

Die endodontische Revision – Aktuelle Möglichkeiten und Grenzen

Michael Arnold



Indizes

Revision, intrakoronale Befundaufnahme, Diagnostik, Fragment, Perforation, intrakanaläre Stufe, Stiftentfernung, Dentalmikroskop

Zusammenfassung

Die endodontische Revision erfordert die Korrektur aller Probleme, die bei der Erstbehandlung entstanden sind. Dazu können insuffiziente Restaurationen mit Leakage, unvollständig gefüllte Wurzelkanäle, unbehandelte Wurzelkanalstrukturen, Fragmente, Perforationen, Stufen, Obliterationen, Blockaden, Resorptionen und ein sich zumeist über mehrere Jahre etablierter mikrobieller Biofilm gehören. Mit der Entwicklung und Nutzung neuer Werkstoffe und Hilfsmittel gelingt es heute besser, Behandlungsfälle mit anatomischen oder technischen Problemen vorherbestimmbar zu lösen bzw. einer guten Prognose zuzuführen. Das erforderliche Wissen erstreckt sich nicht mehr allein über die allgemeinen Prinzipien einer Wurzelkanalbehandlung und die in eigener Praxis verwendeten Materialien, sondern umfasst die Kenntnis möglichst vieler in Anwendung befindlicher Produkte, um eine effektive und minimalinvasive Therapie realisieren zu können. Darüber hinaus sind vertiefende Kenntnisse in der Anatomie und Morphologie wichtig, um Besonderheiten frühzeitig zu erkennen und adäquat therapieren zu können. Neue Erkenntnisse in der antimikrobiellen Therapie fördern eine kontinuierliche Weiterbildung, sodass künftig traditionelle invasive Techniken mit neuen biologischen Reparaturmöglichkeiten kombiniert werden können. Dieser Zielbestimmung stehen die realen Bedingungen am Patienten häufig entgegen. Tiefe kariöse Läsionen, die sich schwer im Mund des Patienten gegen den Neuzutritt von pathologischen Mikroorganismen abdichten lassen, führen bereits in der ersten Phase der endodontischen Therapie zu Kompromissen des vermeintlich Machbaren. Dem aseptischen Zugang zu einem Wurzelkanalsystem mit idealen Bedingungen für eine mikrobielle Besiedlung wird bis heute unter den Bedingungen der vertragszahnärztlichen Tätigkeit mit den gesetzlichen Krankenversicherungen noch immer keine hinreichende Bedeutung beigemessen, sodass sich Zahnärzte immer wieder für die „überdurchschnittliche“ Anwendung des Kofferdams rechtfertigen und Honorarkürzungen erdulden müssen. Damit mikrobielle Infektionen eines primär nichtinfizierten Wurzelkanalsystems künftig besser vermieden werden können, sind dichte Aufbaufüllungen und die absolute Trockenlegung des zu behandelnden Zahnes sowohl bei der primären Wurzelkanalbehandlung als auch bei der endodontischen Revision unerlässlich.

Einleitung

Das Ziel der Wurzelkanalbehandlung besteht in der Erhaltung eines Zahnes mit einer irreversibel geschädigten Pulpa oder einem mikrobiell infizierten Wurzelkanalsystem. Dazu ist es erforderlich, das nicht mehr erhaltungsfähige oder infizierte Gewebe zu entfernen und das Wurzelkanalsystem so mechanisch zu erweitern, dass es gereinigt, desinfiziert und bakteriendicht verschlossen werden kann³⁵.

Mit der Zunahme des Lebensalters der Bevölkerung erhöht sich der Anteil an wurzelkanalbehandelten Zähnen. Gleichzeitig steigt auch der Bedarf an Revisionen von Wurzelkanalbehandlungen^{21,80}. Zu den wichtigsten Ursachen posttherapeutischer Erkrankungen gehören die Persistenz von Mikroorganismen nach der Initialbehandlung, z. B. bei unbehandelten Wurzelkanälen bzw. Wurzelkanalabschnitten, undichte koronale Restaurationen oder in seltenen Fällen Fremdkörperreaktionen und extraradikuläre Infektionen^{26,63,69,70,74}.

Im Verlauf einer posttherapeutischen endodontischen Erkrankung können zeitweise oder dauerhaft klinische Symptome auftreten. Radiografisch sind in diesen Fällen häufig fortbestehende oder neu aufgetretene apikale Veränderungen nachweisbar. Posttherapeutische Erkrankungen können aber auch dann vorliegen, wenn weder Symptome noch ein zweidimensionaler radiografischer pathologischer Befund ermittelbar sind. Entweder können apikale Aufhellungen je nach Strahlengang von Knochenstrukturen maskiert sein oder die intrakanaläre mikrobielle Infektion des Wurzelkanal-

systems hat noch keine Entzündungsreaktion im Alveolarknochen ausgelöst.

Ziel der endodontischen Revision ist es, Voraussetzungen für eine vollständige Heilung zu schaffen, um den Zahn dauerhaft zu erhalten. Indem das Wurzelkanalsystem erneut gereinigt und desinfiziert wird, können die klinischen Symptome abklingen und die periapikale Entzündung abheilen^{22,36}.

Indikation für eine Revision

Eine Revision ist in folgenden Fällen indiziert³⁶:

- wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenografischen Zeichen einer persistierenden oder neu entstandenen, endodontisch bedingten apikalen Parodontitis,
- wurzelkanalbehandelte Zähne mit klinischen Symptomen einer endodontisch bedingten apikalen Parodontitis,
- wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenografisch oder klinisch insuffizienter Wurzelkanalfüllung (z. B. mangelhafte Homogenität, nicht behandelte Wurzelkanäle oder Wurzelkanalanteile, fragwürdiges und nicht mehr indiziertes Wurzelkanalfüllungsmaterial wie z. B. Silberstifte) ohne klinische oder röntgenografische Anzeichen einer apikalen Parodontitis,
- Wurzelkanalfüllungen mit Exposition zu Mundhöhle und/oder zum kariösen Dentin,
- wurzelkanalbehandelte Zähne mit progressiv verlaufenden, externen entzündlichen Resorptionen.

Die Schritte der endodontischen Revision sind in der folgenden Übersicht (Tab. 1) aufgeführt.

Tab. 1 Gliederung der endodontischen Revision.

| | |
|-----------------------------|---|
| 1. Aseptische Vorbereitung | <ul style="list-style-type: none"> • Entfernung insuffizienter Restaurationen und Karies, anschließend bakteriendichte Aufbaufüllung • Isolation mit Kofferdam • Präparation der spezifischen endodontischen Zugangskavität mit intrakoronaler Befundaufnahme und Diagnostik (IKD) |
| 2. Problemkorrektur | <ul style="list-style-type: none"> • Entfernung intrakanalärer Füllungsmaterialien • Entfernung, Überwindung und/oder Korrektur iatrogenen Problem (Fragmente, Stufen, Blockaden) • Darstellung unbehandelter Wurzelkanäle |
| 3. Antibakterielle Therapie | <ul style="list-style-type: none"> • mechanische Erweiterung des Wurzelkanalsystems • Desinfektion und Verschluss des Wurzelkanalsystems und möglicher Perforationen • Sicherung vor Rekontamination mit dentinadhäsivem Verschluss |

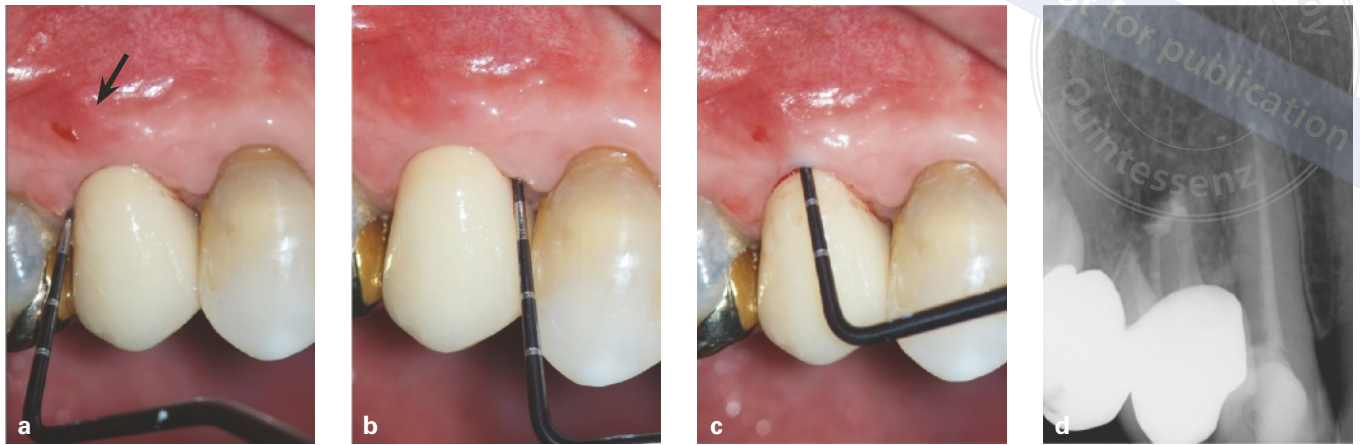


Abb. 1a bis d Am überkronten Zahn 14 mit einer Wurzelkanalbehandlung persistiert eine Fistel (s. Pfeil). Während der Kontrolle der Sulkussondierungswerte wird bei sonst unauffälligen Werten (a und b) bukkal ein tiefer Einbruch von 7 mm (c und d) messbar.

Aseptische Vorbereitung

Die Befundaufnahme und kritische Fallprüfung erlangt die entscheidende Bedeutung für den angestrebten Erfolg der Therapie. Zur Prüfung der Erhaltungsfähigkeit eines Zahnes im Rahmen einer oralen Rehabilitation werden neben der allgemeinen und speziellen zahnmedizinischen Anamnese die zahnbezogenen Befunde erhoben. Der axiale und horizontale Perkussionstest ermöglicht die Differenzierung parodontaler und apikaler Entzündungsprozesse. Der Grad der Zahnbeweglichkeit und die an mindestens 6 Punkten ermittelten Sulkussondierungswerte geben einen ersten Überblick über den parodontalen Zustand. Eng begrenzte, hohe isolierte Sondierungswerte bzw. tiefe Zahnfleischtaschen können ein Hinweis auf eine Vertikalfraktur sein, sodass zahnerhaltende Therapieversuche erfolglos bleiben (Abb. 1a bis d). Sensibilitätstests vor einer Revision sind meist nicht notwendig oder erlangen keine Bedeutung, weil Restaurationen und Aufbaufüllungsmaterialien eine Reizweiterleitung hemmen.

Ergänzend sind Röntgenaufnahmen erforderlich, um die Anatomie und die Pathologie des betroffenen Zahnes und seiner umliegenden Gewebe zu ermitteln. Die digitale Volumentomografie (DVT) erweitert die diagnostischen Möglichkeiten sowie die Planung und Realisierung minimalinvasiver Eingriffe vor allem an mehrwurzligen Zähnen^{17,54}. Die Kombination der radiografischen Diagnostik mit dem klinischen

Einsatz eines Dentalmikroskops ermöglicht das Reproduzieren der radiografischen Befunde aus dem DVT (Abb. 2a bis d). Es können besser minimalinvasive Strategien geplant werden, um Obliterationen oder Stufen zu überwinden, schwierige Wurzelkanalanatomien zu erkennen, Fragmente zu entfernen oder Perforationen exakt zu verschließen^{9,12}.

Intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik (IKD)

Nach Entfernung der Aufbaufüllungsmaterialien und Präparation der sekundären endodontischen Zugangskavität sind mechanische, thermische oder elektrische Reize durch den Patienten spürbar, sodass Wurzelkanäle mit partiell erhalten gebliebener Pulpa ermittelt werden können (Abb. 3a und b).

Die Beschaffenheit des Dentins kann unter Vergrößerung mit dem Dentalmikroskop auf farbliche Veränderungen und Risse geprüft werden, sodass die Ausdehnung der Karies oder strukturelle Ermüdungen des Dentins rechtzeitig erkannt werden können⁵. Damit wird bereits vor Beginn der endodontischen Therapie eine bessere prognostische Beurteilung möglich⁷.

Mit der Bestimmung der tatsächlich vorhandenen und der bislang gefüllten Wurzelkanäle sowie der Art des verwendeten Wurzelfüllmaterials kann die weitere Schwierigkeit ermittelt werden. Insbesondere korrodierte Silber- und Thermafil-Stifte sowie formaldehydhaltige Zemente erschweren eine Revision.

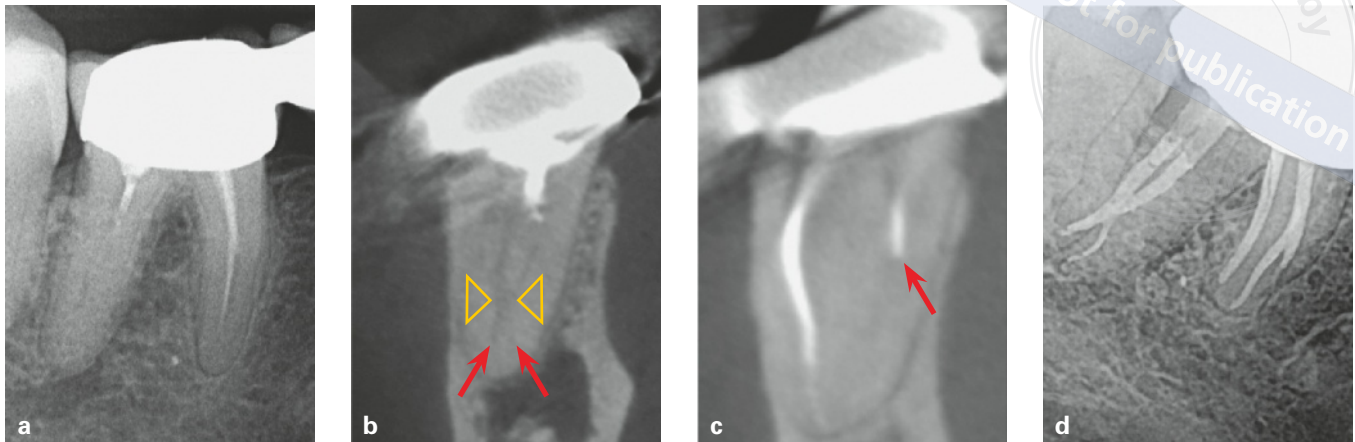


Abb. 2a bis d Ausgangsröntgenaufnahme von Zahn 47 mit persistierenden Schmerzen nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung. Die Wurzelkanäle sind unvollständig gefüllt und erscheinen vollständig obliteriert. Es besteht der Verdacht auf eine apikale Aufhellung an der distalen Wurzel (a). Digitale Volumentomografie (DVT)-Aufnahme der distalen Wurzel in frontaler Projektionsebene: Eine apikale Aufhellung ist nicht nachweisbar. Zwei konfluierende und erneut divergierende Wurzelkanäle (Typ VI nach Vertucci) sind erkennbar (b). DVT-Aufnahme der mesialen Wurzel in frontaler Ebene. Mesiobukkal ist ein mehrfach gekrümmter, teilweise gefüllter Wurzelkanal, lingual ein lediglich im koronalen Wurzeldrittel gefüllter Wurzelkanal mit Stufen sichtbar (c, s. Pfeil). Mit den Informationen aus der DVT lässt sich unter dem Mikroskop das Wurzelkanalsystem vollständig erweitern und verschließen (d).

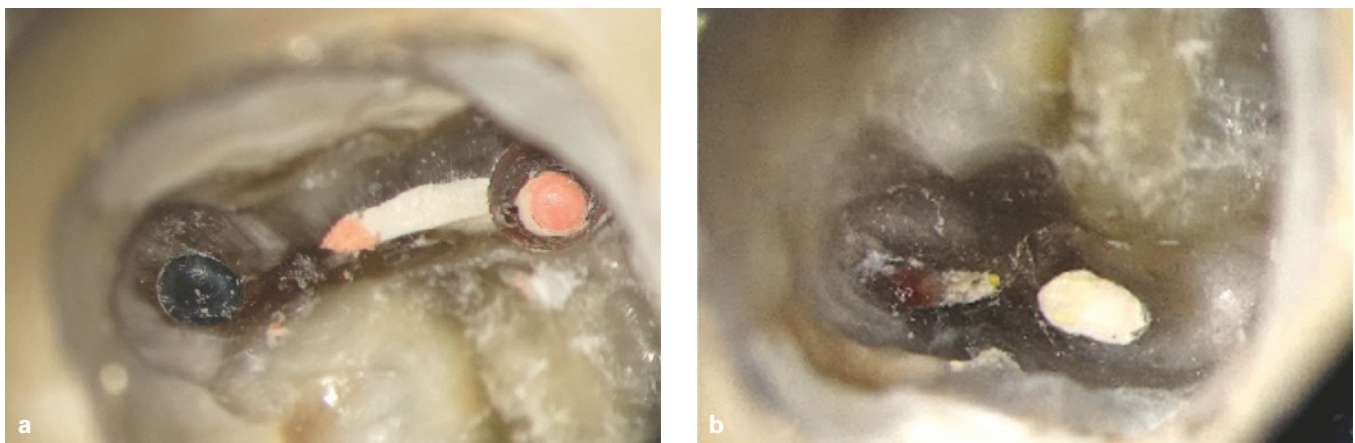


Abb. 3a und b Intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik (IKD) von Zahn 47 (vgl. Abb. 2). Mesiobukkal sind bei 8-facher Vergrößerung ein Kunststoffträger einer Thermafil-Wurzelkanalfüllung mit minimaler Ummantelung von Guttapercha, ein mit Sealer teilweise ausgeflossener Isthmus und mesiolingual ein mit Guttapercha gefüllter Wurzelkanal sichtbar (a). Der distolinguale Wurzelkanal blieb unbehandelt. Es lässt sich blutendes und sensibles Pulpagewebe nachweisen. Der distobukkale Wurzelkanaleingang wurde mit Sealer gefüllt (b).

Perforationen können visuell differenziert werden, indem der Verlauf der Dentinkanälchen und die Dentinarten in Beziehung zum Wurzelkanal verglichen werden (Abb. 4a bis c). Die Endometrie kann als diagnostisches Hilfsmittel genutzt werden, um beispielsweise eine Perforation, einen Seitenkanal

oder eine perforierende Resorption zu differenzieren und auf die Ausdehnung zum Parodont zu prüfen^{4,75}.

Sklerotisches Dentin und Kalzifikationen können in der Ausdehnung und Lage erkannt werden, damit diese zur Freilegung des Wurzelkanalsystems minimalinvasiv entfernt werden können¹⁰.



Abb. 4a bis c Am Zahn 37 traten nach mehreren Jahren der Beschwerdefreiheit nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung Aufbissbeschwerden auf. Auf der Röntgenaufnahme ist eine unvollständige Wurzelkanalfüllung erkennbar mit einer atypischen Ausdehnung in Richtung Bifurkation. Es besteht der Verdacht auf eine iatrogene Perforation (a). Im Verlauf der IKD lässt sich distal eine kreisrunde Bohrung gefüllt mit Guttapercha erkennen. Der distale Wurzelkanal wurde über eine *via falsa* präpariert und gefüllt. Der eigentliche obliterierte Wurzelkanaleingang liegt weiter distal (b, s. Pfeile). Zur Sicherung der Verdachtsdiagnose der Perforation wurde die Endometrie genutzt. Nach Säuberung und Desinfektion der Perforation gelang eine vollständige Wurzelkanalfüllung (c).

Entfernung von Restaurationen

In Vorbereitung auf eine Revision ist es empfehlenswert, insuffiziente Restaurationen und Stifte zu entfernen^{1,64}. Dies ist immer dann erforderlich, wenn eine Fraktur bzw. eine Lockerung der Restauration, eine Sekundärkaries oder eine intrakanaläre mikrobielle Infektion vorliegt sowie ästhetische und funktionelle Gründe eine Entfernung rechtfertigen und wenn eine intrakanaläre mikrobielle Infektion besteht (Abb. 5a bis c). Durch die vollständige Entfernung von Restaurationen verbessert sich die Gesamtbeurteilung über die verbliebene Zahnhartsubstanz. Insbesondere bei Wurzeln, die mit Stiften versorgt wurden, liegen häufiger Frakturen vor^{24,44} (Abb. 6). Die Früherkennung von Frakturen oder unbehandelten Wurzelkanalanteilen nach orthograde Entfernung von Stiftsystemen kann unter Nutzung eines Dentalmikroskops die prognostische Beurteilung verbessern⁴².

Liegt klinisch und radiologisch ein scheinbar suffizienter Randschluss vor, sollte der Erhalt der Restauration auch nach der Präparation der endodontischen Zugangskavität überprüft werden.

In Einzelfällen können im Verlauf einer Teilrevision Krone und Stifte belassen werden, wenn sichergestellt werden kann, dass keine mikrobielle Infektion vorliegt und die Wurzelkanäle vollständig gefüllt sind. Für eine exakte radiologische Diagnostik emp-

fehlt sich die Anfertigung einer kleinvolumigen DVT-Aufnahme.

Ein wichtiges Kriterium für die Entfernbarkeit von Stiften ist die Art der Befestigung³². So können grundsätzlich aktiv in das Dentin geschraubte Stifte von passiv zementierten Stiften unterschieden werden. Einer Umfrage in Deutschland zufolge wurden noch im Jahr 2002 von 47 % der befragten Zahnärzte aktive Schraubensysteme verwendet⁵².

Je nach verwendeter mikroretentiver Oberfläche, Befestigungszement, Durchmesser und Insertionstiefe können sich die Stifte in ihrer Haftkraft zum Dentin unterscheiden^{25,27,59}. Andere Studien belegen, dass die Art des Befestigungszements keinen signifikanten Einfluss auf die Befestigung bzw. Entfernbarkeit haben³². Eine Ursache kann die Verwendung von unterschiedlichen Geräten mit unterschiedlichen Ultraschallansätzen sein, sodass die Ergebnisse in den Studien variieren^{11,19}.

Als besonders schwierig zu entfernen gelten individuell gefertigte Stiftstumpaufbauten mit Retentionsmanschette und dentinadhäsiv befestigte lange Keramikstifte⁶².

Entfernung konfektionierter Stifte mit und ohne Gewinde

Es hat sich grundsätzlich bewährt, den metallischen oder keramischen Stift komplett bis zur Befestigungsfuge frei zu präparieren (Abb. 7a bis e). Erst

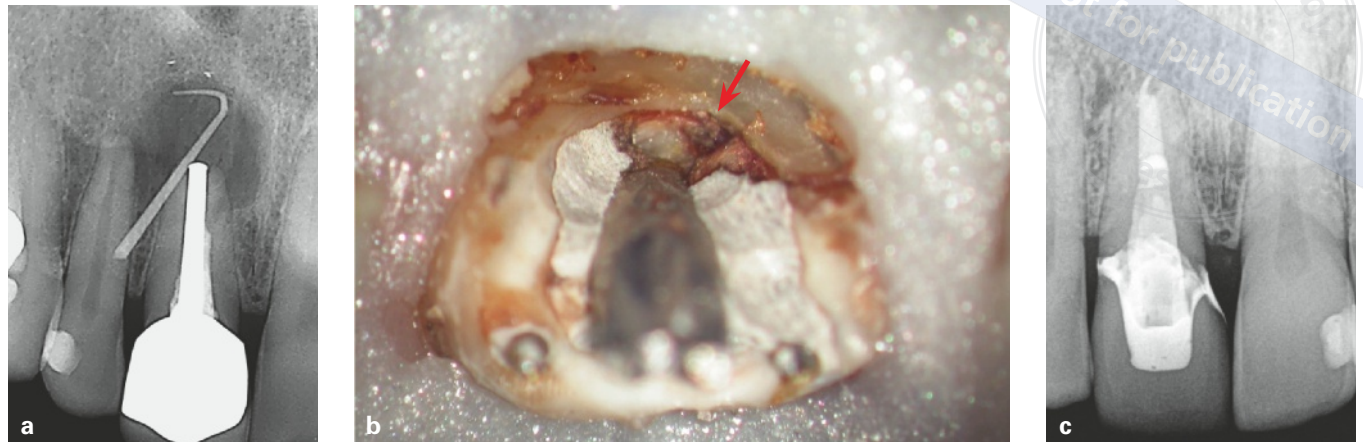
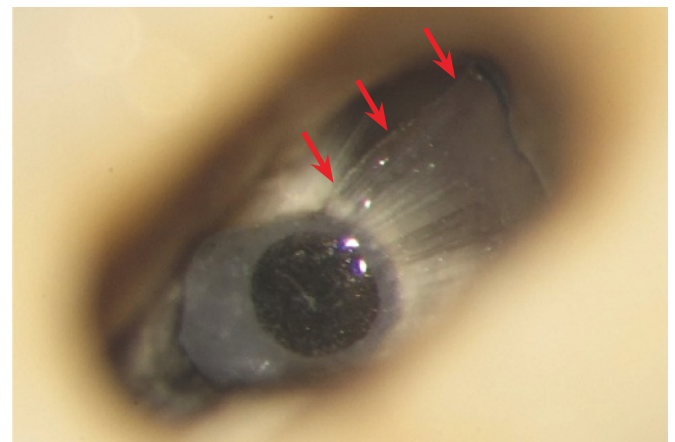


Abb. 5a bis c Die Fisteldarstellung mit einem Guttapercha-Point am Zahn 11 weist auf eine ausgedehnte periapikale Aufhellung an der resezierten Wurzelspitze. Die Erhaltung des Zahnes erscheint aussichtslos. Es liegen keine pathologischen Sondierungswerte vor (a). Nach Entfernung der Krone wird der Grund für die persistierende intrakanaläre Infektion sichtbar. Palatinal lag ein mit Weichgewebe teilweise gefüllter Spalt zwischen Wurzelkanalwand und Stift vor (b, s. Pfeil). 10 Jahre nach orthograde Revision und Restauration mit einem Glasfaserstift ist der Zahn 11 weiterhin in Funktion bei vollständiger Remission der apikalen Aufhellung (c).

Abb. 6 IKD-Befund von Zahn 14 (vgl. Abb. 1) nach Entfernung der Aufbaufüllung und Reduktion des Glasfaserstiftes 1 mm unterhalb des Wurzelkanaleinganges ist nach Anfeuchtung des Dentins bei 20-facher Vergrößerung ein Riss erkennbar. Der Verlauf der Dentinkanälchen ist klar vom Dentinriss (s. Pfeil) zu differenzieren. Die Prognose des Zahnes mit einem Wurzeldentinriss ist schlecht. Die Extraktion ist die Therapie der Wahl.



dann kann beurteilt werden, ob und wie tief eine minimalinvasive Freilegung des Stiftes auch innerhalb des Wurzelkanals erfolgen kann. Eine tiefergehende Freilegung des Stiftes ist vor allem bei ovalen oder schlitzförmigen Wurzelkanalquerschnitten ohne großen Dentinabtrag möglich. Es können dazu wahlweise Ultraschallfeilen vom Typ K in den Größen ISO 15 bis 25 genutzt werden (IrriK, Fa. VDW, München).

Unabhängig von Art und Material des Stiftes oder des benutzten Befestigungszements kann der Verbund zwischen Stift und Zement gelöst werden. Dazu wird der Stift durch umkreisende Bewegungen unter Zufuhr von Wasserkühlung mit Ultraschall aktiviert. Ultraschall wird in einer Frequenz

von 25 bis 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 Energiezufuhr eine stärkere Vibration bei geringerer Wärmeentwicklung erzielt⁵⁵. Die Vibrationen setzen sich über den Stift auf den Zement fort und desintegrieren so die Verbindung zwischen Stift und Zement. Eine Ausnahme bilden Glasfaserstifte.

Insbesondere bei Schraubensystemen sollte erst dann ein Schlüssel zur drehenden Entfernung benutzt werden, wenn sich der Stift nach Ultraschallaktivierung erkennbar bewegt. Damit können Spannungen auf das Dentin und zusätzliche Risse vermieden werden.

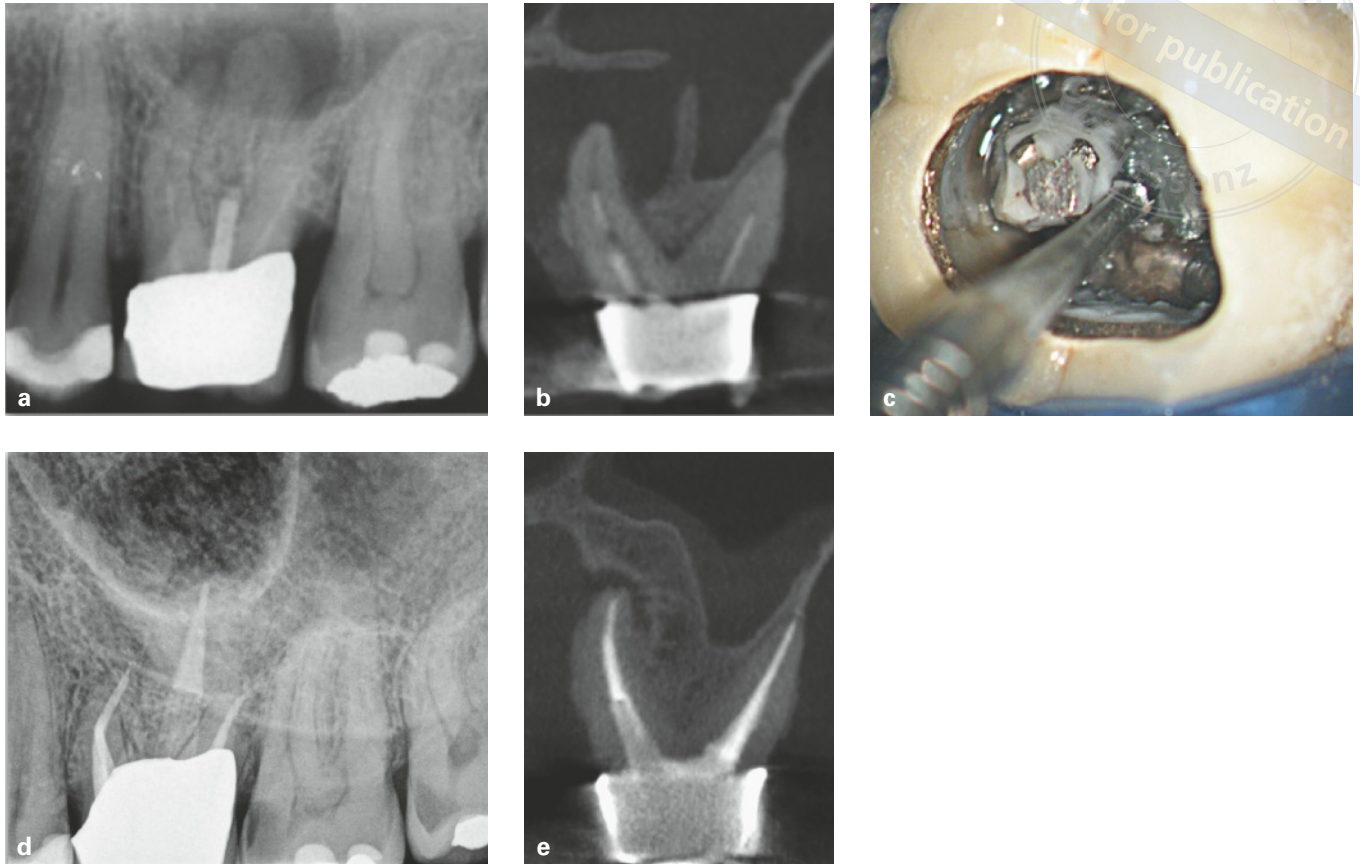


Abb. 7a bis e Röntgenausgangsaufnahme von Zahn 26 mit unvollständiger Wurzelkanalfüllung und einem zylindrischen Stift in der palatinalen Wurzel (a). DVT-Aufnahme in frontaler Projektionsebene mit Darstellung einer ausgedehnten periapikalen Aufhellung palatinal und Verbindung zum Sinus maxillaris (Fistel, b). Der Kompositaufbau wurde mit einem Langschaftrosenbohrer 012 bis zum Wurzelkanaleingang reduziert, bevor der konfektionierte Stift mit Ultraschall gelockert und entfernt werden konnte (c). Nach 2 Jahren ist bei vollständiger Wurzelkanalbehandlung keine apikale Aufhellung mehr erkennbar (d). Im Vergleich zur Ausgangssituation lässt sich im DVT im Vergleich zum Ausgang die Wiederherstellung der Begrenzung der Kieferhöhle und ein Zuwachs/Regeneration der knöchernen Befestigung erkennen (e).

Individuell gefertigte und gegossene Stiftstumpfaufbauten

Individuell gegossene Stiftstumpfaufbauten zeichnen sich häufig mit einer tiefen Retention des Stiftes auf zwei Drittel der Wurzellänge und einer tiefen Retentionsmanschette aus. In Abhängigkeit zur koronalen Restzahnhartsubstanz muss entschieden werden, ob eine auf den Stiftaufbau begrenzte Entfernung möglich oder eine retrograde Therapie besser für den Erhalt der verbliebenen Zahnhartsubstanz ist.

Die Entfernung von metallischen Aufbauten ist mit der Freisetzung von Metallspänen verbunden und sollte deshalb optimal unter Kofferdam erfolgen, um eine Aspiration oder das Verschlucken metallischer Fragmente zu vermeiden.

Es besteht das Ziel, den Stift so freizulegen, dass nach Möglichkeit keine weitere Zahnhartsubstanz entfernt wird. Mit graziilen Hartmetallfräsen (H48XLO oder H135, Fa. Komet, Lemgo) und spitzen Präparationsdiamanten wird der Aufbau geteilt und aus dem inneren Präparationskasten entfernt. Die Freilegung ist dann abgeschlossen, wenn die Zementierfuge zu erkennen ist (Abb. 8a bis c). Mit einer ersten Ultraschallaktivierung kann das Verhalten des Befestigungszements kontrolliert werden. Löst sich der Zement nicht nach einer Ultraschalleinwirkung von 30 Sek., sollte die Fuge mit graziilen Ultraschallfeilen freigelegt werden. Dabei genügt es in Abhängigkeit von der Anatomie des Wurzelkanals, dem Stift einseitig Platz für eine verbesserte Weiterleitung der Schwingung zu verschaffen. Der freige-

legte Stift kann dann durch kontinuierliches Umkreisen mit einem Ultraschallscaler und zeitweiser Wasserzufuhr gelockert und entfernt werden²⁹.

Keramikstifte

Das E-Modul von Keramikstiften ist etwa zehnmal höher als das des Dentins³¹. Die Härte des Materials verringert die Möglichkeit der Fraktur des Stiftes, erhöht jedoch die Gefahr einer Wurzelfraktur. Das Reduzieren der Stifte im Durchmesser ohne Abtrag von Wurzelentin ist aktuell aufgrund fehlender geeigneter Instrumente nur sehr schwer möglich. Das Beschleifen und Aktivieren mit Ultraschall können darüber hinaus das Dentin und das Parodontium durch die Wärmeentwicklung schädigen. Dentinrisse konnten nach Entfernung mit Ultraschall vermehrt bei Keramikstiften nachgewiesen werden⁶², sodass bei

langen massiven Keramikstiften eine retrograde chirurgische Therapie als Alternative zu prüfen ist.

Das Standardverfahren zur Entfernung relativ kurzer keramischer Stifte ist die Anwendung von Ultraschall mit Wasserkühlung. Aufbaufüllungsmaterialien sollen dazu vollständig entfernt werden. Ein Ultraschallscaler kann dann unter Wasserkühlung den Kompositverbund zwischen Stift und Dentin bei regelmäßiger Umkreisung ermüden und lösen.

Im Fall einer Stiftfraktur kann der Versuch unternommen werden, am Stift vorbei einen Pfad zu präparieren, der mit Ultraschallfeilen minimal erweitert wird, sodass der Keramikstift mit Ultraschall aktiviert und lateral luxiert werden kann¹³. Ein solches Verfahren sollte jedoch nur dann genutzt werden, wenn die Anatomie des Wurzelkanals oval oder schlitzförmig ist (Abb. 9a und b).

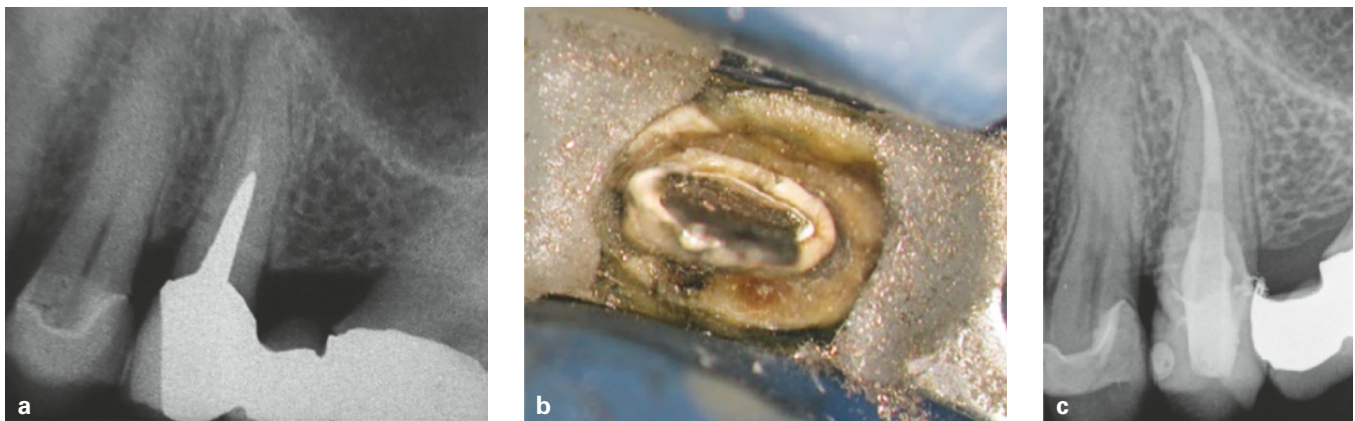
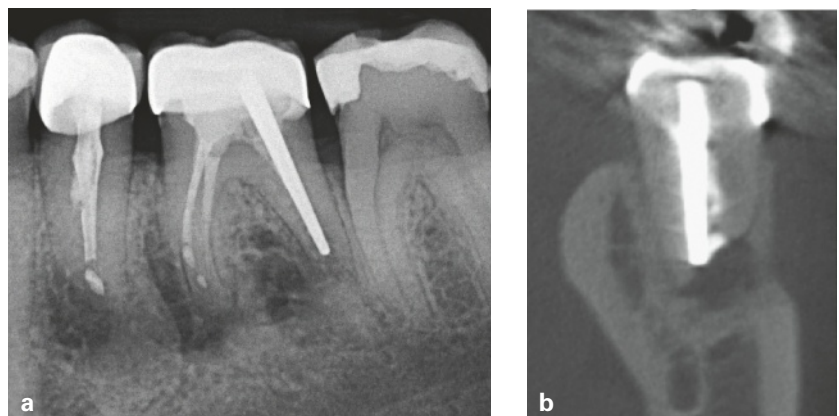


Abb. 8a bis c Am Zahn 25 wird eine Revision in Vorbereitung auf eine prothetische Neuversorgung notwendig. Es liegt eine unvollständige Wurzelkanalfüllung vor bei Vorhandensein einer apikalen Aufhellung (a). Zur erleichterten Entfernung des gegossenen Stiftstumpfaufbaus nach Kronenentfernung wird der Stumpfaufbau bis zur Retentionsmanschette reduziert. Erst wenn die Zementierungsfuge entlang des Wurzelkanalquerschnittes freiliegt, sollte eine ultraschallaktivierte Lockerung des Befestigungszements erfolgen (b). In der Abschlusskontrolle ist im Vergleich zur Ausgangssituation die minimalinvasive Entfernung und Erneuerung des Stiftaufbaus nach endodontischer Revision erkennbar (c).

Abb. 9a und b Die Entfernung eines Keramikstiftes in der distalen Wurzel von Zahn 36 erscheint aufgrund der tiefen Befestigung nicht möglich zu sein (a). Auf der DVT-Aufnahme in frontaler Projektionsebene der distalen Wurzel ist erkennbar, dass bukkal vom Stift ausreichend Platz für eine Freilegung und damit Entfernung besteht. Eine erneute chirurgische Intervention kann mit der orthograden Revision vermieden werden (b).



Entfernung von Glasfaserstiften

Die Ultraschalltechnik kann zur Entfernung von Glasfaserstiften nicht effektiv genutzt werden, da die Schwingungen gedämpft werden und lediglich das Stiftmaterial ermüdet und frakturiert. Die Ursache hierfür ist das etwa dem Dentin gleiche E-Modul.

Einige Hersteller bieten Entfernungskits zum Ausbohren von Glasfaserstiften an. Es handelt sich dabei um Bohrer mit schneidender Spitze in Kombination mit einem Vorbohrer, z. B. DT Post Removal Kit (Fa. VDW). Bei fehlender Sichtkontrolle besteht die Gefahr einer apikalen oder lateralen Perforation.

Bewährt haben sich auch Langschaftrosenbohrer vom Typ Munce (Fa. CJM Engineering, Santa Barbara, CA, USA) oder Endo Access Burs (Fa. Meisinger, Neuss) in den Größen 005 bis 012. Bei trockener Präparation kann der Verlauf des transparenten Stiftquerschnittes unter Nutzung von optischer Vergrößerung mittels Dentalmikroskop gut vom umliegenden Dentin differenziert werden (vgl. Abb. 6). Für ein minimalinvasives Arbeiten empfiehlt sich dafür der Einsatz eines Dentalmikroskops⁸¹.

Problemkorrektur

Entfernung intrakanalärer Füllungsmaterialien

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.

Die Wahl des geeigneten Instrumentes erfordert vor dem klinischen Einsatz Übung am extrahierten Zahn, um die jeweiligen Belastungsgrenzen und Möglichkeiten zu testen. Zur Entfernung von Wurzelkanalfüllungen aus Sealer, Guttapercha und Kunststoffträgern eignen sich NiTi-Instrumente, die axial belastet werden können und eine gute Schneidleistung aufweisen. Grazile Gleitpfadinstrumente mit einer 2 bis 3%igen Konizität sind für eine axiale Belastung weniger gut geeignet, da die Instrumente bei erhöhtem axialen Druck gestaucht werden. Kombinationstechniken im Einsatz rotierender und alternierender NiTi-Instrumente ermöglichen eine effiziente Entfernung alter Wurzelfüllungsmaterialien⁶⁰. Eine

rückstandsfreie Entfernung von Wurzelfüllungsmaterialien gelingt mit mechanischen Hilfsmitteln nicht.

Die im Vergleich zu Handinstrumenten deutlich schnellere Rotation der maschinellen Instrumente verdrängt mehr Füllungsreste in Isthmen und verstopft die Dentintubuli^{34,82}. Der Einsatz von Lösungsmitteln vereinfacht zwar das Eindringen der Instrumente in das zu entfernende Material und schont die Instrumente, verschlechtert jedoch die Reinigung der Wurzelkanäle^{60,65} (Abb. 10a bis c). Die initiale maschinelle Präparation eines Pfades neben dem Wurzelfüllungsmaterial und die anschließende komplette Entfernung des Wurzelfüllungsmaterials mit einer Hedströmfeile erscheint deshalb besser geeignet zu sein (Abb. 11a und b). Anhaftende Sealeranteile können im Anschluss mit Ultraschall unter Verwendung von Chelatoren entfernt werden, bevor die fortgesetzte mechanische Erweiterung erfolgt. Damit kann es gelingen, weniger mikrobiell infizierte Hart- und Weichgewebe in schwer erreichbare Hohlräume zu verdrängen.

Bei der Auswahl der NiTi-Instrumente kann die Form der Instrumentenspitze einen Einfluss auf die Entfernung des Füllungsmaterials haben (Abb. 12a bis c). Aktive Spitzen haben den Vorteil, leichter in das Füllungsmaterial einzudringen, bergen jedoch die Gefahr in gekrümmten Wurzelkanalanteilen Stufen zu präparieren oder vorhandene Abweichungen im Originalverlauf zu verstärken.

Es empfiehlt sich in der ersten Etappe, lediglich das alte Füllmaterial zu entfernen und erst nach der koronalen konischen Erweiterung den bislang unbearbeiteten apikalen Anteil zu erschließen und zu erweitern. Thermisch veränderte NiTi-Legierungen wie z. B. bei WaveOne Gold small (Fa. Dentsply Sirona, Bensheim) oder Reciproc blue 25 (Fa. VDW) lassen sich einfacher vorbeugen, sodass Stufen und Krümmungen nach einer Gleitpfadpräparation leichter überwunden werden können (Abb. 13a und b). Auch hier kann die unterschiedliche Spitzengestaltung der Instrumente einen Einfluss auf den Erfolg haben (Abb. 14a und b).

Zur Entfernung von Fragmenten und zur Überwindung von Blockaden und Stufen wird Ultraschall empfohlen. Schallaktivierte Stahlinstrumente ermöglichen einen gezielten Abtrag von Zahnhartsubstanz. Durch das Vorbiegen können sie mit ge-

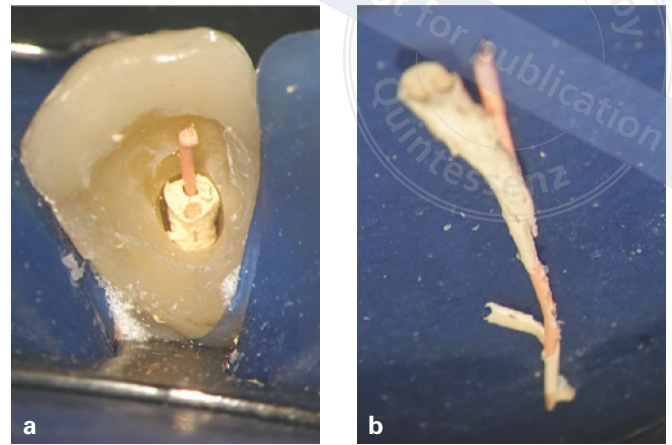


Abb. 11a und b Zahn 22 mit präparierter endodontischer Zugangskavität. Die Wurzelkanalfüllung ließ sich in toto mit einer Hedströmfeile von der Wurzelkanalwand lösen (a) und entfernen (b).

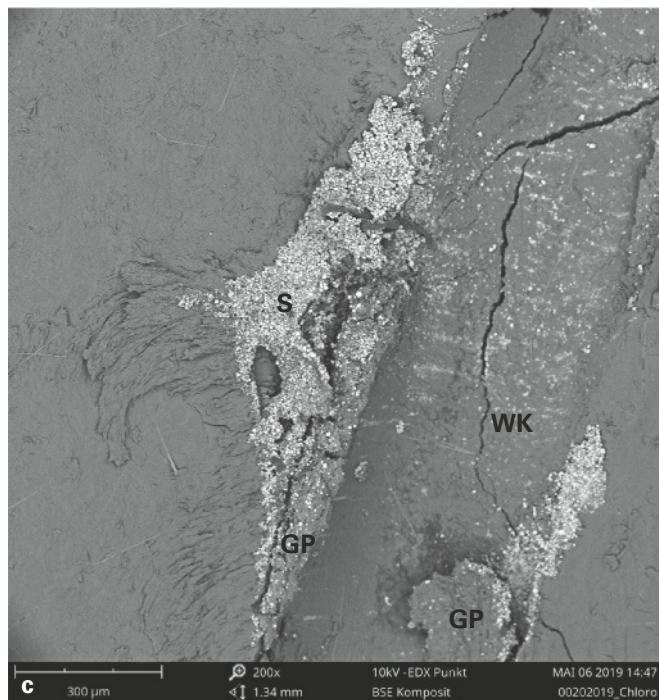


Abb. 10a bis c In-vitro-Untersuchung am Unterkiefermolaren zur Reinigungswirkung einer chemomechanischen Aufbereitung unter Anwendung von Lösungsmittel: Ansicht auf mesial gefüllte Wurzelkanäle (a), nach Entfernung der Wurzelkanalfüllung (b), Rasterelektronenmikroskop (REM)-Aufnahme in 200-facher Vergrößerung (Phenom XL, Fa. Phenom-World, Eindhoven, Niederlande), Ansicht des apikalen Wurzelmittels. Die Wurzelkanalwand (WK) ist komplett mit „Smear layer“ bedeckt. Im Bereich des Isthmus lagern eingeschwemmte Füllkörper des Sealers (S) mit Resten von Guttapercha (GP).

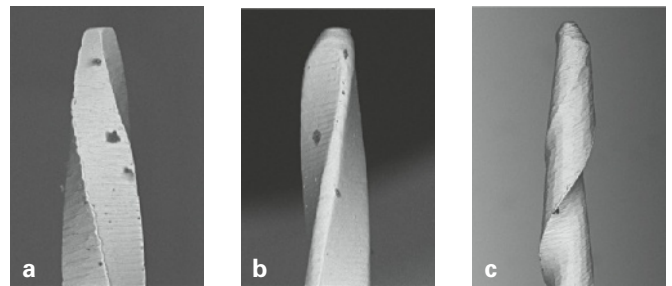


Abb. 12a bis c Drei verschiedene Nickel-Titan (NiTi)-Feilen mit einem Spitzendurchmesser von 0,15 mm, aber unterschiedlicher Geometrie in Spitzendesign und Schneidekantengestaltung führen zu einem veränderten Schneidverhalten bei der Entfernung von Füllungsmaterialien: WaveOne Gold Glider (Fa. Dentsply Sirona, Bensheim) mit einer kantigen Struktur der Spitze und Schneidekante lässt ein gutes Schneidverhalten erwarten (a). ProFile (Fa. Dentsply Sirona) weist eine grazilere Spitze auf, sodass ein verbessertes Eindringen in obliterierte und gefüllte Wurzelkanalanteile möglich wird. Die Schneidekanten sind passiv, sodass eine gute Kanalzentrierung resultiert. Füllungsmaterialien werden nur verdrängt (b). VDW.Rotante (Fa. VDW, München) hat eine schneidende Spitze und scharfe Schneidekanten für ein gutes Schneidverhalten zur Entfernung von Füllungsmaterialien. Nach jedem zweiten Schneidekantenabstand ist der Querschnitt dünner und damit weniger belastungsfähig in engen Wurzelkrümmungen. Die scharfen Schneidekanten können Wurzelkanalkrümmungen schneller begradigen (c).

ringer Intensität genutzt werden, um frakturierte Instrumente im Wurzelkanal freizulegen und zu entfernen¹⁶ (Abb. 15a bis c). Weitere Hilfsmittel können die minimalinvasive Entfernung begünstigen. Wäh-

rend im koronalen Wurzelmittels Ultraschall oder das Instrument Removal System (IRS, Fa. SDSwiss, San Diego, CA, USA) in Anwendung gebracht werden können, eignen sich Umschlingungstechniken mit



Abb. 13a und b Zur Überwindung einer intrakanalären Stufe am Zahn 15 erfolgte zunächst die Entfernung der alten Wurzelkanalfüllung, dann die konische Erweiterung bis zur Stufe und erst dann die Überwindung der Stufe mit vorgebogenen Hand- und maschinellen Instrumenten (a). Nach einer konischen Erweiterung in Step-back-Technik mit NiTi-Instrumenten gelang eine vollständige Wurzelkanalfüllung trotz ausgeprägter apikaler Wurzelkrümmung (b).

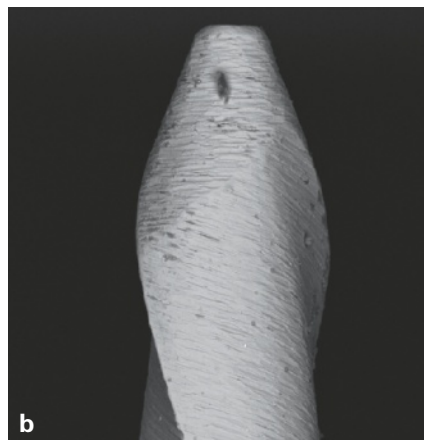
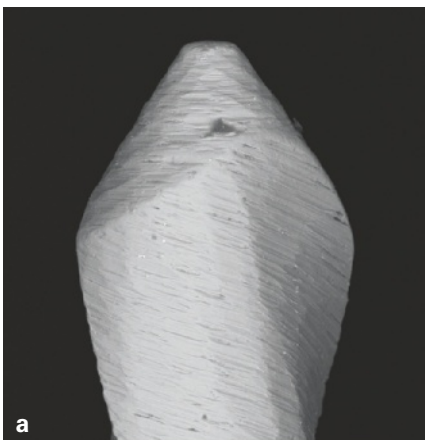


Abb. 14a und b Zwei zur reziproken Bewegung hergestellte NiTi-Feilen mit einer Größenbezeichnung von ISO 25 weisen trotzdem unterschiedliche Spitzengestaltungen auf: Die R25-Feile (a) weist im Gegensatz zu der thermisch nachbehandelten Feile R25 blue (b, beide Fa. VDW) einen stumpferen Winkel der Instrumentenspitze auf. Die Veränderung in der Spitze der R25 blue ermöglicht damit ein leichteres Eindringen in den Wurzelkanal und das zu entfernende Wurzelfüllmaterial.

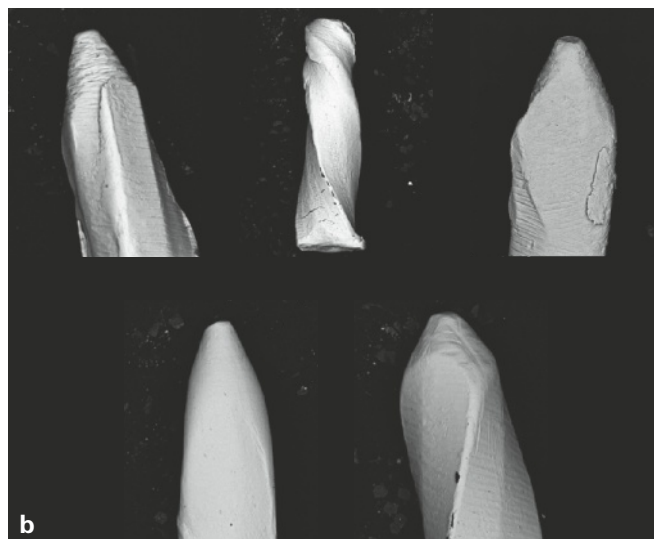


Abb. 15a bis c Nach dem vergeblichen Versuch eines Vorbehandlers, eine Wurzelkanalfüllung zu revidieren, frakturierten mehrere Instrumente innerhalb einer via falsa (a). Unter Sicht mit dem Dentalmikroskop konnten 5 Fragmente mit Ultraschalltechnik entfernt und unter dem REM auf den Verschleiß geprüft werden. Alle Instrumente wiesen Spuren einer Torsionsüberbelastung auf (b). Die Revision der Wurzelkanalfüllung und die Entfernung der Fragmente gelang vollständig und minimalinvasiv (c).

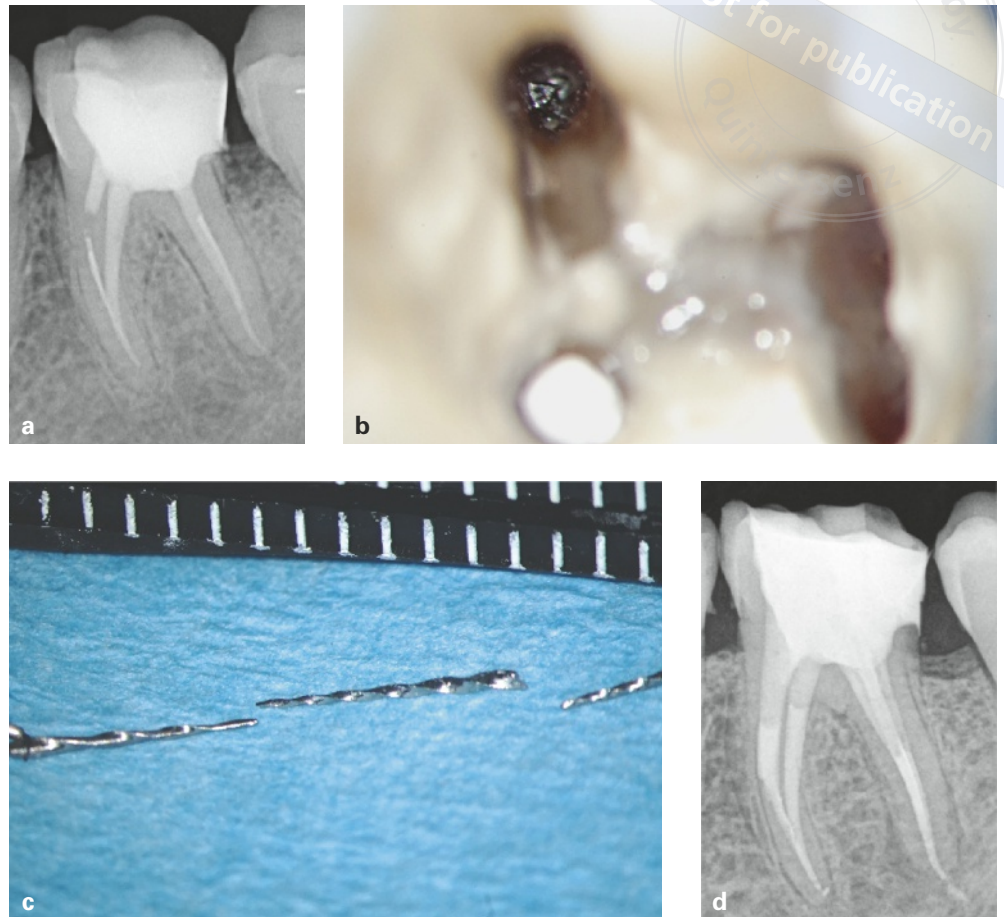
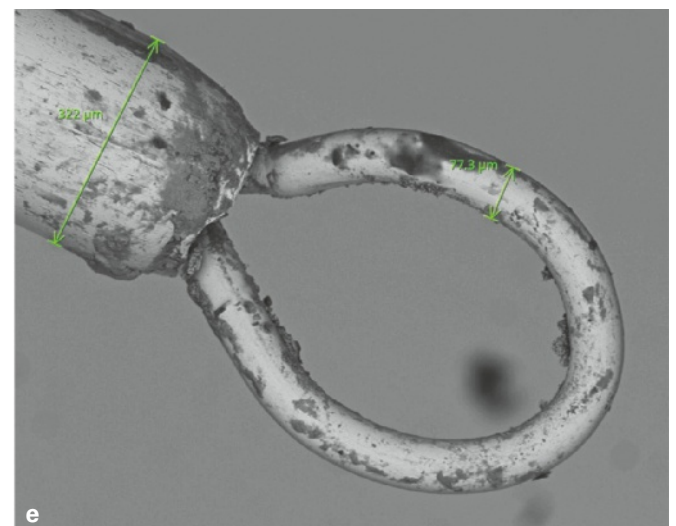


Abb. 16a bis e Am Zahn 36 erfolgte ein erster Versuch einer Revision aufgrund einer fortbestehenden symptomatischen apikalen Parodontitis: Auf der Röntgenausgangsaufnahme besteht der Verdacht auf zwei Fragmente in der mesialen Wurzel, die mit einer Loop-Technik entfernt werden sollten (a). Unter Sicht mit dem Dentalmikroskop konnten die Fragmente dargestellt, zur Entfernung vorbereitend mit Ultraschall freigelegt (b) und mit einem Loop-System vollständig entfernt werden (c). Auf der Abschlussaufnahme ist ein erhöhter Zahnhartsubstanzabtrag im mesiolingualen Wurzelkanal als Folge der Verkeilung von zwei Fragmenten und deren Lockerung erkennbar (d). REM-Aufnahme in 290-facher Vergrößerung der in einer 0,3 mm Kanüle geführten Schlaufe mit 0,1 mm dünnem Draht zur Fixierung des Fragmentes (e).

dünnen Drähten vor allem im mittleren und apikalen Wurzel Drittel. Als zusätzliche Hilfsmittel haben sich in Deutschland vor allem FragRemover (Fa. FragRemover, Radebeul), EndoCowboy (Fa. Köhrer Medical Engineering, Neuss), Broken Tool Remover (Fa. LyDenti, Großbeeren) und Terauchi



File Retrieval Kit (TFRK, Santa Barbara, CA, USA) etabliert. Unterschiede ergeben sich in der Handhabung und den verwendeten Drahtstärken und Drahtmaterialien, sodass unterschiedliche Kräfte zur Entfernung der Fragmente genutzt werden können (Abb. 16a bis e).

Antibakterielle Therapie

Im Unterschied zur primären Wurzelkanalbehandlung kann das Wurzelkanalsystem als Folge des pathologischen Prozesses Besonderheiten aufweisen, die in der weiteren endodontischen Revision Einfluss auf den Erfolg haben können⁸. So können apikal Obliterationen, Hyperzementosen und externe Resorptionen auftreten⁴³. Apikale Resorptionen infolge einer Infektion werden meist vollständig repariert. Voraussetzung ist eine antimikrobielle Therapie unter genauer endometrischer Kontrolle^{45,56}.

Als Folge iatrogenen Überinstrumentierens treten apikale Transportationen des Wurzelkanals und trichterförmige apikale Perforationen auf. Im Ergebnis der morphologischen Veränderungen können die ehemals verengten Strukturen der apikalen Foramina deutlich weiter als der Durchmesser des Wurzelkanals vorliegen, sodass die Präparation einer apikalen konischen Widerstandsform erschwert oder unmöglich wird (Abb. 17a bis c). Das Überpressen von Debris, „Smear layer“, Desinfektionsmitteln und Materialien zur Wurzelkanalfüllung kann zu vermehrten postendodontischen Beschwerden beitragen und den Heilungserfolg beeinträchtigen.

Das gealterte Dentin weist außerdem höhere Anteile sklerotischen Dentins auf, sodass bei starkem axial ausgerichteten Arbeitsdruck sogenannte Cracks initiiert werden können, die langfristig zur Ausbildung von Vertikalfrakturen beitragen können^{3,66}. Für die apikale Ausformung empfehlen sich deshalb passiv arbeitende Feilen wie z. B. ProFile (Fa. Dentsply Sirona) oder Feilen mit geringer Konizität von 2 bis 4 % in Step-back-Technik⁶¹.

Für eine antimikrobielle Therapie haben sich verschiedene Spüllösungen über die letzten Jahrzehnte bewährt^{20,83}. Jede Spülflüssigkeit hat auf das Dentin und die mikrobielle Besiedlung eine spezifische Wirkung und ist vor allem zeit- und konzentrationsabhängig⁴⁶. Endodontische Revisionen unterliegen meist einem größeren Zeitaufwand zur Überwindung intrakanalärer Probleme. Damit trägt die Desinfektion auch in geringer Konzentration zur gewünschten Wirksamkeit unter gleichzeitiger Schonung kollagener Strukturen des Wurzelzements bei.

Im Gegensatz zur primären Wurzelkanalbehandlung mit einer Vitalexstirpation ist das Wurzelkanal-

system im Fall einer endodontischen Revision mit verschiedenen Arten von aeroben sowie anaeroben Bakterienkulturen, Pilzen und Viren kontaminiert, die sich zumeist über Jahre in einem interaktiven Biofilm etabliert haben. Inhomogene Reste von Sealer und Guttapercha werden zusammen mit Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukten sowie Resten organischer und anorganischer Materialien vermischt, im Wurzelkanal verteilt und erneut verdichtet, sodass die verstopften Isthmen und Dentintubuli nicht mehr desinfiziert und dicht gefüllt werden können⁵³. Die klinische Bedeutung der „Smear layer“ für den Erfolg oder Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist bis heute nicht vollständig geklärt⁷⁹. Das rapide Vordringen nach apikal im infizierten Wurzelkanal oder das apikale Überinstrumentieren im Verlauf einer endodontischen Revision transportiert Debris und „Smear layer“ nach apikal und periapikal, sodass akute Beschwerden provoziert werden können. Crown-Down- oder Step-Down-Techniken unter kontinuierlicher Desinfektion können die akute Exazerbation vermeiden helfen.

Selbst unter optimalen Bedingungen in In-vitro-Untersuchungen gelingt es jedoch nicht, mit der Handspülung eine hinreichende Desinfektion und Reinigung des Dentins bzw. des Wurzelkanalsystems zu erzielen. Biofilm und „Smear layer“ können nur in der Kombination von mechanischen Hilfsmitteln mit Natriumhypochlorit (NaOCl) reduziert werden⁷¹. Die gleichzeitige Nutzung von oszillierenden Feilen wie z. B. „Self adjusting file“ (SAF) verbessert die Reinigung auch in irregulären oder ovalen Wurzelkanalquerschnitten⁵⁰. Die Wirkung von NaOCl kommt bei „Smear layer“ nicht mehr effektiv zur Entfaltung und erfordert den Einsatz von Chelatoren wie z. B. EDTA 17 % oder Zitronensäure 10 %. Das bakterielle Wachstum im Biofilm kann mit Chlorhexidin (CHX) durch die prolongierte Wirkung und hohe Substantivität gehemmt oder sogar verhindert werden^{14,18,40,41,67}. Ähnliche Ergebnisse können mit Produkten wie z. B. mit Cetricid und Octenidin erzielt werden, wenn sie mit Chelatoren kombiniert werden^{6,15}.

Die ultraschallaktivierte und schallaktivierte Spülung kann die Ergebnisse der Reinigung und Desinfektion im Verlauf der endodontischen Revision

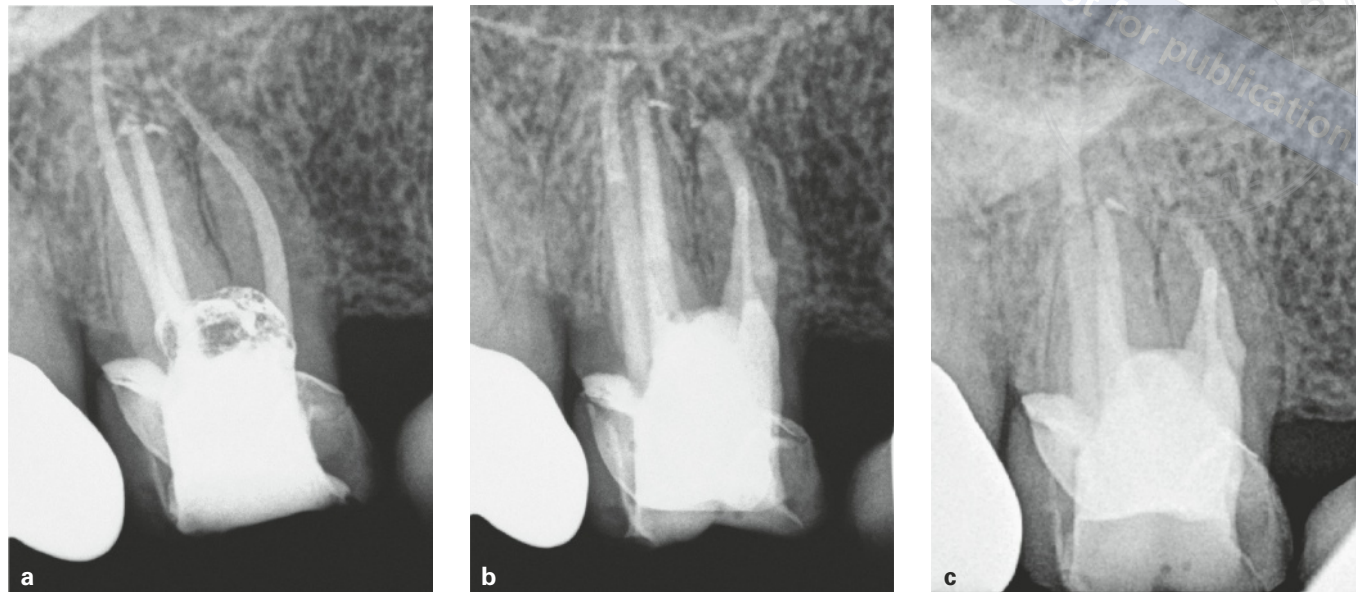


Abb. 17a bis c Die primäre Aufbereitung und Wurzelkanalfüllung am Zahn 17 erfolgte mit dem System Reciproc (Fa. VDW). Die fortbestehende Schmerzsymptomatik und mikrobielle Infektion machten eine Revision erforderlich. Auf der Röntgenausgangsaufnahme ist die Überfüllung und Erweiterung der apikalen Foramen an den drei Wurzelspitzen bei persistierender apikaler Aufhellung erkennbar (a). Die stark erweiterten Wurzelkanäle ließen keine weitergehende konische Präparationsform zu. Die transportierten und mechanisch erweiterten Foramen ließen sich nicht mehr thermoplastisch verschließen. Als Verschlussmaterial wurde deshalb ProRoot MTA (Fa. Dentsply Sirona) als Reparaturzement genutzt (b). 1 Jahr post operationem ist der Zahn beschwerdefrei und röntgenologisch unauffällig (c).

verbessern. Trotzdem können Reste der „Smear layer“ vor allem im apikalen Wurzelkanalanteil verbleiben^{76–78}. Der unterstützende Einsatz von Schallinstrumenten wie z. B. EDDY (Fa. VDW) mit 6 kHz verbessert zwar die Reinigung, kann jedoch fest anhaftende „Smear layer“ nicht lösen und entfernen. Der verstärkt nach apikal gerichtete Flüssigkeitsstrom lässt im Gegensatz zu Ultraschall ein häufigeres Überpressen von Spülflüssigkeiten mit post-endodontischen Beschwerden vermuten³⁸.

Für den dauerhaften Verschluss des desinfizierten Wurzelkanalsystems eignen sich Kombinationen von Sealer und Guttapercha. Klassische Sealer mit Epoxidharz haben weiterhin Bestand für thermoplastische Verfahren oder Mehrstifttechniken. Calciumsilikatzemente eignen sich vor allem bei weiten apikalen Foramen für Einstifttechniken. ProRoot MTA (Fa. Dentsply Sirona) hat sich über mehr als 20 Jahre hinweg bewährt als Reparaturzement für iatrogene Perforationen, Resorptionen und resezierte Wurzeln⁷³ (Abb. 18a bis c).

Kritisch bleibt der dauerhafte Verbund zwischen Kanalwand und Materialien zur Wurzelkanalfüllung,

sodass abschließend das Wurzelkanalsystem gegen eine von koronal ausgehende mikrobielle Rekontamination gesichert werden muss. Je nach verwendeter Desinfektionslösung und zyklischer Ermüdung durch funktionelle Belastung variieren die Ergebnisse aller zurzeit verwendeten Adhäsivsysteme und Composite, sodass nicht in jedem Fall ein dauerhafter bakteriendichter Verschluss erzielt werden kann⁶⁸. Eine zusätzliche Versorgung mit indirekten Restaurationen – dentinadhäsiv befestigt – kann bei exakter Passform und guter Mundhygiene des Patienten einen langfristigen Erfolg der endodontischen Revision sichern^{23,26,49} (Abb. 19a bis d). Kronenwandfrakturen vor allem bei dreiflächigen Kavitäten können mit einer Teil- oder Vollüberkronung sicher vermieden werden.

Prognose

Grundsätzlich scheint die orthograde Revision langfristig der retrograden chirurgischen Therapie überlegen zu sein^{51,72}. Die mikrobielle Infektion erstreckt sich von koronal nach apikal und nur in seltenen Fäl-



Abb. 18a bis c Im Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung am Zahn 36 wurden die Wurzelkanäle nicht aufgefunden und eine iatrogene Perforation mit Glasionomermert verschlossen (a). Unter Sicht mit dem Dentalmikroskop gelang eine vollständige Wurzelkanalbehandlung. Die mikrobiell infizierte Perforation wurde erneut eröffnet, desinfiziert und mit „Mineral Trioxid Aggregat“ (MTA) verschlossen (b). 8 Jahre post operationem mit suffizienter koronaler Versorgung kam es zur vollständigen Remission der interradikulären und periapikalen Aufhellung (c).

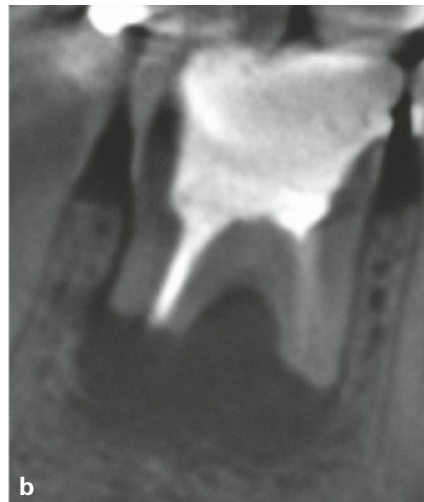
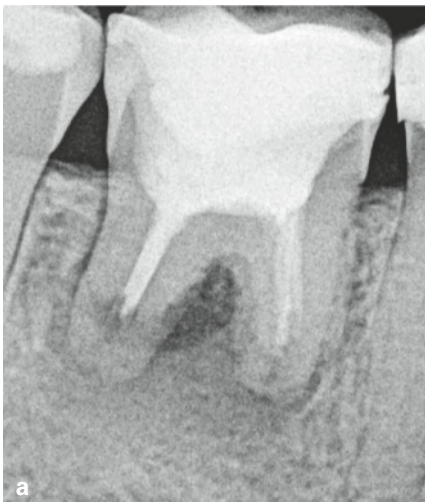


Abb. 19a bis d Am Zahn 37 erfolgte 14 Jahre zuvor eine Wurzelkanalbehandlung und Wurzelspitzenresektion. Über mehrere Jahre lag eine intraorale Fistel vor. Auf der intraoralen Röntgenaufnahme ist eine unvollständige Wurzelkanalfüllung und eine periapikale und interdentaler Aufhellung sichtbar (a). Die DVT-Aufnahme weist einen starken Knochenabbau bei gleichzeitig stark gekürzten Wurzeln auf (b). Im Verlauf der orthograden Revision wurden die rezezierten Wurzeln mit MTA verschlossen. Der dentinadhäsive Aufbau mit Komposit ermöglichte eine funktionelle Belastung und gleichzeitig einen Schutz vor mikrobieller Rekontamination (c). Den langfristigen Erfolg sicherte eine Metallkeramikkrone mit suffizientem Goldrand in exakter Passform (d).

len bis auf die Wurzelaußenfläche, sodass mit der orthograden Revision ein deutlich größerer Anteil an Infektion eliminiert werden kann im Vergleich zu einer resektiven chirurgischen Therapie. Unbehandelte Isthmen und Wurzelkanäle sowie infizierte Wurzelkanalsysteme lassen sich häufig besser von orthograd reinigen und desinfizieren als von retrograd. Nur im Fall einer erneut persistierenden Entzündung kann aktuell eine chirurgische Therapie die Prognose eines kompromittierten Zahnes verbessern.

Die Beurteilung des Erfolges von Stiftentfernungen umfasst einerseits die Ereignisbeurteilung²⁸ und andererseits den Langzeiterfolg des behandelten Zahnes. So können zum einen kurzfristig sehr gute Ergebnisse in einer schnellen und invasiven Entfernungstechnik registriert werden. Zum anderen können aber in einem weiteren Beobachtungszeitraum vermehrt Misserfolge infolge struktureller Dentinerermüdung mit Längs- und Querfrakturen auftreten⁵⁷. Ein eindeutig auf die Stiftentfernung begründeter Misserfolg lässt sich schwer nachweisen. Mehrere Faktoren haben auf den langfristigen Erhalt eines stark kompromittierten Zahnes Einfluss. Dabei ist bereits entscheidend, inwieweit das Dentin zum Zeitpunkt der ersten Stiftverankerung bereits an Biegemoment verloren hat. Mit der Alterung des Dentins nimmt das E-Modul zu und damit die Flexibilität, auf Kräfte mit Dämpfung zu reagieren, ab². Bei der Präparation eines Stiftbettes reagiert sklerotisches Dentin deshalb besonders leicht mit Rissen auf Trocknung, starke Laugen, Biegebelastung und mechanische Einwirkungen⁴⁶.

Zähne mit tiefen und massiven Stiftstumpfaufbauten sollten deshalb kritisch beurteilt werden, wenn eine fortbestehende mikrobielle Infektion eine Revision erfordert. Insbesondere in ihrer Verwendung als Pfeilerzähne im Rahmen einer prothetischen Restauration wie z. B. mit Konuskronen können Zähne mit Stiften langfristig ein Risiko für den Erfolg darstellen⁵⁷.

Die Früherkennung von Dentinfrakturen bereits zum Zeitpunkt der Entfernung alter Stiftaufbauten ermöglicht es, die Langzeitprognose besser beurteilen zu können. Bisher war dies nur histologisch

oder im Rahmen von In-vitro-Untersuchungen mit Mikro-Computertomografie-Aufnahmen möglich^{2,33,58}. Als ein diagnostisches Hilfsmittel wurde die Infrarot-Thermografie vorgeschlagen, mit der Mikrorisse im Dentin erkannt werden können⁴⁸. Eine Marktreife hat dieser Vorschlag bislang jedoch nicht erreicht.

Im klinischen Alltag besteht aktuell die Möglichkeit unter Sicht mit dem Dentalmikroskop Dentinrisse zu erkennen⁷. Im Wechsel von feuchten und getrockneten Dentinwänden oder mithilfe der Diaphanoskopie lassen sich vertikal verlaufende intrakanaläre Mikrorisse differenzieren, obwohl sie radiologisch nicht nachweisbar sind.

Epidemiologische Studien konnten bei Vorliegen einer apikalen Parodontitis lediglich in 35 bis 78 % der Fälle erfolgreiche Wurzelkanalbehandlungen nachweisen^{23,39,47}. Klinisch kontrollierte Studien zeigten mit 77 bis 94 % deutlich bessere Ergebnisse^{21,30,37}. Die höheren Erfolgsquoten der klinischen Studien wurden in Universitäten und von Endodontie-Spezialisten erzielt. Der enorme Unterschied der Ergebnisse ist ein Hinweis auf die mögliche Abhängigkeit des Behandlungserfolges von Training und Kenntnisstand des Therapeuten, den technischen Hilfsmitteln und vor allem einer ausreichenden Behandlungszeit. Wurde während der Erstbehandlung eines Wurzelkanalsystems zusätzlich der Wurzelkanalverlauf blockiert oder verlagert, so kann sich die Erfolgsquote verringern^{30,37}.

Schlussfolgerungen

Die zumeist kostenintensiven Hilfsmittel und zeitlich umfangreichen Weiterbildungen im Rahmen von Endodontie-Curricula, Masterstudiengängen oder Spezialisierungen haben in den letzten Jahren vermehrt zur kollegialen Zusammenarbeit beigetragen, sodass im Interesse des Patienten Synergien zwischen den Zahnärzten genutzt werden. Es gilt, rechtzeitig den Schwierigkeitsgrad einer endodontischen Revision im Verlauf der Befundaufnahme und Diagnostik abzuschätzen und auf die Möglichkeiten der eigenen Praxisgegebenheiten hin zu überprüfen.

Literatur

1. Abbott PV. Assessing restored teeth with pulp and periapical diseases for the presence of cracks, caries and marginal breakdown. *Aust Dent J* 2004;49:33–39; Quiz 45.
2. About LRL, Santos BCD, Lopes RT, Viana LAC, Scelza MFZ. Effect of aging on dentinal crack formation after treatment and retreatment procedures: A micro-CT study. *Braz Dent J* 2018;29:530–535.
3. Ahn SY, Kim HC, Kim E. Kinematic effects of nickel-titanium instruments with reciprocating or continuous rotation motion: A systematic review of in vitro studies. *J Endod* 2016;42:1009–1017.
4. Altunbas D, Kustarci A, Toyoglu M. The influence of various irrigants on the accuracy of 2 electronic apex locators in locating simulated root perforations. *J Endod* 2017;43:439–442.
5. American Association of Endodontists (AAE) position statement. Use of microscopes and other magnification techniques. *J Endod* 2012;38:1153–1155.
6. Arias-Moliz MT, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP, Valderrama MJ, Baca P. Eradication of enterococcus faecalis biofilms by cetrimide and chlorhexidine. *J Endod* 2010;36:87–90.
7. Arnold M, Friedrichs C, Tulus G, Verch S, Dennhardt H, Sanner F. Intrakoronale und intrakanaläre Diagnostik (IKD). *Endodontie* 2013;22:9–21.
8. Arnold M, Ricucci D, Siqueira JF Jr. Infection in a complex network of apical ramifications as the cause of persistent apical periodontitis: A case report. *J Endod* 2013;39:1179–1184.
9. Arnold M. Anwendung der dentalen digitalen Volumentomographie in der Endodontie. *Quintessenz* 2013;64:85–96.
10. Arnold M. Obliterationen im Wurzelkanalsystem – Bedeutung für die Praxis. *Quintessenz* 2021;72:2–16.
11. Buoncristiani J, Seto BG, Caputo AA. Evaluation of ultrasonic and sonic instruments for intraradicular post removal. *J Endod* 1994;20:486–489.
12. Bürklein S. DVT in der Endodontie. *Endodontie* 2011;20:381–388.
13. Cherukara GP, Pollock GR, Wright PS. Case report: Removal of fractured endodontic posts with a sonic instrument. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2002;10:23–26.
14. Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *J Endod* 2006;32:434–437.
15. Coaguila-Llerena H, Stefanini da Silva V, Tanomaru-Filho M, Guerreiro Tanomaru JM, Faria G. Cleaning capacity of octenidine as root canal irrigant: A scanning electron microscopy study. *Microsc Res Tech* 2018;81:523–527.
16. Cujé J, Bargholz C, Hülsmann M. The outcome of retained instrument removal in a specialist practice. *Int Endod J* 2010;43:545–554.
17. Davies A, Patel S, Foschi F, Andiappan M, Mitchell PJ, Mannocci F. 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* 2016;49:623–635.
18. de Almeida J, Cechella BC, Bernardi AV, de Lima Pimenta A, Felipe WT. Effectiveness of nanoparticles solutions and conventional endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Indian J Dent Res* 2018;29:347–351.
19. Dixon EB, Kaczowski PJ, Nicholls JI, Harrington GW. Comparison of two ultrasonic instruments for post removal. *J Endod* 2002;28:111–115.
20. Ercan E, Ozekinci T, Atakul F, Gül K. Antibacterial activity of 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite in infected root canal: In vivo study. *J Endod* 2004;30:84–87.
21. Eriksen HM. Epidemiology of apical periodontitis. In: Orstavik D, Pitt Ford T (Hrsg). *Essential endodontology. Prevention and treatment of apical periodontitis*. Oxford: Blackwell Munksgaard, 2008:262–274.
22. European Society of Endodontology (ESE). Quality guidelines for endodontic treatment: Consensus report of the ESE. *Int Endod J* 2006;39:921–930.
23. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: The Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *J Endod* 2004;30:627–633.
24. Figueiredo FE, Martins-Filho PR, Faria-E-Silva AL. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2015;41:309–316.
25. Frazer RQ, Kovarik RE, Chance KB, Mitchell RJ. Removal time of fiber posts versus titanium posts. *Am J Dent* 2008;21:175–178.

26. Friedman S, Mor C. The success of endodontic therapy – Healing and functionality. *J Calif Dent Assoc* 2004;32:493–503.
27. Garrido AD, Oliveira AG, Osório JE, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto MD. Evaluation of several protocols for the application of ultrasound during the removal of cast intraradicular posts cemented with zinc phosphate cement. *Int Endod J* 2009;42:609–613.
28. Gesi A, Magnolfi S, Goracci C, Ferrari M. Comparison of two techniques for removing fiber posts. *J Endod* 2003;29:580–582.
29. Gomes AP, Kubo CH, Santos RA, Santos DR, Padilha RQ. The influence of ultrasound on the retention of cast posts cemented with different agents. *Int Endod J* 2001;34:93–99.
30. Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: A 2-yr follow-up. *J Endod* 2004;30:1–4.
31. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. *Dent Mater* 2004;20:441–448.
32. Hauman CH, Chandler NP, Purton DG. Factors influencing the removal of posts. *Int Endod J* 2003;36:687–690.
33. Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod* 2013;39:262–264.
34. Hülsmann M, Bluhm V. Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J* 2004;37:468–476.
35. Hülsmann M, Schäfer E. „Good clinical practice“: Die Wurzelkanalbehandlung. Stellungnahme der DGZ und der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60:418–423.
36. Hülsmann M, Weiger P. Revision einer Wurzelkanalbehandlung. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ. *Dtsch Zahnärztl Z* 2004;59:242–243.
37. Imura N, Pinheiro ET, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC, Souza-Filho FJ. The outcome of endodontic treatment: A retrospective study of 2000 cases performed by a specialist. *J Endod* 2007;33:1278–1282.
38. Ince Yusufoglu S, Keskin NB, Saricam E, Bozkurt DA. Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. *Aust Endod J* 2020;46:400–404.
39. Jimenez-Pinzon A, Segura-Egea JJ, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E, Rios-Sanos JV. Prevalence of apical periodontitis and frequency of root-filled teeth in adult Spanish population. *Int Endod J* 2004;37:167–173.
40. Kanisavaran ZM. Chlorhexidine gluconate in endodontics: An update review. *Int Dent J* 2008;58:247–257.
41. Kapralos V, Rukke HV, Ørstavik D et al. Antimicrobial and physicochemical characterization of endodontic sealers after exposure to chlorhexidine digluconate. *Dent Mater* 2021;37:249–263.
42. Khalighinejad N, Aminoshariae A, Kulild JC, Williams KA, Wang J, Mickel A. The effect of the dental operating microscope on the outcome of nonsurgical root canal treatment: A retrospective case-control study. *J Endod* 2017;43:728–732.
43. Leonardo MR, Rossi MA, Bonifácio KC, da Silva LA, Assed S. Scanning electron microscopy of the apical structure of human teeth. *Ultrastruct Pathol* 2007;31:321–325.
44. Maddalone M, Gagliani M, Citterio CL et al. Prevalence of vertical root fractures in teeth planned for apical surgery. A retrospective cohort study. *Int Endod J* 2018;51:969–974.
45. Malueg LA, Wilcox LR, Johnson W. Examination of external apical root resorption with scanning electron microscopy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996;82:89–93.
46. Marending M, Luder HU, Brunner TJ et al. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine – Mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J* 2007;40:786–793.
47. Marques MD, Moreira B, Eriksen HM. Prevalence of apical periodontitis and results of endodontic treatment in an adult, Portuguese population. *Int Endod J* 1998;31:161–165.
48. Matsushita-Tokugawa M, Miura J, Iwami Y et al. Detection of dentinal microcracks using infrared thermography. *J Endod* 2013;39:88–91.
49. Meirinhos J, Martins JNR, Pereira B et al. 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* 2020;53(4):573–584.
50. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy – A new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod* 2010;36:679–690.
51. Naito T. Surgical or nonsurgical treatment for teeth with existing

- root filings? Evid Based Dent 2010;11:54–55.
52. Naumann M, Lange KP. Ansichten und Techniken zur Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne – Eine Umfrage unter Zahnärzten im Bundesgebiet. Dtsch Zahnärztl Z 2003;58:280–285.
53. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. J Endod 2009;35:1044–1047.
54. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. ESE position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: ESE developed by. Int Endod J 2019;52:1675–1678.
55. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. J Endod 2007;33: 81–95.
56. Ricucci D, Siqueira JF Jr, Loghin S, Lin LM. Repair of extensive apical root resorption associated with apical periodontitis: radiographic and histologic observations after 25 years. J Endod 2014;40: 1268–1274.
57. Riis A, Taschieri S, Del Fabbro M, Kvist T. Tooth survival after surgical or non-surgical endodontic retreatment: Long-term follow-up of a randomized clinical trial. J Endod 2018;44:1480–1486.
58. Rödiger T, Müller C, Hoch M et al. Moisture content of root canal dentine affects detection of microcracks using micro-computed tomography. Int Endod J 2018;51:357–363.
59. Rödiger T, Nusime AK, Konietzschke F, Attin T. Effects of different luting agents on bond strengths of fiber-reinforced composite posts to root canal dentin. J Adhes Dent 2010;12: 197–205.
60. Rossi-Fedele G, Ahmed HM. Assessment of root canal filling removal effectiveness using micro-computed tomography: A systematic review. J Endod 2017;43:520–526.
61. Sae-Lim V, Rajamanickam I, Lim BK, Lee HL. Effectiveness of ProFile .04 taper rotary instruments in endodontic retreatment. J Endod 2000;26: 100–104.
62. Satterthwaite JD, Stokes AN. Effect of ultrasonic vibration on the retention of adhesively luted intra-radicular posts. Eur J Prosthodont Restor Dent 2004; 12:101–104.
63. Saunders WO, Saunders EM. Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy. Endod Dent Traumatol 1994;10: 105–108.
64. Saunders WP. Restoration of the root filled tooth. In: Orstavik D, Pitt Ford TR (Hrsg). Essential endodontology. Prevention and treatment of apical periodontitis. Oxford: Blackwell Science, 1998;3313–3366.
65. Schirrmeister JF. Der Einsatz von Lösungsmitteln während der Revision von Wurzelkanalbehandlungen – Eine Übersicht. Endodontie 2006;15:325–335.
66. Shantiaee Y, Dianat O, Mosayebi G, Namdari M, Tordik P. Effect of root canal preparation techniques on crack formation in root dentin. J Endod 2019;45:447–452.
67. Shen Y, Stojicic S, Qian W, Olsen I, Haapasalo M. The synergistic antimicrobial effect by mechanical agitation and two chlorhexidine preparations on biofilm bacteria. J Endod 2010; 36:100–104.
68. Shindo K, Kakuma Y, Ishikawa H, Kobayashi C, Suda H. The influence of orifice sealing with various filling materials on coronal leakage. Dent Mater J 2004;23:419–423.
69. Siqueira JF Jr. Aetiology of root canal failure: Why well-treated teeth can fail. Int Endod J 2001; 34:1–10.
70. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. J Endod 1990;16:498–504.
71. Tawakoli PN, Ragnarsson KT, Rechenberg DK, Mohn D, Zehnder M. Effect of endodontic irrigants on biofilm matrix polysaccharides. Int Endod J 2017;50:153–160.
72. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: A systematic review. J Endod 2009;35:930–937.
73. Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: An updated overview – Part II: Other clinical applications and complications. Int Endod J 2018;51:284–317.
74. Tronstad L, Barnett, F, Riso K, Slots J. Extraradicular endodontic infections. Endod Dent Traumatol 1987;3:86–90.
75. Tsesis I, Blazer T, Ben-Izhack G et al. The precision of electronic apex locators in working length determination: A systematic review and meta-analysis of the literature. J Endod 2015;41: 1818–1823.
76. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: A SEM evaluation. Clin Oral Investig 2017;21:2681–2687.
77. Van der Sluis L, Wu MK, Wesselink P. Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. Quintessence Int 2009;40:875–879.
78. Van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive

- ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. Int Endod J 2007;40:415–426.
79. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics – A review. Int Endod J 2010;43:2–15.
80. Walton RE. Endodontic considerations in the geriatric patient. Dent Clin North Am 1997;41:795–816.
81. Wong R, Cho F. Microscopic management of procedural errors. Dent Clin North Am 1997; 41:455–479.
82. Xu LL, Zhang L, Zhou XD, Wang R, Deng YH, Huang DM. Residual filling material in dentinal tubules after gutta-percha removal observed with scanning electron microscopy. J Endod 2012;38: 293–296.
83. Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod 2006;32:389–398.



Michael Arnold

Dipl.-Stom.

E-Mail: info@rootcanal.de

*Praxis für Endodontie und Zahnerhaltung
Königstraße 9
01097 Dresden*

3M Science.
Applied to Life.™



3M™ RelyX™ Universal Befestigungskomposit
3M™ Scotchbond™ Universal Plus Adhäsiv

Schluss mit Komplexität.