wurden. Der Verdacht auf einen Zahnhartsubstanzdefekt als Folge einer internen Resorption konnte bestätigt werden (▣ Abb. 6). Dentinrisse als Hinweis auf eine frühe Vertikalfraktur ließen sich nicht darstellen, sodass die Verdachtsdiagnose Vertikalfraktur verworfen und eine zahnerhaltende Therapie begründet werden konnte.

Nach einer chemomechanischen Aufbereitung des Wurzelkanalsystems wurden die weit offenen apikal resezierten Wurzeln mit ProRoot® Mineral-Trioxid-Aggregat (MTA, Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) verschlossen. Die akzessorischen minimal-invasiv erweiterten Wurzelkanäle mesiobukkal wurden thermoplastisch mit 2Seal (Fa. VDW, München) und Guttapercha verschlossen (▣ Abb. 7). Bei den nach 6, 12, 24 und 36 Monaten erfolgten Nachkontrollen war der Patient beschwerdefrei. Die Symptomatik des Druckschmerzes und der Foetor ex ore waren abgeklungen und die periapikale Aufhellung zeigte sich deutlich verkleinert. Mit der DVT-Aufnahme 3 Jahre nach der Therapieab-

MKG-Chirurg <https://doi.org/10.1007/s12285-020-00243-9>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

M. Arnold

Diagnostik und Therapie in der Endodontie – aktuelle Möglichkeiten

Zusammenfassung

Die diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten haben sich im Fachgebiet der Endodontologie verändert und verbessert. Mit zunehmendem Lebensalter der Patienten und dem wachsenden Wunsch nach zahnerhaltender Therapie nehmen auch die Herausforderungen für die zahnärztliche Diagnostik und Therapie zu. Ziel dieses Beitrags ist es, mit dem Schwerpunkt mikrobiell infizierte Pulpanekrose und apikale Parodontitis die Kenntnisse über moderne Verfahren in der endodontischen Diagnostik und Therapie zu verbessern. Ferner soll die kollegiale Zusammenarbeit zwischen allgemein Zahnärztlich, chirurgisch und vorrangig endodontisch tätigen Zahnärzten gefördert werden. Vorgestellt werden aktuelle Hilfsmittel in der Endodontie, die zur Verbesserung der Diagnostik, Therapieplanung und prognostischen Beurteilung dienen können. Dentalmikroskop, Ultraschall und digitale Volumetomographie gehören neben Nickel-Titan-Instrumenten zu den

Hilfsmitteln, die eine minimal-invasive Korrektur endodontischer Problemstellungen reproduzierbar lösbar machen. Die intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik ermöglichen eine Kontrolle und Korrektur der Verdachtsdiagnose, sodass einerseits die Prognose besser beurteilt und andererseits eine geeignete Strategie zur Korrektur bestimmt werden kann. Selbst Zähne mit komplexen Herausforderungen in der Anatomie und Morphologie mit mikrobieller Infektion können mit einer adäquaten Therapie langfristig erhalten werden. Insbesondere bei Revisionen lässt sich unter spezialisierten Bedingungen ein langfristiger Erhalt von Zähnen mit bis zu 85 % Erfolg erzielen.

Schlüsselwörter

Zahnerhalt · Pulpanekrose · Apikale Parodontitis · Hilfsmittel · Digitale Volumetomographie

Endodontic diagnostics and treatment—current options

Abstract

The diagnostic and therapeutic options available in the field of endodontics have changed and improved. With the rising age of patients and increasing demand for tooth-conserving treatments, the challenges confronting dental diagnostics and treatment are growing. Focusing on pulp necrosis with microbial infection and apical periodontitis, this article aims to improve knowledge of modern endodontic diagnostic and therapeutic methods. Furthermore, it is hoped that collaboration between colleagues practicing general medicine, surgery, and particularly endodontic dentistry will be stimulated. Devices currently used in endodontics to improve diagnostics, treatment planning, and prognostic evaluation are presented. Alongside nickel–titanium instruments, dental microscopes, ultrasound, and cone-

beam computed tomography are devices that enable reproducible minimally invasive treatment of endodontic problems. Intracoronary examination and diagnostics serve to check and correct the suspected diagnosis, on the one hand for better prognostic evaluation and on the other to define a suitable strategy for correction. Even teeth with microbial infections presenting complex anatomic and morphologic challenges can be conserved in the long term by adequate treatment. In the case of revisions, under specialized conditions, long-term tooth preservation rates of up to 85% can be achieved.

Keywords

Tooth regeneration · Dental pulp necrosis · Apical periodontitis · Devices · Cone-beam computed tomography

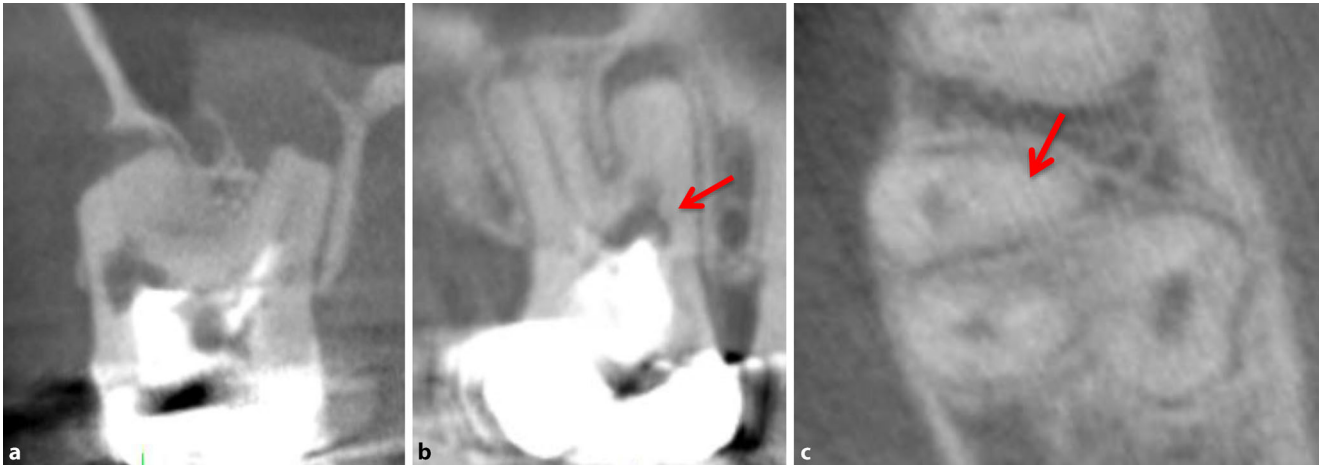


Abb. 4 ▲ **a** Frontale Ebene Zahn 16 mit mesiobukkaler und palatinaler resezierter Wurzel. Die knöcherne Begrenzung der Kieferhöhle ist aufgelöst. **b** In der sagittalen Ebene ist ein interner resorptiver Zahnhartsubstanzverlust erkennbar. **c** In der Auswertung der axialen Ebene können 5 Wurzelkanäle vermutet werden. Der zweite mesiobukkale Wurzelkanal ist nicht erkennbar (Pfeil). (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

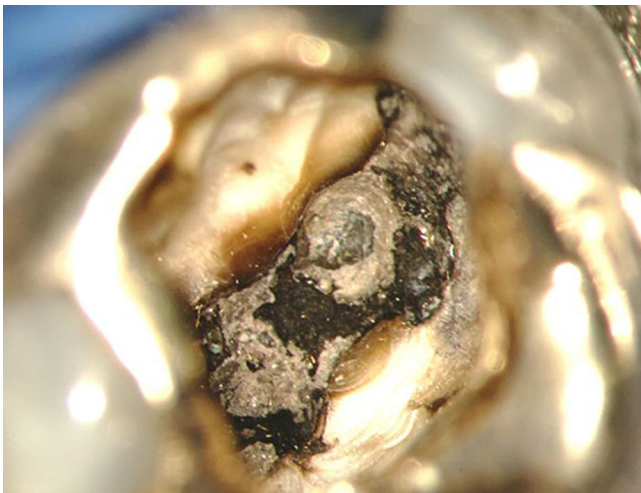


Abb. 5 ◀ Ansicht in die endodontische Zugangskavität Zahn 16. Schwarz verfärbter Sealer hat das Dentin verfärbt. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

schluss konnte ein Verschluss des Kieferhöhlenbodens und eine vollständige Heilung der Entzündung nachgewiesen werden (▣ **Abb. 8**).

Therapie des infizierten Wurzelkanalsystems

Mechanische Erweiterung komplexer Systeme

Voraussetzung für die suffiziente Desinfektion eines mikrobiell infizierten Wurzelkanalsystems ist die mechanische Erweiterung der zumeist stark verengten Wurzelkanäle. Häufig wird bei der radiographischen Bildgebung davon ausgegangen, dass Wurzelkanäle nicht mehr instrumentierbar seien, weil sie nicht auf

der Röntgenaufnahme erkennbar sind. Tatsächlich fehlen häufig geeignete Instrumentarien, Übung und die optische Vergrößerung zum Auffinden der Strukturen.

Für die mechanische Erweiterung von Wurzelkanälen steht eine große Anzahl neuer Instrumente unterschiedlicher Legierungen und Materialeigenschaften zur Verfügung. Die maschinell betriebenen Nickel-Titan(NiTi)-Instrumente lösen zunehmend die manuellen Instrumente im klinischen Alltag ab. Bei der Auswahl geeigneter NiTi-Instrumente kann die zentrierte formkongruente mechanische Erweiterung des Wurzelkanalsystems verbessert und die Zeit für die mechanische Erweiterung und Formgebung verkürzt werden [17, 18].

Mehrfachkrümmungen, die nicht selten die Stufenpräparation, Verblockung oder auch die Fraktur eines Wurzelkanalinstrumentes provozieren, können mit NiTi-Instrumenten besser mechanisch erweitert werden [19]. Zusätzlich zu rotierenden Instrumenten kommen aktuell alternierende und vibrierende NiTi-Instrumente zum Einsatz [19–21].

Fallbeispiel

Eine 52-jährige Patientin verspürte nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung am Zahn 15 fortbestehende Beschwerden auf Wärmereize. Der sonst unauffällige Zahn war mit einer Kompositfüllung versorgt worden. Auf der Röntgenausgangsaufnahme fiel bereits eine im Vergleich zur Wurzellänge zu kurze Wurzelkanalfüllung auf, die anscheinend am Ende den originalen Wurzelkanalverlauf verließ. Somit bestand der Verdacht auf eine apikale Stufenpräparation mit einer möglichen apikalen Aufteilung (▣ **Abb. 9**). Es lag eine apikal gekrümmte Wurzel mit einem Krümmungsradius von knapp 90° vor. Die Stufenpräparation erschien nach Analyse des Kanalverlaufs mit vorbiegbaren NiTi-Instrumenten korrigierbar, sodass eine chirurgische Korrektur in unmittelbarer Begrenzung der Kieferhöhle möglicherweise vermieden werden konnte.

Unter absoluter Trockenlegung wurde dazu das alte Füllungsmaterial mit

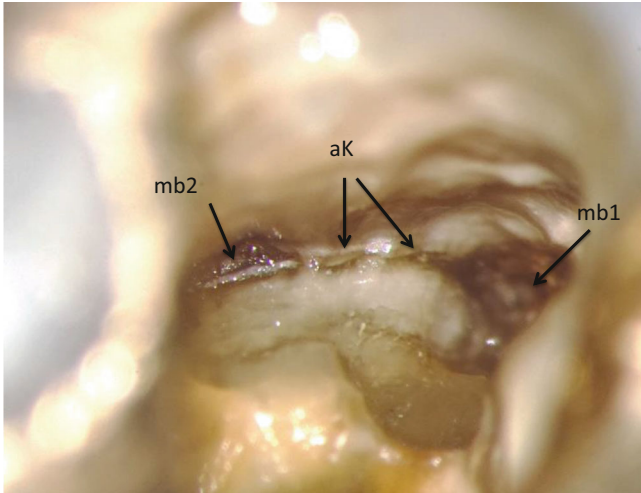


Abb. 6 ▲ Nach Entfernung von Sealer und Guttapercha sind in der mesio-bukkalen Wurzel mehrere Wurzelkanäle und der resorptive Defekt erkennbar. Zwischen den typischen Wurzelkanälen (*mb1*, *mb2*) befinden sich weitere akessorische Wurzelkanäle (*aK*). *mb* mesio-bukkal. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

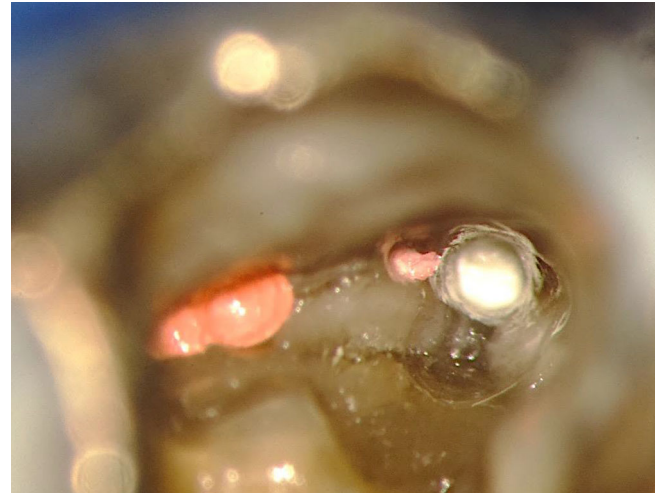


Abb. 7 ▲ Ansicht der gefüllten Wurzelkanäle in der mesio-bukkalen Wurzel. Der Wurzelkanal *mb1* wurde mit Mineral-Trioxid-Aggregat-Zement verschlossen. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

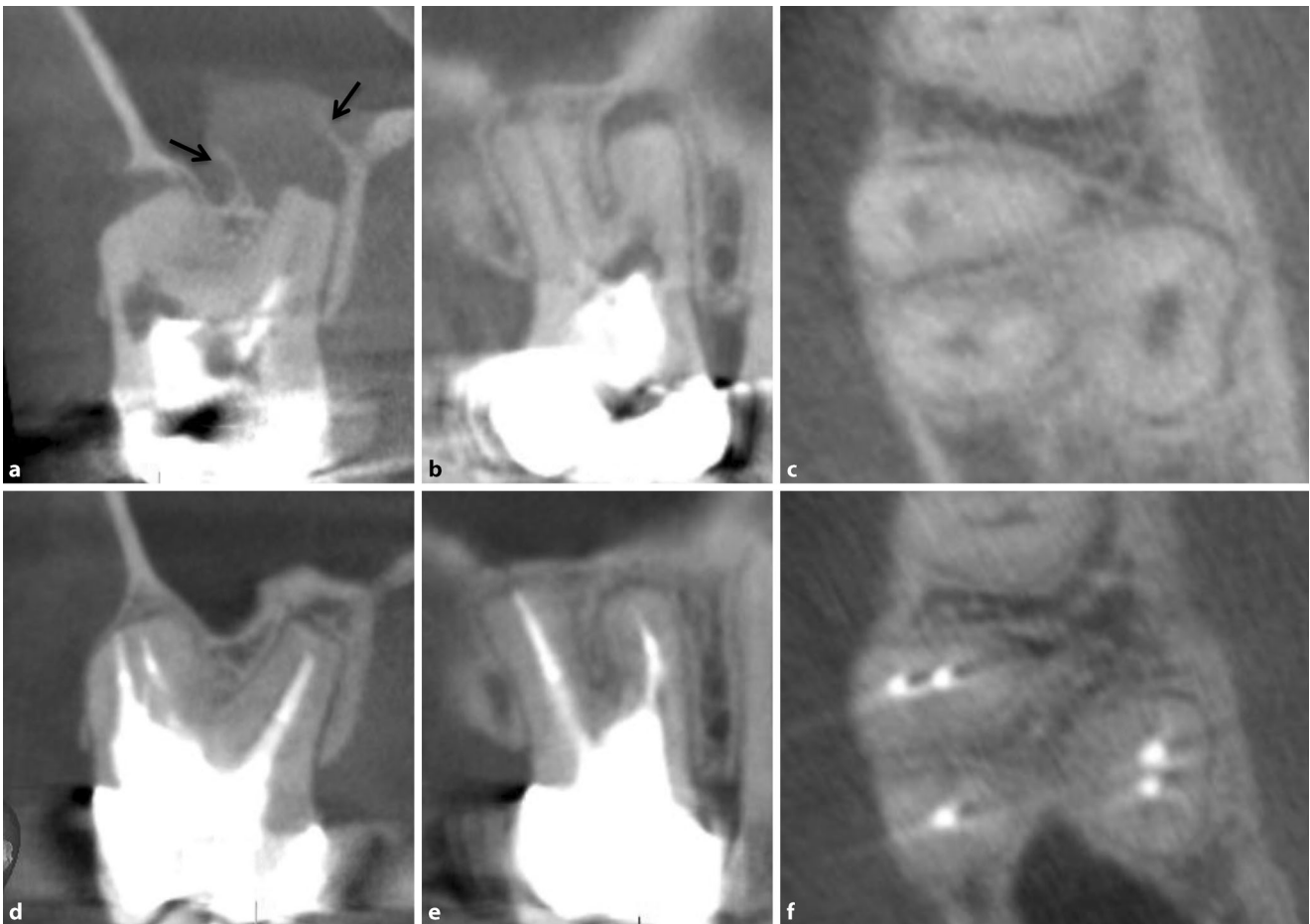


Abb. 8 ▲ Gegenüberstellung der DVT-Aufnahmen vor (a–c) und 3 Jahre nach (d–f) Abschluss der Wurzelkanalbehandlung mit vollständiger Heilung. a, d Frontal mesio-bukkal palatinal (*Pfeile*); b, e sagittal mesio-bukkal distobukkal; c, f axial. DVT digitale Volumentomographie. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)



Abb. 9 ▲ Röntgenausgangsaufnahme Zahn 15 mit unvollständiger Wurzelkanalfüllung. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)



Abb. 10 ▲ Zahn 15 mit vollständiger Wurzelkanalfüllung ohne Kanalabweichung trotz starker Krümmung. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)



Abb. 11 ▲ Zahn 36 mit unvollständiger Wurzelkanalfüllung und apikaler Aufhellung. Verdacht auf mehrere Fragmente. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

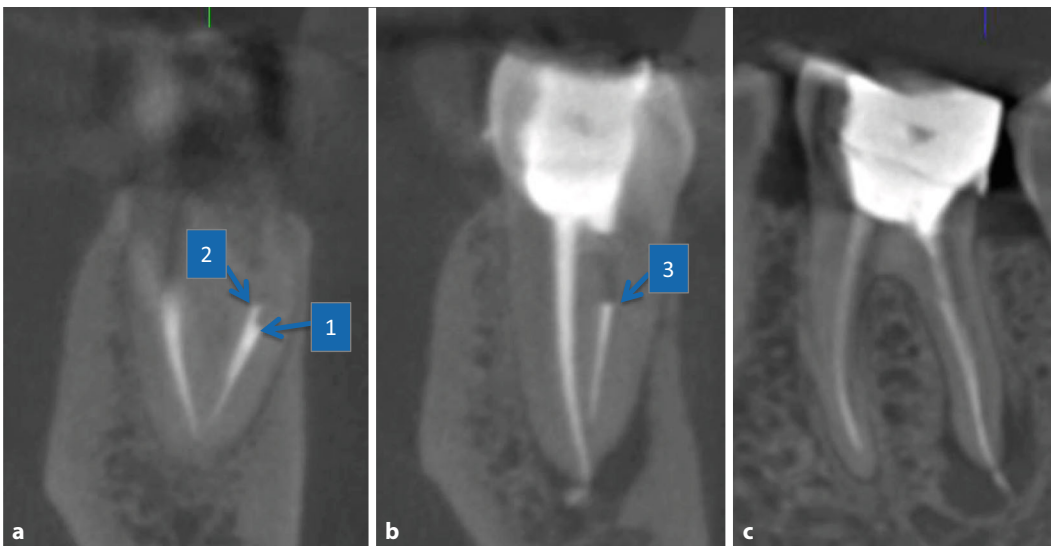


Abb. 12 ◀ DVT-Ausschnitte in 3 Ebenen zur Ermittlung der Anatomie und genauen Lagebestimmung der Fragmente (1–3). a Frontale Ansicht der mesialen Wurzel. Zwei verteilte Fragmente können vermutet werden, b Frontale Ansicht der distalen Wurzel mit einem weiteren Fragmentverdacht, c Saggitale Ansicht zur Bestimmung der Lage der Fragmente zur Krümmung des Wurzelkanals. DVT digitale Volumentomographie. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

ProFile®-04-Instrumenten (Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) unter kontinuierlicher Spülung mit 1,5%iger Natriumhypochlorit(NaOCl)-Lösung entfernt. Auf ein frühzeitiges apikales aktives Instrumentieren wurde bewusst verzichtet und dafür eine konische Präparationsform des Wurzelkanals bis zur Stufe geformt. Mit einem vorgebogenen Micro-Opener (Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) in der Größe ISO 10 wurde der weitere Kanalverlauf sondiert und vorgeformt. Nach einer ultraschallaktivierten Spülung wurde eine vorgebogene ProFile® 15.04 (Fa. Dent-

sply Sirona, Charlotte, NC, USA) in den apikalen Anteil eingeführt und dann rotierend erweitert. Dieser Pfad konnte im Anschluss mit einer vorbiegbaren, in reziproker Bewegung arbeitenden WaveOne® Gold small (Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) erweitert und geformt werden, sodass sich das verbliebene Pulpagewebe vollständig entfernen ließ. Im Anschluss an die Reinigung und Desinfektion wurde das Kanalsystem mit einer thermoplastischen vertikalen Kompaktionstechnik verschlossen. Bei der Röntgenkontrolle zeigte sich eine trotz starker Wurzelkanalkrümmung

eine vollständige Erweiterung und Abfüllung (Abb. 10).

Minimal-invasive Präparation mit Ultraschall

Zusätzlich ist für die intrakanaläre Korrektur von Problemstellungen die Nutzung von Ultraschall unverzichtbar [22, 23]. Ultraschall wird in einer Frequenz von 25–40 kHz genutzt. Die piezoelektrische Methode scheint der magnetischen überlegen zu sein, da sie eine höhere Effektivität in der Umwandlung der Energie aufweist. Damit wird bei geringerer Ener-

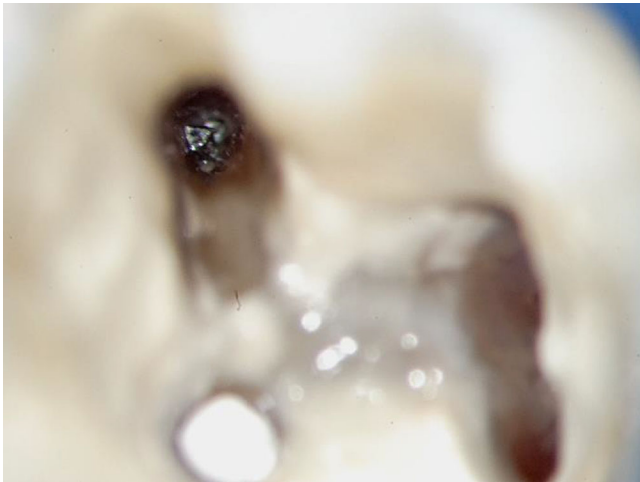


Abb. 13 ◀ Me-siobukkal wurden 2 Fragmente zur Entfernung mit einer Loop-Technik minimal-invasiv freigelegt. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

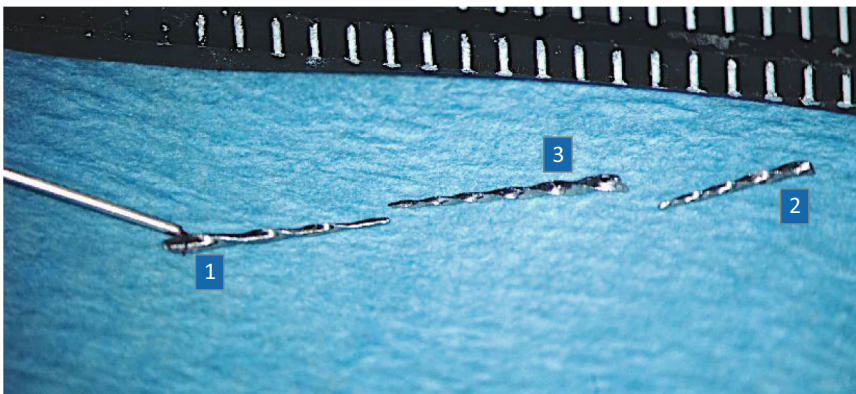


Abb. 14 ▲ Alle 3 Fragmente (1–3) konnten vollständig entfernt werden. Trotz Vergrößerung sind keine weiteren Hinweise auf Überbelastung sichtbar. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

giezufuhr eine stärkere Vibration mit geringerer Wärmeentwicklung erzielt [23].

Fallbeispiel Fragmententfernung

Ein 39-jähriger Patient stellte sich bei unauffälliger Allgemeinanamnese mit einer Überweisung zur Entfernung eines frakturierten Instruments im Zahn 36 vor. Akute Schmerzen lagen keine vor. Der Zahn wies klinisch keine pathologischen Befunde auf. Lediglich der axiale Perkussionstest löste einen geringfügig erhöhten Schmerzreiz aus.

Auf der intraoralen Röntgenaufnahme war am Zahn 36 eine teilweise unvollständige Wurzelkanalfüllung erkennbar. In der mesialen Wurzel bestand der Verdacht auf Instrumentenfragmente. An der distalen Wurzelspitze lag eine apikale Aufhellung mit diskreter Überpressung von Wurzelfüllungsmaterial vor (Abb. 11).

Mit der DVT-Aufnahme ließ sich die genaue Lage der vermuteten Fragmente ermitteln, sodass die Möglichkeiten zur orthograden Entfernung geprüft werden konnten (Abb. 12). Überlagerungen von Wurzelfüllungsmaterialien in unterschiedlichen Schichtdicken können auf Röntgenaufnahmen vorhandene Fragmente maskieren oder auch vortäuschen. Unter Kofferdam ließen sich nach der Präparation der Zugangskavität 4 teilweise in Einstifttechnik gefüllte Wurzelkanäle darstellen. Der radiologische Verdacht auf das Vorhandensein von Fragmenten bestätigte sich. Nach der Entfernung der Wurzelfüllungsmaterialien und Desinfektion mit 1,5%iger NaOCl-Lösung gelang die Freilegung der 3 Fragmente mit einer minimal-invasiven Ultraschalltechnik (Abb. 13). Die Fragmente wurden mittels Loop-Technik mit dem

Broken Tool Remover Pen (BTR-Pen, Fa. LyDenti, Großbeeren, Deutschland) aus dem Wurzelkanalsystem entfernt, sodass das infizierte Wurzelkanalsystem vollständig gereinigt, desinfiziert und mit einer thermoplastischen Wurzelkanalfüllung wieder verschlossen werden konnte (Abb. 14 und 15).

Alle 3 Fragmente wurden im Anschluss mit einem Rasterelektronenmikroskop (Phenom XL Desktop SEM, Fa. Thermo Fischer Scientific, Waltham, MA, USA) auf Fehler in der Herstellung untersucht. Die deformierte und teilfrakturierte Instrumentenspitze des zuerst frakturierten Instruments wurde im Verlauf der Wiederaufbereitung übersehen, da die Verkürzung des Instruments kaum messbar war [11, 24]. Die veränderte Form führte offensichtlich im Rahmen der Erstbehandlung zu einer Stufenpräparation. Ein herstellungsbedingter Fehler in der Legierung konnte nicht ermittelt werden. Alle Fragmente wiesen zahlreiche Ermüdungsrisse auf, die auf eine wiederholte Nutzung und Wiederaufbereitung der Instrumente schließen ließen (Abb. 16). Sowohl aus hygienischen Gründen als auch aus Gründen der Arbeitssicherheit empfiehlt sich nur in Ausnahmefällen die Wiederaufbereitung von NiTi-Instrumenten [25].

Regenerative und reparative Verfahren

Mit dem Wissen, dass nach dem Verlust der Pulpa kein weiteres Dentinwachstum stattfinden kann und die Abwehrleistung innerhalb des Zahns verloren gegangen ist, besteht seit mehreren Jahren das Ziel, Pulpagewebe zu regenerieren. Erste positive Erfolge wurden mit der Gewinnung und Differenzierung dentaler Pulpastammzellen im Rahmen von In-vitro-Untersuchungen erreicht [26]. Erste klinische Fälle und Fallserien lassen vermuten, dass es gelingen kann, Pulpagewebe zu regenerieren [27]. In einem der aktuell veröffentlichten Behandlungsfälle wurde gezeigt, dass es trotz einer infizierten Pulpanekrose bei periapikaler Aufhellung gelingen kann, das Wurzellängen- und -dickenwachstum fortzusetzen [28]. Entscheidend für den Erfolg der meist



Abb. 15 ▲ Trotz minimal-invasiver Entfernung der Fragmente ist der erhöhte Substanzabtrag in der mesiobukkalen Wurzel nicht zu vermeiden. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

jugendlichen Zähne mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum ist einerseits die Infektionskontrolle und andererseits die Freisetzung von bioaktiven Wachstumsfaktoren für die Differenzierung dentaler Stammzellen zu Zellen, die dentale Hartgewebe produzieren können [29–31]. Die Fallauswahl und Therapieprotokolle unterscheiden sich erheblich, sodass eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit schwer möglich sind.

Fallbeispiel

Nach einer Dislokationsverletzung an Zahn 11 fiel bei einer 9-jährigen Patientin 3 Monate nach dem Unfall eine labiale Druckdolenz auf. Der Zahn reagierte negativ auf den thermischen und elektrischen Sensibilitätstest. Auf der Röntgenausgangsaufnahme ließ sich apikal eine Aufhellung erkennen, die auf eine infizierte Pulpanekrose hindeutete (▣ Abb. 17a). Mit der regenerativen Therapie bestand das Ziel, das Dickenwachstum der Wurzel zu unterstützen, sodass sich das noch sehr weite apikale Foramen mit mineralisiertem Gewebe natürlich einengen kann.

Unter Kofferdam wurde die Zugangskavität präpariert und die nekrotische Pulpa mit einem Micro-Opener (Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) exstirpiert. Es erfolgte keine mechanische Erweiterung des Wurzelkanals. Dieser wurde für 10 min mit passiver Ultraschallspülung und NaOCl desinfiziert und anschließend mit Ethylendiamintetraessigsäure für weitere 10 min gespült. Nach einer Spülung mit Kochsalzlösung wurde der Wurzelkanal mit einer Mikroabsaugung bis zum Apex unter Sicht mit dem Dentalmikroskop getrocknet. Mit einem sterilen Micro-Opener (Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) wurde das periapikale Gewebe zu einer Blutung angeregt, damit über das Blutkoagel die differenzierungsfähigen Zellen einwandern und zur Hartgewebeproduktion induziert werden konnten (▣ Abb. 17b). Auf das intrakanaläre Blutkoagel wurde ProRoot® MTA (Fa. Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) in einzelnen Schichten appliziert, sodass der Zahn koronal in gleicher Sitzung wieder definitiv verschlossen werden konnte (▣ Abb. 17c).

Über einen Kontrollzeitraum von 5 Jahren hat sich der Wurzelkanal stark verengt bei gleichzeitiger Wiederherstellung eines gleichmäßig verlaufenden Desmodontalspalts (▣ Abb. 17d). Klinisch und radiologisch liegen keine pathologischen Befunde vor. Ob es sich um eine Regeneration oder um eine Reparatur handelt, kann nur histologisch untersucht werden.

Histologische Studien weisen jedoch darauf hin, dass es sich bei den Hartgewebeneubildungen um eine Reparatur handelt, da keine Odontoblasten aktuell nachweisbar sind [32]. In einer Studie mit einem Nachuntersuchungsintervall bis zu 72 Monaten konnte nachgewiesen werden, dass die regenerative endodontische Therapie in knapp 90 % der Fälle zum Erhalt des Zahns und in 75 % zur vollständigen Ausheilung der apikalen Aufhellung beigetragen hat [33].

Das einzeitige Verfahren wurde hier gewählt, um das Kind keiner zusätzlichen nicht vollständig schmerzfreien endodontischen Therapie unterziehen zu müssen. Darüber hinaus bestand nur eine geringe mikrobielle Infektion. Bei der

Abdeckung des Blutkoagels mit MTA ist häufig mit einer Verfärbung der klinischen Zahnkrone zu rechnen. Diese Verfärbung lässt sich in jedem Fall durch ein internes Bleaching wieder korrigieren. Mit der Nutzung biokeramischer Werkstoffe unter Verzicht auf Bismutoxid als Kontrastmittel können aktuell die Verfärbungen weitgehend vermieden werden.

Prognose endodontischer Revisionen und Outcome

In der Endodontologie wird dann von einem Therapieerfolg ausgegangen, wenn der Patient den Zahn schmerzfrei funktionell nutzen kann und ein gleichmäßig verfolgbarer Desmodontalspalt im Röntgenbild nachweisbar ist. Der Heilungsprozess soll in den meisten Fällen nach einem Kontrollzeitraum von etwa 4 Jahren abgeschlossen sein [34]. Im Fall einer infizierten Pulpanekrose mit apikaler Parodontitis variieren die Erfolgszahlen zwischen 35 % und 78 % [35–37]. Eine Auswertung der Studien von 1961 bis 2005 ergab, dass bei orthograden Revisionen mit einer mikrobiellen Infektion in knapp 77 % der Fälle eine komplette Heilung erzielt wurde [38]. Jüngeren Studien zufolge können die Ergebnisse noch weiter verbessert werden, wenn die Behandlungen unter spezialisierten Bedingungen erfolgen [39–41].

Erfolgszahlen aus der 2-D-Bildgebung können im Vergleich zu DVT-Untersuchungen bis zu 15 % abweichen [42]. Insbesondere bei komplexen Wurzelkanalsystemen mit überlagernden knöchernen Strukturen sind dann kleinvolumige DVT-Aufnahmen zur Heilungskontrolle indiziert, wenn die intraoralen 2-D-Röntgenaufnahmen keine sichere Diagnostik ermöglichen.

Fallbeispiel Molar mit Verdacht auf radikuläre Zyste

Am Zahn 36 erfolgte eine Revisionsbehandlung bei einer ausgedehnten periapikalen Aufhellung. Es bestand der Verdacht auf eine radikuläre Zyste und eine Vertikalfaktur (▣ Abb. 18a). Nach Entfernung der Aufbaufüllungsmaterialien und Stifte konnte im Rahmen der IKD kein Hinweis auf eine Fraktur gefunden

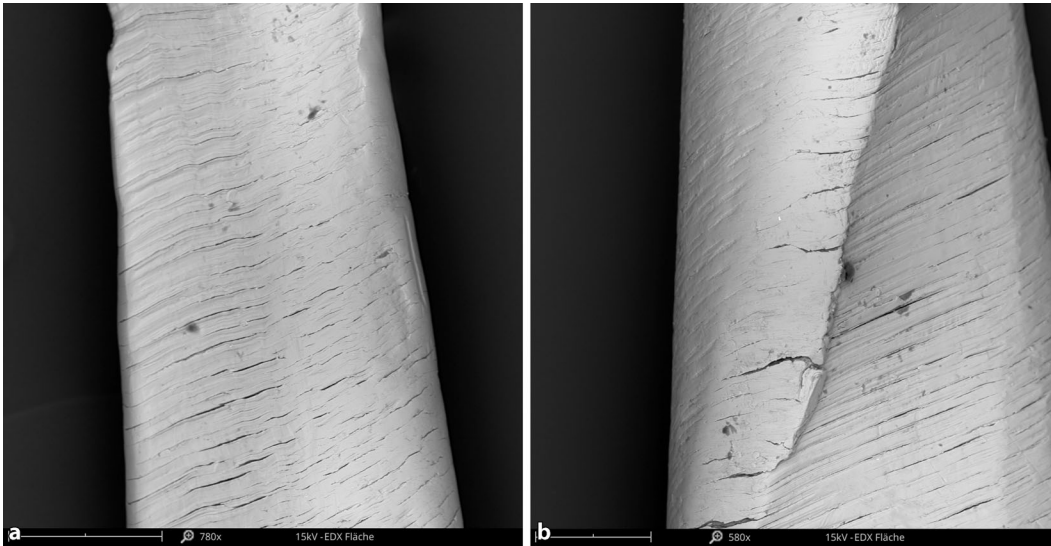


Abb. 16 ◀ Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Fragmente. **a, b** Zahlreiche Ermüdungsrisse weisen den wiederholten aktiven Einsatz der Feile nach. Frakturen bei geringster Belastung sind die Folge. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

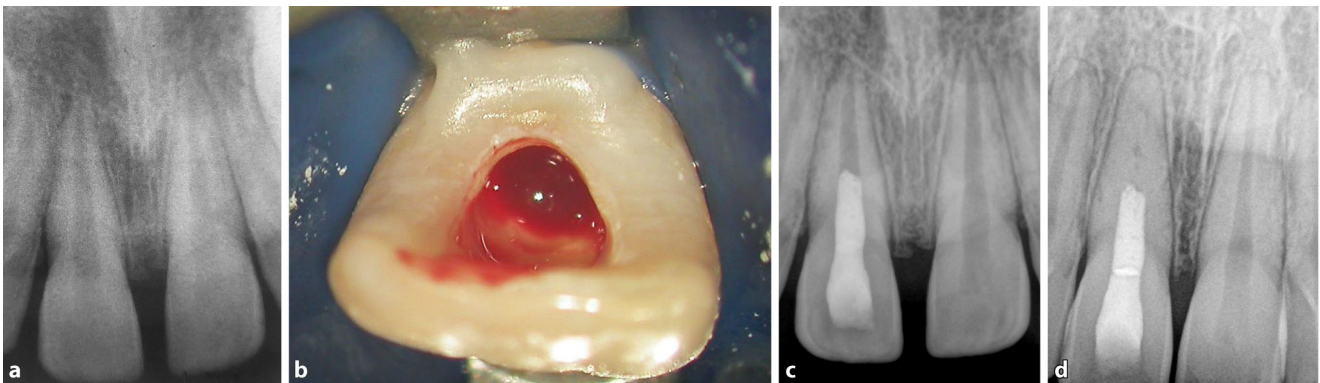


Abb. 17 ▲ Stammzelltherapie. **a** Infizierte Pulpanekrose als Folge einer Dislokationsverletzung an Zahn 11. **b** Nach Entfernung der nekrotischen Pulpa und Desinfektion wird eine apikale Blutung induziert. Das Koagel dient als Stützgewebe für das Einwandern der differenzierungsfähigen Zellen. **c** Röntgenkontrolle mit Mineral-Trioxid-Aggregat 3 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze zur Vermeidung von Verfärbungen der klinischen Zahnkrone. **d** 5-Jahres-Kontrolle mit nachweisbarem Dickenwachstum und apikaler Ausheilung. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

werden. Das Wurzelkanalsystem war mikrobiell infiziert und unvollständig gefüllt. Mesial und distal lagen Isthmen mit weichgewebigen Einlagerungen vor. Eine Sekundärkaries von distal ließ den Erhalt der vorhandenen Krone nicht zu. Im Verlauf der Therapie kam es über die Wurzelkanäle zur spontanen Entleerung klarer bis gelblicher Flüssigkeit, sodass der Verdacht auf eine infizierte radikuläre Zyste weiter begründet erschien. Nach einer Erweiterung und Desinfektion mit NaOCl, Zitronensäure, Äthanol und Chlorhexidindigluconat wurde das Wurzelkanalsystem in der gleichen Sitzung thermoplastisch verschlossen. Diskrete Sealer-Überschüsse apikal und im Bereich der Bifurkation traten technikbedingt auf (▣ **Abb. 18b**).

Bei den Nachkontrollen nach 6, 18 und 60 Monaten ließ sich auf den intraoralen Röntgenaufnahmen eine deutliche Verkleinerung der periapikalen Aufhellung nachvollziehen; 8 Jahre nach Abschluss der Therapie bestand der Verdacht auf eine fortbestehende apikale Aufhellung (▣ **Abb. 18c**). Auf der 4 × 4 cm begrenzten DVT-Aufnahme war ein gleichmäßig verfolgbare Desmodontalspalt zu erkennen. Die mesialen stufenförmigen apikalen Desmodontalspalten vermittelten auf der intraoralen Röntgenaufnahme in der bukkolingualen Projektion den Eindruck einer Aufhellung. Mit der DVT-Aufnahme konnte der Überlagerungseffekt erkannt und ein pathologischer Befund ausgeschlossen werden (▣ **Abb. 18d**). In apikaler Lage war eine etwa 3,5 mm scharf

begrenzte Aufhellung ohne Kontakt zu den Wurzelspitzen zu erkennen. Im Vergleich zur Ausgangsaufnahme kann es sich um einen noch nicht abgeschlossenen Heilungsprozess handeln. Eine Kontrolle in 2 Jahren mit einer intraoralen Röntgenaufnahme wird eine hinreichende Beurteilung erlauben, ob ein therapeutischer Eingriff erforderlich sein wird.

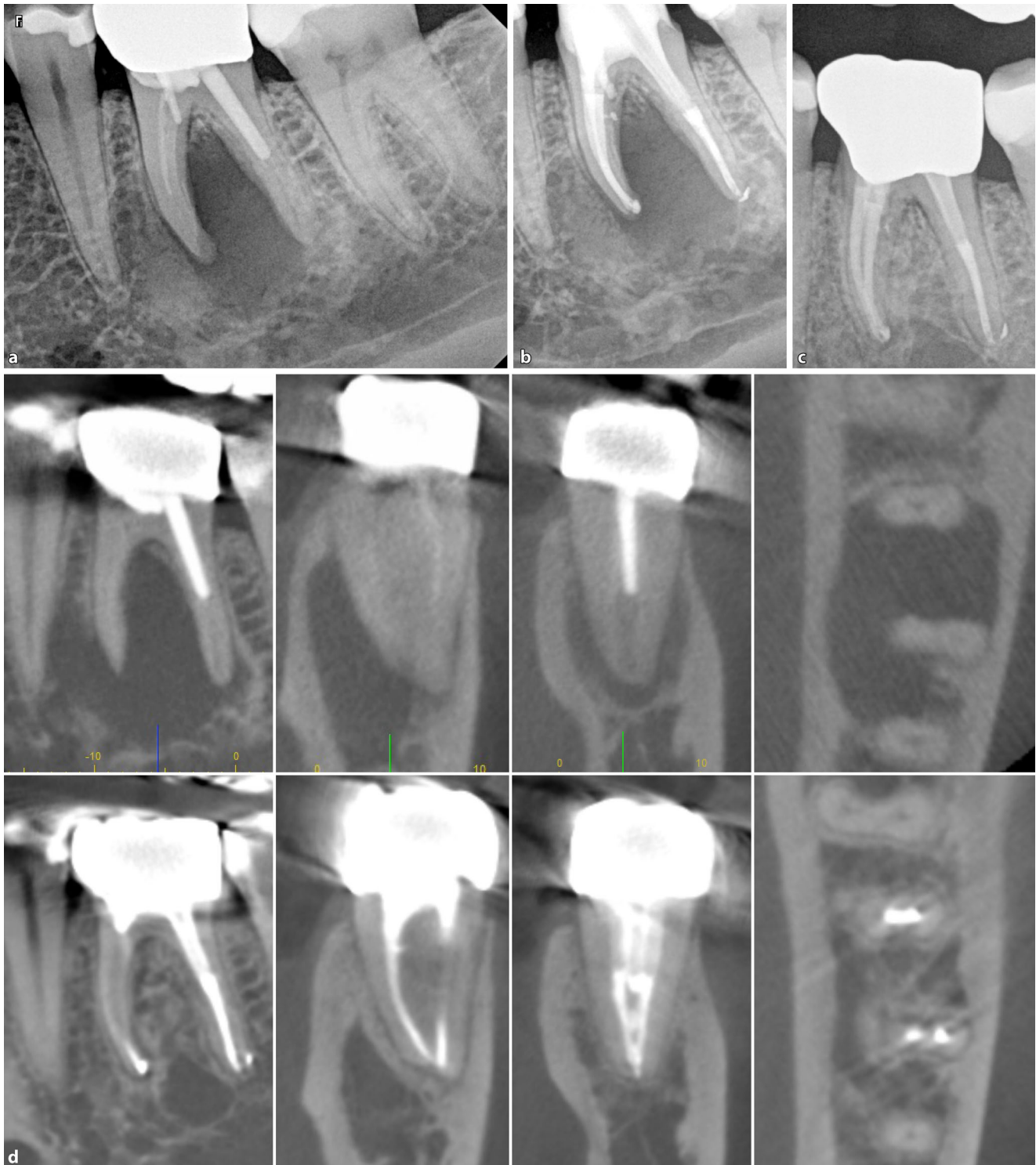


Abb. 18 ▲ Zahn 36 mit Verdacht auf radikuläre Zyste. **a** Ausgangsaufnahme mit unvollständiger Wurzelkanalfüllung und starkem Wurzelstift. Verdacht auf eine Vertikalfraktur. **b** Abschlusskontrolle nach einseitiger und vollständiger Wurzelkanalbehandlung. Keine Dentinrisse sichtbar. **c** Röntgenkontrolle nach 8 Jahren: verkleinerte apikale Aufhellung. **d** Gegenüberstellung von Ausgangs-DVT und Kontroll-DVT nach 8 Jahren: apikal kein pathologischer Befund. *DVT* digitale Volumentomographie. (Mit freundl. Genehmigung © M. Arnold, alle Rechte vorbehalten)

Fazit für die Praxis

- Die IKD ermöglicht eine genauere Befundaufnahme, Diagnostik und Fallselektion.
- Mit der kleinvolumigen und hochauflösenden DVT-Aufnahme lassen sich eine exakte Diagnostik und Kontrolle periapikaler pathologischer Prozesse durchführen.
- Die Pulpotomie oder Verfahren zur biologischen Reparatur über Revitalisierungsverfahren können den Erhalt geschädigter Zähne im Kindes- und Erwachsenenalter verbessern.
- Minimal-invasive Verfahren im Verlauf der Revision lassen sich mit NiTi-Instrumenten, Ultraschall und Dentalmikroskop nutzen.
- Die Größe der periapikalen Aufhellung ist nicht maßgeblich für den Erfolg, sondern das Erkennen der Ursache zur Bestimmung einer adäquaten Therapie.

Korrespondenzadresse



Dipl.-Stom. M. Arnold
Praxis für Endodontie und
Zahnerhaltung
Königstr. 9, 01097 Dresden,
Deutschland
info@rootcanal.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Arnold gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden vom Autor keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Kirkevang LL, Hörsted-Bindslev P, Orstavik D, Wenzel A (2001) A comparison of the quality of root canal treatment in two Danish subpopulations examined 1974–75 and 1997–98. *Int Endod J* 34:607–612
2. Eckerbom M, Flygare L, Magnusson T (2007) A 20-year follow-up study of endodontic variables and apical status in a Swedish population. *Int Endod J* 40:940–948
3. Skudutyte-Rysstad R, Eriksen HM (2006) Endodontic status amongst 35-year-old Oslo citizens and changes over a 30-year period. *Int Endod J* 39:637–642
4. Walton RE (1997) Endodontic considerations in the geriatric patient. *Dent Clin North Am* 41:795–816
5. Meirinhos J, Martins JNR, Pereira B, Baruw A, Gouveia J, Quaresma SA, Monroe A, Ginjeira A (2019) Prevalence of apical periodontitis and its association with previous root canal treatment, root canal filling length and type of coronal restoration—a cross-sectional study. *Int Endod J*. <https://doi.org/10.1111/iej.13256>
6. Nardi C, Calistri L, Grazzini G, Desideri I, Lorini C, Occhipinti M, Mungai F, Colagrande S (2018) Is panoramic radiography an accurate imaging technique for the detection of endodontically treated asymptomatic apical periodontitis? *J Endod* 44:1500–1508
7. Bürklein S (2011) DVT in der Endodontie. *Endodontie* 20:381–388
8. Arnold M (2013) Methoden zur orthograden Entfernung frakturierter Wurzelkanalinstrumente. Teil 1. *Endodontie* 22:159–169
9. Arnold M (2013) Systematik einer orthograden Fragmententfernung. Teil 2. *Endodontie* 22:257–266
10. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F (2019) European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *Int Endod J* 52:1675–1678
11. Arnold M (2009) The dental microscope—basis for new and proven methods in root canal treatment. *Endo* 3:205–214
12. Perrin P, Neuhaus KW, Lussi A (2014) The impact of loupes and microscopes on vision in endodontics. *Int Endod J* 47:425–429
13. AAE Position Statement (2012) Use of microscopes and other magnification techniques. *J Endod* 38:1153–1155
14. Schwarze T, Baethge C, Stecher T, Geurtsen W (2002) Identification of second canals in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars using magnifying loupes or an operating microscope. *Aust Endod J* 28:57–60
15. Zaugg B, Stassinakis A, Hotz P (2004) Influence of magnification tools on the recognition of simulated preparation and filling errors. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114:890–896
16. Arnold M, Friedrichs C, Tulus G, Verch S, Dennhardt H, Sanner F (2013) Intrakoronale und intrakanaläre Diagnostik (IKD). *Endodontie* 22:9–21
17. Tan BT, Messer HH (2002) The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size. *J Endod* 28:658–664
18. Tien M, Tjoa H, Zhou M, Abbott PV (2020) Comparative study of four endodontic file systems to assess changes in working length during root canal instrumentation and the effect of canal curvature on working length change. *J Endod* 46:110–115
19. Manker A, Solanki M, Tripathi A, Jain ML (2019) Biomechanical preparation in primary molars using manual and three NiTi instruments: a cone-beam-computed tomographic in vitro study. *Eur Arch Paediatr Dent*. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00474-0>
20. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R (2010) The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod* 36:679–690
21. Yared G (2008) Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 41:339–344
22. Gomes AP, Kubo CH, Santos RA, Santos DR, Padilha RQ (2001) The influence of ultrasound on the retention of cast posts cemented with different agents. *Int Endod J* 34:93–99
23. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F (2007) Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod* 33:81–95
24. Inan U, Gonulol N (2009) Deformation and fracture of Mtwo rotary nickel-titanium instruments after clinical use. *J Endod* 35:1396–1399
25. Sonntag D, Peters OA (2007) Effect of prion decontamination protocols on nickel-titanium rotary surfaces. *J Endod* 33:442–446
26. Gronthos S, Mankani M, Brahimi J, Robey PG, Shi S (2000) Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proc Natl Acad Sci* 97:13625–13630
27. Iwaya SI, Ikawa M, Kubota M (2001) Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dent Traumatol* 17:185–187
28. Zhujiang A, Kim SG (2016) Regenerative endodontic treatment of an immature necrotic molar with arrested root development by using recombinant human platelet-derived growth factor: a case report. *J Endod* 42:72–75
29. Arslan H, Ahmed HMA, Şahin Y, Doğanay YE, Gündoğdu EC, Güven Y, Khalilov R (2019) Regenerative endodontic procedures in necrotic mature teeth with Periapical radiolucencies: a preliminary randomized clinical study. *J Endod* 45:863–872
30. Cymerman JJ, Nosrat A (2020) Regenerative endodontic treatment as a biologically based approach for non-surgical retreatment of immature teeth. *J Endod* 46:44–50
31. Nosrat A, Kolahdouzan A, Khatibi AH, Verma P, Jamshidi D, Nevins AJ, Torabinejad M (2019) Clinical, radiographic, and histologic outcome of regenerative endodontic treatment in human teeth using a novel collagen-hydroxyapatite scaffold. *J Endod* 45:136–143
32. Martin G, Ricucci D, Gibbs JL, Lin LM (2013) Histological findings of revascularized/revitalized immature permanent molar with apical periodontitis using platelet-rich plasma. *J Endod* 39:138–144
33. Bukhari S, Kohli MR, Setzer F, Karabucak B (2016) Outcome of revascularization procedure: a retrospective case series. *J Endod* 42:1752–1759
34. European Society of Endodontology (2006) Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 39:921–930
35. Jimenez-Pinzon A, Segura-Egea JJ, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E, Rios-Sanos JV (2004) Prevalence of apical periodontitis and frequency of root-filled teeth in adult Spanish population. *Int Endod J* 37:167–173
36. Marques MD, Moreira B, Eriksen HM (1998) Prevalence of apical periodontitis and results of endodontic treatment in an adult, Portuguese population. *Int Endod J* 31:161–165
37. Ricucci D, Russo J, Rutberg M, Burleson JA, Spångberg LS (2011) A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 112:825–842
38. Ng YL, Mann V, Gulabivala K (2008) Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *Int Endod J* 41:1026–1046
39. Ashraf H, Milani AS, Shakeri Asadi S (2007) Evaluation of the success rate of nonsurgical single visit retreatment. *Iran Endod J* 2:69–72

40. Eyuboglu TF, Olcay K, Özcan M (2017) A clinical study on single-visit root canal retreatments on consecutive 173 patients: frequency of periapical complications and clinical success rate. *Clin Oral Investig* 21:1761–1768
41. Imura N, Pinheiro ET, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC, Souza-Filho FJ (2007) The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist. *J Endod* 33:1278–1282
42. Davies A, Patel S, Foschi F, Andiappan M, Mitchell PJ, Mannocci F (2016) The detection of periapical pathoses using digital periapical radiography and cone beam computed tomography in endodontically retreated teeth—part 2: a 1 year post-treatment follow-up. *Int Endod J* 49:623–635