

2. Literaturübersicht

2.1. Allgemeine Anmerkungen

Schon im Jahre 1903 machte *Miller* in seinem Lehrbuch auf die Bedeutung der genauen Kenntnisse der Anatomie der Wurzelkanäle aufmerksam [140]. Damals begnügte man sich im Allgemeinen damit, die Anatomie der Wurzelkanäle als kompliziert anzusehen und zu betonen, dass das Ausfüllen der engen und gekrümmten Wurzelkanäle unmöglich sei [89].

Als Erster erbrachte *Preiswerk* (1901) den Nachweis, dass der anatomische Bau der Wurzelkanäle komplizierter als angenommen ist. Hierzu fertigte er Metallkorrosionspräparate an, die eine große Variation von Formen, Anzahl sowie Verzweigungen der Wurzelkanäle zeigten [162].

Fischer (1907) kam mit einer anderen Methode, nämlich der Anwendung von verdünnter Zelluloidflüssigkeit, zu ähnlichen Erkenntnissen und folgerte daraus, dass infolge des komplizierten Baus der Wurzelkanäle auch an oberen Prämolaren eine restlose Entfernung der Pulpa nicht durchführbar sei [63].

Hess (1914), der über 2800 Korrosionspräparate anfertigte und auswertete, einige davon nach einem von ihm eigens entwickelten Verfahren, bestätigte die Untersuchungen von *Fischer*. Dies brachte ihn damals zu der Annahme, dass es unmöglich sei, eine dichte, hermetische Wurzelkanalfüllung durchzuführen [89].

Trotz dieser Erkenntnisse fand die Wurzelkanalaufbereitung zunehmende Verbreitung. Sie beschränkte sich jedoch zumeist auf die Behandlung pulpitischer Zähne, da man glaubte, eine Gangränbehandlung sei aufgrund der bakteriellen Besiedlung der Kanäle von vornherein zum Scheitern verurteilt. Die Entwicklung einer systematischen Gangränbehandlung, ausgehend von *E. Harndt* in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts, konnte die Prognose für eine konservierende Erhaltung von Zähnen mittels einer Wurzelkanalbehandlung erheblich verbessern [90].

Offenbar war eine restlose Entfernung aller Gewebereste und Bakterien nicht notwendig, sondern es genügte die Eliminierung des größten Teils derselben, um eine Aufrechterhaltung der Entzündung zu verhindern. Bis heute hat sich an diesen Grundsätzen der Wurzelkanalbehandlung nichts wesentlich verändert. Lediglich die Aufbereitungsmethoden verfeinerten sich und eine Vielzahl neuer Instrumente wurde entwickelt. Trotz der heute zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten ist man immer noch nicht in der Lage, das gesamte Wurzelkanalsystem endodontisch zu erschließen. Beispielsweise ist das einzige

diagnostische Hilfsmittel, das eine anatomische Darstellung der Wurzelkanäle erlaubt, das zweidimensionale Röntgenbild. Zur Zeit wird mittels neuer Technologien an der Möglichkeit einer dreidimensionalen Darstellung des Endodonts gearbeitet. So kann man mit Hilfe der Magnetresonanztchnik Einblicke in die Anatomie der Zähne und des Wurzelkanalsystems erhalten, ohne die Integrität des Untersuchungsobjektes zu verletzen [15]. Auch der praktische Einsatz der Technik der hochauflösenden Computertomographie wird erforscht [156].

2.2. Die Anatomie oberer einwurzeliger Prämolaren

Bezüglich der Wurzel- und Kanalkonfiguration weisen obere Prämolaren große Variationen auf. Sie können eine bis drei Wurzeln sowie einen bis drei Wurzelkanäle besitzen.

Prämolaren (PM) mit einer Wurzel findet man sowohl bei den ersten oberen (PM1) als auch bei den zweiten oberen Prämolaren (PM2).

Nach *Carns* und *Skidmore* (1973) besitzen obere erste Prämolaren in ca. 40% der Fälle eine Wurzel. Diese einwurzeligen Zähne enthalten zu 80% zwei Kanäle, die durch ein Dentinseptum voneinander getrennt sind, wobei der größere Kanal in der Regel palatinal zu finden ist. Etwa 60% der oberen PM1 besitzen zwei Wurzeln, eine bukkale und eine palatinale. Dreiwurzelige erste obere Prämolaren findet man in etwa 1% der Fälle, sie weisen zwei bukkale und eine palatinale Wurzel auf, die jeweils einen Kanal enthalten [42].

Diese Angaben decken sich in etwa mit denen von *Kartal* et al. (1998), die bei einer Untersuchung 300 erster oberer Prämolaren in 37% der Fälle eine Wurzel vorfanden, in 61% zwei Wurzeln und in 1,3% drei Wurzeln [104].

Nach *Vertucci* (1974) besitzen über 85% der zweiten Prämolaren des Oberkiefers nur eine Wurzel, beinahe die Hälfte davon jedoch zwei Kanäle [198]. *Kartal* et al. (1998) fanden nach Auswertung der Wurzelanatomie 300 oberer PM2 solche mit einer Wurzel jedoch nur in etwa ca. 70% der Fälle, wobei 49% einen Kanal aufwiesen. Zweiwurzelige Zähne waren in etwa 30% der Fälle vorhanden [104]. Drei Wurzeln sind unter den oberen PM2 wesentlich seltener als bei den oberen PM1 anzutreffen (weniger als 1% bzw. 0,6%) [80, 104].

Wahrscheinlich besitzen die oberen PM2 weitaus häufiger als bisher angenommen zwei Wurzelkanäle. *Bellizzi* und *Hartwell* (1985) untersuchten 630 obere PM2 *in vivo*, wobei sie in 58,6% der Fälle zwei Wurzelkanäle fanden, *Vertucci* et al. (1974) hingegen in nur 51% der Fälle [198].

1974 untersuchten *Vertucci et al.* 200 obere PM2 mit dem Ziel, eine Klassifikation ihrer Kanalkonfiguration vorzunehmen und gliederten sie in folgende acht Typen [198]:

- Typ I Ein Kanal, der von der Pulpakammer zum Apex verläuft.
- Typ II Zwei Kanäle verlassen getrennt die Pulpakammer und verbinden sich kurz vor dem Apex zu einem Kanal.
- Typ III Ein Kanal verlässt die Pulpakammer, teilt sich in der Wurzel in zwei Kanäle und verschmilzt kurz vor dem Apex wieder zu einem Kanal.
- Typ IV Zwei Kanäle verlaufen getrennt von der Pulpakammer zum Apex.
- Typ V Ein Kanal verlässt die Pulpakammer und teilt sich kurz vor dem Apex in zwei getrennte Kanäle mit eigenen Foramina.
- Typ VI Zwei verschiedene Kanäle verlassen die Pulpakammer, verbinden sich in der Wurzel und teilen sich kurz vor dem Apex in zwei getrennte Kanäle.
- Typ VII Ein Kanal verlässt die Pulpakammer, teilt sich innerhalb der Wurzel, verbindet sich wieder in der Wurzel und teilt sich kurz vor dem Apex erneut.
- Typ VIII Drei separat von der Pulpakammer zum Apex verlaufende Kanäle.

In einer Studie von *Kartal et al.* (1998) wird eine weitere Kanalkonfiguration beschrieben [104]:

- Typ IX Der palatinale Kanal verläuft durchgängig von der Pulpakammer zum Apex.
Ein bukkaler Kanal verlässt das Kavum und teilt sich in zwei Kanäle, die getrennt bis zum Apex verlaufen und eigene Foramina aufweisen.

Kartal et al. (1998) dehnten diese Einteilung auf die oberen PM1 aus und beschrieben in der bereits erwähnten Studie die Häufigkeit der verschiedenen Typen für erste und zweite obere Prämolaren. Dabei kamen sie zu den in Tab. 1 und Tab. 2 beschriebenen Resultaten.

Aus der Untersuchung von *Kartal et al.* (1998) geht hervor, dass in der Gruppe der einwurzeligen, zweikanaligen oberen Prämolaren, die ein apikales Foramen besitzen, die Zähne des Typs II am häufigsten anzutreffen sind. Die Mehrzahl der einwurzeligen Prämolaren mit zwei apikalen Foramina gehört zu Typ IV [104]. Die Untersuchungen von *Carns* und *Skidmore* bestätigten dies [42].

Tab. 1 Übersicht der Auswertung der Kanalkonfiguration von 300 PM1

Konfiguration	1-wurzelig (%)	2-wurzelig (%)	3-wurzelig (%)	Gesamt (%)
Ein Kanal am Apex				9,66
Typ I	8,66	--	--	
Typ II	1,00	--	--	
Typ III	--	--	--	
Zwei Kanäle am Apex				88,64
Typ IV	16,00	55,33	--	
Typ V-1	6,33	5,66	--	
Typ V-2	2,66	--	--	
Typ VI	2,33	--	--	
Typ VII	0,33	--	---	
Drei Kanäle am Apex				1,66
Typ VIII	--	--	1,33	
Typ IX	--	0,33	--	
Gesamt	37,33	61,33	1,33	100

Tab. 2 Übersicht der Auswertung der Kanalkonfiguration von 300 PM2

Konfiguration	1-wurzelig (%)	2-wurzelig (%)	3-wurzelig (%)	Gesamt (%)
Ein Kanal am Apex				54,99
Typ I	48,66	--	--	
Typ II	6,33	--	--	
Typ III	--	--	--	
Zwei Kanäle am Apex				44,31
Typ IV	9,33	28,66	--	
Typ V-1	3,00	1,00	--	
Typ V-2	1,66	--	--	
Typ VI	0,66	--	--	
Typ VII	--	--	--	
Drei Kanäle am Apex				0,66
Typ VIII	--	--	0,66	
Gesamt	69,66	29,66	0,66	100

Nicht nur hinsichtlich ihrer Kanalkonfigurationen weisen die oberen Prämolaren eine große Variationsbreite auf, sondern sie besitzen auch eine Vielzahl lateraler Kanäle. *Vertucci et al.* (1979) fanden bei etwa 50% der Kanäle der oberen PM1 laterale Kanäle. Die größte Anzahl wurde im apikalen Bereich gefunden (74%), gefolgt vom Furkationsbereich (11%), dem mittleren Wurzeldrittel (10%) und dem cervikalen Drittel (5%) [197]. Bei oberen PM2

konnten sie in etwa 60% der Wurzelkanäle laterale Kanäle nachweisen. Die größte Anzahl wurde ebenfalls im apikalen Bereich gefunden (78%), gefolgt vom mittleren Wurzelanteil (16%), dem cervikalen Bereich (4%) und der Furkation (1,6%) [198].

Kartal et al. (1998) machten zwar keine prozentualen Angaben darüber, wie häufig sie die lateralen Seitenkanäle bei oberen PM1 vorfanden, beschrieben aber ihre Lokalisation. Die lateralen Kanäle verteilten sich bei den 300 von ihnen untersuchten Zähnen auf das apikale (65%), das mittlere (20,5%) und das cervikale Drittel (14%) [104]. Die lateralen Kanäle oberer PM2 verteilten sich bei ihnen auf das apikale (70%), das mittlere (35%) und das cervikale Drittel (14%) [104].

Des Weiteren wurden die Zähne auf das Vorhandensein transversaler Anastomosen zwischen zwei Kanälen überprüft. Nach *Vertucci et al.* (1974) ließen sie sich bei 31% der zweikanaligen oberen PM2 feststellen; am häufigsten im mittleren Wurzel Drittel (50%), zu etwa 31% im apikalen und zu 19% im cervikalen Drittel [198]. Dagegen fanden *Kartal et al.* (1998) Anastomosen häufiger im apikalen Bereich (51%) als im mittleren Wurzel Drittel (35%) vor. Auch hier waren solche Querverbindungen am seltensten im cervikalen Bereich (14%) anzutreffen [104]. Für die oberen PM1 waren die Zahlen ähnlich. Hier fanden sich in 43% der Fälle Querverbindungen zwischen den Kanälen, verteilt auf das mittlere (58%), das apikale (26%) und das cervikale (16%) Drittel [104].

Das apikale Delta, das in der Endodontie einen in Bezug auf seine Desinfektion problematischen Bereich darstellt, ist bei oberen Prämolaren relativ selten zu finden. *Vertucci et al.* fanden es in lediglich 3,2% der PM1, häufiger aber bei den PM2 (15%) vor [197, 198].

Bei den Zähnen des Typs II verlassen zwei Kanäle getrennt die Pulpakammer, verbinden sich auf verschiedener Höhe der Wurzel zu einem Kanal und verlassen den Apex durch ein Foramen. In 5% der Fälle verschmelzen die Kanäle im koronalen Drittel der Wurzel, 22% vereinigen sich im mittleren Drittel; 55% im apikalen Drittel und 18% auf Höhe des apikalen Foramens [198]. Die Zähne des Typs IV, bei denen zwei Kanäle getrennt von der Pulpakammer zum Apex verlaufen, können entweder eine oder zwei Wurzeln aufweisen. Betrachtet man einwurzeligen Zähne des Typs II und des Typs IV, so finden sich zahlreiche Anastomosen zwischen beiden Kanälen [104, 197, 198].

Bei jugendlichen Prämolaren findet man meist nur einen Kanal [89]. Im Laufe der Zahnentwicklung differenzieren sich aus einer großvolumigen Kavum-Wurzelkanaleinheit durch Einlagerung von Dentin die Pulpakammer und das Wurzelkanalsystem aus. Dabei kommt es häufig zu einer Abschnürung des Kanallumens, so dass ein sanduhrförmiger Wurzelkanal entsteht. Diese Einschnürung kann so weit fortschreiten, dass es zu einer

Abtrennung kommt und sich aus dem vormals einkanaligen ein zweikanaliger Zahn entwickelt. Diese Zwischenwand wird als Septum bezeichnet und kann entweder kurz sein oder sich ganz bis zum Apex fortsetzen. Bei dieser Trennung der zwei Kanäle verbleiben häufig zahlreiche Anastomosen [89]. Sowohl die Zähne des Typs II als auch des Typs IV scheinen sich nach diesem Schema zu entwickeln [75, 89].

Da diese Querverbindungen bei der Wurzelkanalbehandlung nicht aufbereitet werden, ist anzunehmen, dass Gewebereste und Bakterien auf der gesamten Länge der Kanäle verbleiben und zu einem Persistieren der Entzündung führen können. Anzunehmen ist auch, dass dies die Prognose einer Wurzelkanalbehandlung der Zähne dieser Gruppen im Vergleich zu Prämolaren mit einem weniger komplexen Kanalsystem verschlechtert. Ebenfalls ist zu vermuten, dass man aufgrund der Länge des Septums, sowie der zwei Foramina für Zähne des Typs IV ebenfalls eine ungünstigere Voraussage hinsichtlich einer endodontischen Behandlung treffen könnte, als für Zähne des Typs II. Dieser Fragestellung wurde in der vorliegenden Arbeit nachgegangen.

2.3. Wurzelkanalaufbereitung

Wenn die Integrität der Pulpa nicht gewährleistet werden kann, stellt eine Wurzelkanalbehandlung das Mittel der ersten Wahl dar. Ihre Ziele sind die Erhaltung des erkrankten Zahnes und die Verhütung schädlicher Auswirkungen, die von ihm ausgehend auf den gesamten Organismus übergreifen können [88].

Es ist nicht möglich, das gesamte endodontische Hohlraumssystem, das mit den umliegenden Hart- und Weichgewebsstrukturen in Verbindung steht, vollständig aufzubereiten. Berücksichtigt werden muss zudem, dass Mikroorganismen sich nicht nur in der Pulpa, sondern auch im zirkumpulpalen Dentin befinden [92, 147, 160]. Daher stellt eine Wurzelkanalbehandlung keine Keimelimination, sondern eine Keimreduktion dar.

Bei einer Wurzelkanalbehandlung muss neben der Reinigung die Formgebung des Endodons beachtet werden. Ist das Wanddentin nicht infiziert, so sollte ein Teil des zirkumpulpalen Dentins, das eine Schichtstärke von etwa 0,1 mm hat, abgetragen werden [201]. Dies verlangt eine Aufbereitung um ca. drei bis vier ISO-Größen [80, 118, 208]. Im Falle einer infizierten Pulpanekrose sind Bakterien bis in eine Tiefe von 1,2 mm im Dentin nachweisbar. In einem solchen Fall kann durch gleichmäßigen zirkulären Abtrag des infizierten Kanalwanddentins, in Kombination mit einer chemisch-medikamentösen Desinfektion des Endodons, eine Reduktion der Keimzahl erreicht werden [93]. *Delany* (1982) spricht von einer Zehnerpotenz,

während *Thoden van Velzen* et al. (1988) von einer Reduktion um den Faktor 500-1000 ausgehen [193].

Gefordert wird eine konische Aufbereitung, wobei die Präparationsform sich gleichmäßig von koronal nach apikal verjüngen soll. Man ist bestrebt, die ursprüngliche Kanalform weitgehend zu erhalten. Dies gilt insbesondere für gekrümmte Kanäle, deren Form vor allem im apikalen Drittel nicht begradigt werden darf [71, 98, 173, 200, 204-206]. Eine konische Präparationsform ermöglicht ein tieferes Eindringen der Spüllösungen und potenziert somit wesentlich ihre Wirkung [44, 45, 157]. Außerdem wird das Einbringen des Füllmaterials durch die konische Form erleichtert, was zu einer erhöhten Dichtigkeit und Wandständigkeit der Füllung führt [5, 206].

Um mögliche Verletzungen des apikalen Gewebes sowie ein Überpressen von Dentinspänen zu vermeiden, dürfen das *foramen apicale* und die apikale Konstriktion nicht in die Präparation mit einbezogen werden. Letztere bildet einen natürlichen Widerstand, gegen den die Wurzelkanalfüllung kondensiert werden kann. Zusätzlich gewährleistet eine intakte apikale Konstriktion eine minimale Berührungsfläche zwischen dem körperfremden Wurzelfüllmaterial und dem apikalen Gewebe [193].

Die Aufbereitungsform hängt von der Anatomie des Wurzelkanals ab, wobei die Präparation den ursprünglichen Wurzelkanalverlauf völlig umfassen muss. Dabei sollte darauf geachtet werden, so wenig Dentin wie nötig zu entfernen, um die Stabilität der Zahnwurzel nicht zu gefährden [193].

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Präparationsformen, die sog. standardisierte Aufbereitung und die Step-back-Methode. Die standardisierte Aufbereitungsform entspricht am ehesten den normierten Maßen der Wurzelkanalinstrumente und der Wurzelfüllstifte, wohingegen die Step-back-Präparationsform konischer als diese ist [193]. Dabei wird nach Aufbereitung des apikalen Kanalabschnitts das Instrument mit der folgenden Größe nicht mehr auf die volle Arbeitslänge eingeführt, sondern die Länge wird je nach Größe des Wurzelkanals in drei bis fünf Schritten sukzessive um den gleichen Abstand verkürzt [88, 193].

Die routinemäßige Anwendung der Step-back-Technik wird heute an vielen Universitäten, beispielsweise an über 80% der amerikanischen zahnmedizinischen Schulen gelehrt [41].

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass mit der Step-back-Technik im Vergleich zur standardisierten Aufbereitung sowohl eine bessere Kanalreinigung erreicht wird als auch, eine entsprechende Fülltechnik vorausgesetzt, die höchste Dichtigkeit erzielt werden kann [5, 45, 203, 206]. Deshalb sollte ihr der Vorzug vor der standardisierten Aufbereitungstechnik

gegeben werden [142]. Darüber hinaus führt dieses Verfahren weniger häufig zu Verletzungen des apikalen Kanalanteils als die standardisierte Aufbereitungstechnik und erhöht damit signifikant die Sicherheit und den Erfolg der manuellen Aufbereitung [159, 206]. Ein weiterer Vorteil der Step-back-Technik gegenüber der konventionellen Technik besteht darin, dass die größeren, weniger flexiblen Instrumente nicht im Bereich der stärksten Krümmung zum Einsatz kommen. Das verhindert einen einseitigen Materialabtrag im Wurzelkanal und damit die Schaffung eines Elbow-Zip-Effektes. Auch bei Anwendung der lateralen Kondensation ist die Step-back-Technik der Standardpräparation vorzuziehen [88]. Zum einen werden die Kondensationskräfte besser auf die Zahnhartsubstanz verteilt und somit die Gefahr einer Fraktur verringert [87], zum anderen können die Spreizinstrumente (Spreader) tiefer in den Kanal eingeführt werden, was zu einer Verbesserung der lateralen Kondensation und damit der Dichtigkeit der Wurzelfüllung führt [159]. Andere vergleichende Studien, beispielsweise von *Schafer* (1969), zeigen wiederum, dass mit der Balanced-force-Technik bessere Ergebnisse hinsichtlich des Erhalts der Kanalform erreicht werden konnten als mit der Step-back-Technik [172]. Einer Studie von *Wesselink* zufolge konnten die apikalen Abschnitte mit der Balanced-force-Technik besser gereinigt werden als mit Step-back- und Crown-down-Techniken [209].

Für den Heilungsverlauf scheint es wichtig zu sein, dass während der Präparation möglichst wenig Dentinspäne und infiziertes Material aus dem Wurzelkanal über das *foramen apicale* in den periradikulären Raum gepresst werden [93]. Nach *Holland et al.* (1980) führt die Kontamination der periapikalen Region mit infizierten Dentinspänen zu einer reduzierten Erfolgsaussicht der Behandlung [91]. In vielen Fällen kommt es zu einer postoperativen Bakteriämie, deren Häufigkeit bei Vorliegen einer nekrotischen Pulpa nach Angaben verschiedener Autoren zwischen 15,3% und 53,8% der Fälle liegt [25, 50].

2.4. Spüllösungen

Durch eine Spülflüssigkeit, die als Schmier- und Transportmedium wirkt, wird die mechanische Reinigung des Wurzelkanals effektiver [193]. Dadurch werden vor allem die bei der Aufbereitung gelockerten Dentinspäne, Gewebereste und Bakterien mechanisch entfernt, so dass auch Kanalabschnitte erreicht werden können, die einer mechanischen Aufbereitung nicht zugänglich sind [93]. Dadurch wird eine Blockade des Wurzelkanals verhindert.

Delany et al. (1982) und *Byström et al.* (1981) zeigten, dass eine Spülung des Wurzelkanals unter alleiniger Verwendung von Kochsalzlösung eine Reduktion der Bakterienanzahl um etwa das Zehnfache bewirkt [40, 51]. Effektiver sind Spüllösungen, die neben der

mechanischen Wirkung einen zusätzlichen antibakteriellen Effekt besitzen. Unter diesen Spüllösungen hat sich Natriumhypochlorit (NaOCl) als eines der stärksten und wirkungsvollsten Desinfektionsmittel zur Unterstützung der Wurzelkanalbehandlung erwiesen. Es stellt heute das wichtigste Spülmedium in der Endodontie dar [30, 80]. Nach *Byström* (1985) ist NaOCl bereits in einer 0,5%igen Konzentration antibakteriell wirksam, in höheren Konzentrationen wirkt es gewebeauflösend. Im allgemeinen wird eine Konzentration zwischen 0,5% und 2% empfohlen [39, 141].

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der antibakteriellen Wirkung von NaOCl-Konzentrationen zwischen 1%, 2,5%, und 5,25% bestehen [18, 179]. In einer Konzentration unter 1% ist NaOCl allerdings weniger effektiv als in höheren Konzentrationen [18].

In Konzentrationen von mehr als 5% hat NaOCl den Untersuchungen einiger Autoren zufolge eine toxische Wirkung auf das apikale Gewebe [9, 144, 145]. Diese Eigenschaft von NaOCl konnte an Zellkulturen nachgewiesen werden, jedoch gilt nicht als gesichert, ob dies auch auf die klinische Situation übertragbar ist. Belegt ist aber, dass die Anwendung von NaOCl in Lösungen von mehr als 5% zu postoperativen Beschwerden führen kann [80]. Diese können auch unabhängig von der Konzentration auftreten, wenn bei der Spülung der Kanäle mit einem zu hohem Druck gearbeitet wird [23].

Ebenfalls empfohlen wurde NaOCl in Kombination mit anderen Spüllösungen. So wird NaOCl häufig zusammen mit H_2O_2 als Wechselspülung verwendet. Allerdings konnte gezeigt werden, dass die alleinige Verwendung von NaOCl hinsichtlich der Bakterienreduktion eine höhere Effektivität aufweist als die Kombination der beiden [1, 124, 188]. Jüngere Studien deuten darauf hin, dass NaOCl in Kombination mit Chlorhexidin (CHX) der Vorzug gegeben werden soll [119]. CHX als alleiniger Spüllösung werden ebenfalls gute Eigenschaften zugestanden [217]. Im Vergleich zu NaOCl wurde es von einigen Autoren als gleichwertig oder sogar überlegen hinsichtlich seiner antimikrobiellen Eigenschaften getestet [101, 196]. Andere Studien bestreiten diesen Effekt [7].

Diskutiert wird ebenfalls darüber, ob die Entfernung des Smear Layers, der sich während der endodontischen Aufbereitung bildet, sinnvoll ist. Dieser besteht aus organischen und anorganischen Bestandteilen, wie Resten des Pulpagewebes, des Dentins, der Odontoblastenfortsätze und, bei vorhandener Infektion, auch aus Bakterien [113, 114, 155, 178]. Der Smear Layer reduziert die Haftung der Füllmaterialien an der Dentinoberfläche des Wurzelkanals und erschwert das Eindringen des Sealers in die Dentintubuli, was zu einer geringeren Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung führt. Er stellt darüber hinaus eine

Diffusionsbarriere dar, so dass es nach Entfernung des Smear Layers im Falle einer Reinfektion auch zu einer Penetration der Bakterien in die Dentintubuli kommen könnte [93, 178].

2.5. Wurzelkanalfüllung

Bei der Wurzelfüllung mittels der lateralen Kondensation werden neben dem Hauptstift (Masterpoint) akzessorische Guttaperchastifte in den Wurzelkanal eingebracht (Abb. 1). Der Masterpoint entspricht in seiner Größe dem zuletzt für die Aufbereitung der Arbeitslänge verwendeten Instrument (apikale Masterfeile) und sollte unter etwas Spannung eingepasst werden (Klemmpassung). Nach Einbringen des mit Sealer benetzten Masterpoints wird der Stift mit Hilfe eines bis kurz vor den Apex reichenden Spreaders nach apikal und koronal kondensiert. Im so entstandenen Raum wird ein akzessorischer Guttaperchastift, der die Größe des verwendeten Spreaders haben soll, eingeführt [69]. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sich der Spreader nur noch bis zu weniger als der Hälfte des Kanals einführen lässt [88].

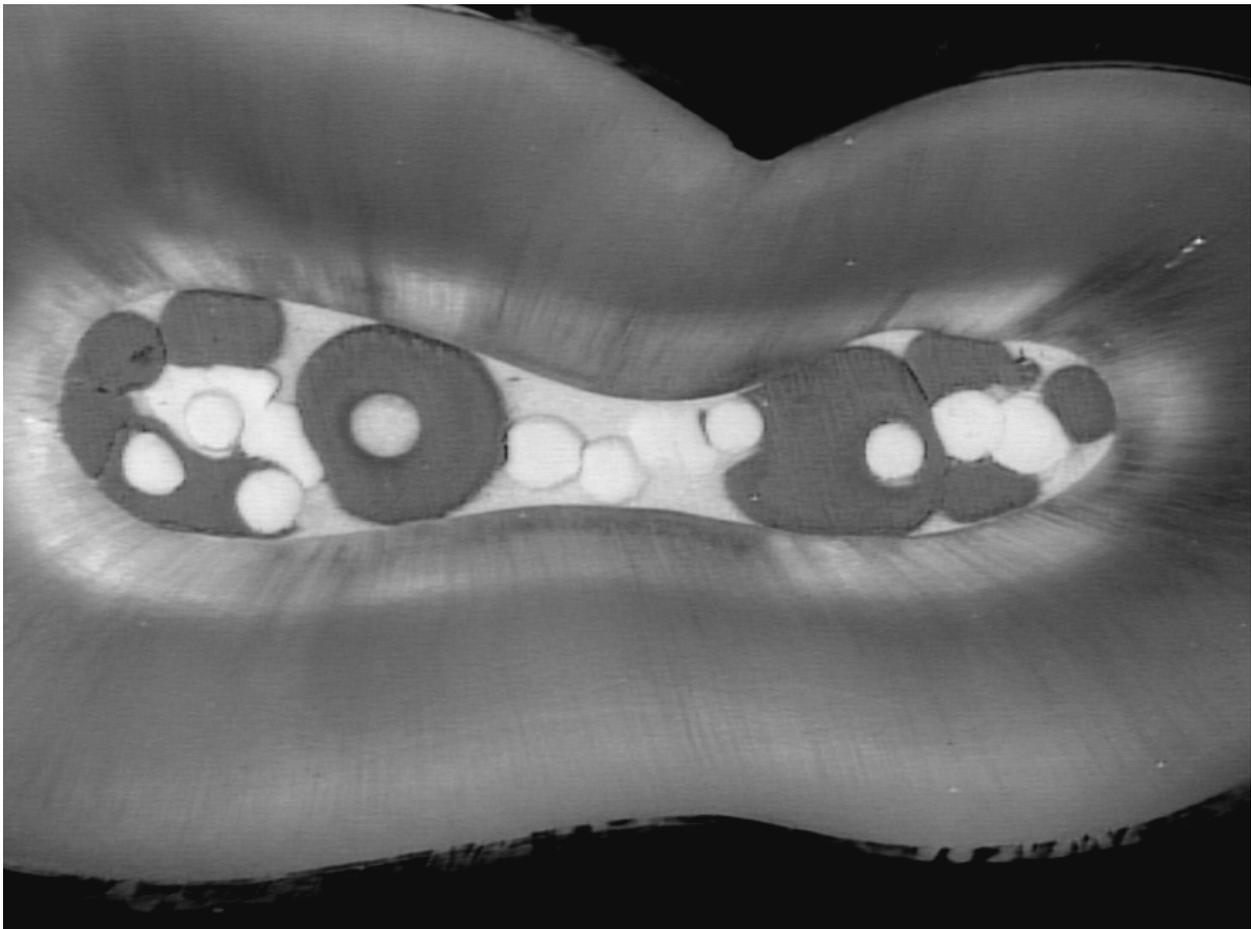


Abb. 1 Der Querschnitt eines Zahnes zeigt die Masterpoints und die akzessorischen Guttaperchastifte der mittels lateraler Kondensation gefüllten Wurzelkanäle

(Schnitthöhe 7 mm vor dem Apex)

Die in verschiedenen Studien gefundenen Ergebnisse über die laterale Kondensation differieren. Bei Dichtigkeitsuntersuchungen von Wurzelkanalfüllungen mit verschiedenen Fülltechniken berichten einige Autoren von hoher Dichtigkeit der lateral kondensierten Füllungen im Vergleich zu Füllungen, die mit Zentralstifttechnik [19, 20, 22] oder mit erwärmter Guttapercha durchgeführt wurden [82, 122, 130, 132].

Andere Studien zeigen, dass die lateral kondensierten Wurzelfüllungen sich mangelhaft an den Kanalverlauf anpassen [33, 35, 37]. Kanalausbuchtungen werden entweder nur unvollständig [33, 123] oder ausschließlich mit Sealer gefüllt [33, 37]. Ebenso zeigt die Dicke der Schicht des Sealers innerhalb der Füllung große Variationen [33, 123].

Einigen Untersuchungen zufolge sind innerhalb der Wurzelfüllung Porositäten und Inhomogenitäten zu beobachten, die darauf zurückzuführen sind, dass die Guttaperchastifte keine homogene Füllung bilden [33, 37, 47, 123, 129]. *Brothman* (1979) und *Nicholls* (1979) halten dagegen, dass die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung eher von der Passgenauigkeit des Masterpoints als von der Menge der Nebenstifte abhängig ist [35, 149].

Bei thermoplastischen Fülltechniken sind apikale Überschüsse häufiger als bei der lateralen Kondensation anzutreffen [6, 122, 130, 132]. Bei der lateralen Kondensation kann es durch einen zu hohen Kondensationsdruck zu vertikalen Wurzelfrakturen kommen [138, 158].

Voraussetzung für die optimale Durchführung dieser Fülltechnik ist eine entsprechende Übung seitens des Behandlers [128, 165]. Einer Studie von *Wong et al.* (1981) zufolge beträgt die durchschnittliche Füllzeit eines Wurzelkanals 5,60 ($\pm 1,10$) Minuten. Dieser erhöhte Zeitaufwand ist ihrer Meinung nach als Nachteil der lateralen Kondensation anzusehen [212].

Zu Erfolgsquoten von Wurzelkanalbehandlungen gibt es unterschiedliche Zahlen. *Kerekes* und *Tronstad* untersuchten 1979 die Wahrscheinlichkeit für Erfolg bzw. Misserfolg von Wurzelkanalbehandlungen bei unterschiedlichen präoperativen Verhältnissen hinsichtlich der Pulpavitalität. Dabei stellten sie fest, dass die Resultate nicht davon beeinflusst wurden, ob die Pulpa vital oder nekrotisch ist (92% bzw. 96% Erfolgsquote). Die Ergebnisse waren aber wesentlich schlechter (80% bzw. 84% Erfolgsquote), wenn eine periapikale Radioluzenz vorlag. Vor allem die Zahl der als zweifelhaft zu bewertenden Fälle stieg erheblich an [106].

Zu ähnlichen Ergebnisse führten die Untersuchungen von *Jokinen* (1978) sowie *Adenubi* und *Rule* (1976) [2, 102]. *Bergenholtz et al.* (1979) registrierten bei einer Nachuntersuchung von Wurzelkanalbehandlungen, die von Studenten und Endodontie-Spezialisten durchgeführt wurden, in 10 bis 20% der Fälle einen endodontischen Misserfolg. Die Misserfolgsquote stieg bei Vorhandensein von apikalen Radioluzenzen erheblich an [26].

Auerbach fand bei der Untersuchung von 325 wurzelkanalbehandelten Zähnen in 83% der Fälle radiologisch eine Ausheilung vor. Zu ähnlichen Ergebnissen (78%) kam auch *Castagnola*, der ebenfalls eine Analyse der Röntgenbilder als Kriterium heranzog [76].

Nach *Schmalz* (1990) kann durch eine Wurzelkanalbehandlung in ca. 70-80% der Fälle ein langfristiger klinischer Erfolg erreicht werden [174]. *Friedmann* et al. (1995) kamen zu ähnlichen Ergebnissen [65].

2.6. Revision

Die hohen Anforderungen, die an eine optimale Wurzelkanalaufbereitung und an die darauf folgende Wurzelfüllung gestellt werden, führen dazu, dass Wurzelkanalbehandlungen häufig misslingen. Als Kriterien für eine erfolgreiche endodontische Behandlung werden genannt:

- klinische Symptomfreiheit,
- röntgenologische Befunde (bis 0,5-2 mm vor dem Apex vollständig aufbereitete und dicht abgefüllte Kanäle),
- ein radiologisch durchgehend verfolgbarer Parodontalspalt normaler Breite (d.h. knöcherne Regeneration endodontisch bedingter, periradikulärer Läsionen und Stillstand ehemals progressiver Resorptionen) sowie
- histologische Ergebnisse [174, 193].

Ist eine Wurzelkanalbehandlung als nicht erfolgreich anzusehen, so kann eine erneute endodontische Aufbereitung (Revision) vorgenommen werden. Unter dem Begriff Revision versteht man die Wiederholung einer nicht erfolgreichen, zurückliegenden, endodontischen Behandlung [80]. Nach den Richtlinien der *Europäischen Gesellschaft für Endodontologie* ist eine endodontische Revision in folgenden Fällen indiziert:

Zähne mit unzureichender Wurzelfüllung und röntgenologischen Befunden und/oder Symptomen sowie Zähne mit unzureichender Wurzelkanalfüllung, wenn die koronale Restauration erneuert werden muss oder die Zahnkrone gebleicht werden soll [59].

Trotz dieser recht eindeutigen Vorgaben differieren die Entscheidungen der Zahnärzte hinsichtlich der Notwendigkeit, eine Revision durchzuführen, erheblich. In einer von *Hülsmann* (1994) durchgeführten Studie ergaben sich hinsichtlich der Einschätzung des Behandlungsbedarfs große Unterschiede zwischen den befragten Zahnärzten. In vielen Fällen, in denen eine Revision indiziert gewesen wäre, bevorzugte eine Mehrzahl von ihnen die Beobachtung der betroffenen Zähne [95].

Die Revision einer Wurzelfüllung stellt an den Behandler ähnliche, teilweise sogar höhere Anforderungen hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades. Es geht nicht nur darum, eine vorhandene unzureichende Wurzelfüllung zu entfernen, sondern auch um die Beseitigung frakturierter Instrumente und um die Aufbereitung obliterierter oder noch nicht instrumentierter Kanäle.

Anhand der häufigsten Füllungsart, der Füllung mit Guttapercha [131], sei im Folgenden die Vorgehensweise einer Revision dargestellt. Zunächst wird versucht, eine Hedströmfeile der ISO Größe 20 oder 25 im Uhrzeigersinn lateral der Wurzelfüllung einzurotieren, um diese daraufhin unter Zug im Ganzen oder stückweise zu entfernen. Ist dies nicht möglich, so kann die Guttapercha zu Beginn mit Eukalyptol oder Chloroform angelöst werden [185, 207]. Empfohlen wird, nach Entfernung der Wurzelfüllung ein Röntgenbild anzufertigen und die Kanäle auf das Verbleiben von Wurzelfüllresten hin zu überprüfen. Dies kann mit einer erneuten Längenmessung verbunden werden [207].

Da sich zwischen Füllmaterial und Kanalwand häufig Bakterien befinden, die für das Persistieren der Entzündung verantwortlich sind, sollten die Wurzelkanäle um weitere ISO-Größen aufbereitet werden [207]. Meistens ist bei einer Revision eine vollständige Gewebsentfernung auf Grund einer durch Pasten oder Dentinspäne entstandenen Verbolzung nicht möglich [17].

Persistierende Bakterien im Wurzelkanalsystem sind die Hauptursache für endodontische Misserfolge [147]. Diese sind meist die Folge unzureichender Aufbereitung und Entfernung der mikrobiellen Infektion [17]. *Grossman* (1972) sieht die Ursachen dafür vor allem in einer ungenügenden Diagnose und der daraus resultierenden unzureichenden Behandlung [77]. So weist die Qualität vorhandener Wurzelkanalfüllungen in Deutschland erhebliche Mängel auf [96]. Die Gründe hierfür liegen häufig in mangelhaften Kenntnissen der Wurzelkanalanatomie [16]. Da übersehene Hauptkanäle oder apikale Ramifikationen eine häufige Ursache endodontischer Misserfolge sind, ist das Wissen um die anatomischen Varianten des Wurzelkanalsystems der Zähne von größter Bedeutung [80].

Aufgrund der komplexen anatomischen Situation sind Wurzelkanalbehandlungen bei oberen Prämolaren recht häufig von einem endodontischen Misserfolg begleitet. Diese Zähne stellen einen überproportionalen Anteil der zu revidierenden Zähne dar [26]. *Allen et al.* (1989) sprachen nach Auswertung von 1300 Fällen von 15% aller Zähne. Die Mehrzahl der von ihnen untersuchten Zähne wurde ein bis zwei Jahre nach Durchführung der endodontischen Behandlung revidiert [4].

Eine insuffiziente Obturation, die in einer zu kurzen Wurzelkanalfüllung oder einer deutlichen Überfüllung resultiert, kann ebenfalls für einen Misserfolg verantwortlich sein [16]. Nach *Allen et al.* (1989) sind unvollständig abgefüllte Kanäle der häufigste Grund für eine Revision [4]. Dies wurde ebenso von *Ingle* und *Traintor* (1985) festgestellt [99]. In einer Nachuntersuchung von *Ketterl* (1984) an 530 Zähnen wurden 65% als unvollständig abgefüllt befunden [108].

Die erfolgreiche Durchführung einer Wurzelkanalfüllung ist in erheblichem Maße von der Kontrolle der mikrobiellen Infektion abhängig. Diese sollte im Idealfall bereits bei der Kariesexkavation beginnen und erst mit der endgültigen Versorgung des Zahnes enden [180]. Eine solche Infektionskontrolle wird am besten durch die Isolierung des zu behandelnden Zahnes mit Hilfe eines Kofferdams erreicht [210]. Diese Behandlungsmaßnahme findet, obwohl bereits seit vielen Jahrzehnten bekannt, in den Praxen verzögert Einzug. Umfragen unter englischen Zahnärzten ergaben, dass nur etwa 20% regelmäßig Gebrauch davon machen. 60% der Befragten gaben an, nie Kofferdam zu benutzen [210]. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Vielzahl der in der Praxis durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen nicht unter optimalen aseptischen Bedingungen stattfinden. Ein Teil der endodontischen Misserfolge ist auf mangelnde Sorgfalt hinsichtlich der Bakterienkontrolle während der Wurzelkanalbehandlung zurückzuführen [186].

Grossmann (1972) macht auf die bei der Wurzelkanalbehandlung auftretenden technischen Schwierigkeiten aufmerksam und hält sie ebenfalls für entstehende Misserfolge verantwortlich [77].

Als erfolgreich kann die Revision einer endodontischen Behandlung angesehen werden, wenn neben der klinischen Symptomfreiheit auch eine röntgenologisch sichtbare Verkleinerung der apikalen Läsion zu diagnostizieren ist [106, 180]. In einigen Fällen kann periapikal entstandenes Narbengewebe radiologisch mit einer apikalen Entzündung verwechselt werden [146]. Die Häufigkeit dieser Form der Regeneration wird mit etwa 2,5% angegeben [28].

Bergholtz et al. (1979) untersuchten 660 Zähne, deren Wurzelfüllungen zu revidieren waren. Gemäß des Vorhandenseins von Symptomen wurden die Zähne in zwei Gruppen eingeteilt. Die eine umfasste symptomlose Zähne mit mangelhaften Füllungen, die entweder zu kurz waren, einen Spalt neben der Wurzelfüllung oder einen apikal lokalisierten Hohlraum aufwiesen, die andere Zähne mit apikalen Aufhellungen oder klinischen Symptomen. Die Erfolgsquote der Revision betrug bei der Gruppe der symptomlosen Zähne 94% und war somit höher als in der zweiten Gruppe, in der es nur in 78% der Fälle zu einer Ausheilung

kam [26]. *Allen et al.* (1986) kamen zu ähnlichen Resultaten. Die Erfolgsquote bei den von ihnen untersuchten Zähnen betrug 72,7% [4].

Die apikalen Verhältnisse haben hierbei einen starken Einfluss auf den Heilungsverlauf. So fanden *Engström et al.* (1964), dass die Misserfolgsquote mit zunehmender Größe einer vorhandenen apikalen Aufhellung stark anstieg. Betrug der Durchmesser der Radioluzenzen mehr als 5 mm, so konnte durch eine Revision nur in weniger als 50% der Fälle ein Erfolg verzeichnet werden. Bei Fehlen von apikalen Aufhellungen sank die Misserfolgsquote auf unter 12% [60]. Bekannt ist ebenfalls, dass das Überfüllen von Kanälen schwieriger zu revidieren ist und die Erfolgsquoten solcher Revisionen vermindert sind [27]. Ähnliches gilt auch, wenn bereits eine Revision der Wurzelfüllung stattgefunden hat. Die besten Resultate konnten erzielt werden, wenn der Grund für die Revision in der Anatomie lag (übersehener, nicht aufbereiteter Kanal) oder nur eine unvollständige Wurzelfüllung verbessert werden musste.

Vergleicht man die Zahlen für Erfolgsquoten von Revisionen mit denen für chirurgische Verfahren, so spricht vieles für die Annahme, dass eine Revision vorzuziehen ist. Zwar konnten *Allen et al.* (1989) feststellen, dass die direkten Misserfolgsquoten von Revisionen, Wurzelspitzenresektionen und Wurzelspitzenresektionen mit retrogradem Verschluss etwa im gleichen Bereich lagen (ca. 15%), jedoch war die Erfolgsquote höher. Bei den Wurzelspitzenresektionen und Wurzelspitzenresektionen mit retrograden Verschluss konnten in 57,4% bzw. 60% direkte Erfolge erzielt werden, bei der Revision waren es 72,7%. Bei den zuerst genannten Verfahren wurden 27,2 bzw. 22,9% der Fälle als unklar bezeichnet, im Vergleich zu 12,1% bei Revisionen [4].

Demgegenüber konnten *Kvist et al.* (1999) nach 24 Monaten *post operationem* keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Ausheilung zwischen chirurgischen Verfahren und Revisionen feststellen. Ein solcher konnte aber nach einem Untersuchungszeitraum von 12 Monaten verzeichnet werden. Demnach war zu diesem Zeitpunkt die Erfolgsquote für die Wurzelspitzenresektionen signifikant höher als die für konservativ behandelte Zähne [120]. Sie folgerten daraus, dass eine chirurgische Behandlung die Heilung beschleunigt. Die Ergebnisse ließen außerdem den Schluss zu, dass einige Misserfolge nach chirurgischer Behandlung erst zu einem späteren Zeitpunkt auftraten.

Zusammenfassend kann man davon ausgehen, dass die Erfolgsquote für Revisionen zwischen 60% und 80%, und damit niedriger als für Erstbehandlungen liegt [94].

In den oben genannten Studien konnte gezeigt werden, dass Revisionen von Wurzelfüllungen einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der klinischen Situation leisten können. Nach

Schröder et al. (1981) sollte ihnen daher der Vorzug vor einer chirurgisch-endodontischen Maßnahme gegeben werden [175].

2.7. Wurzelspitzenresektion

Seit ihrer Systematisierung durch *Partsch* (1899) Ende des vorigen Jahrhunderts hat sich die Wurzelspitzenresektion (WSR) zu einem Standardoperationsverfahren der chirurgischen Zahnerhaltung entwickelt [55, 154]. Nach der Zahnextraktion ist sie der am häufigsten durchgeführte zahnärztliche chirurgische Eingriff. So wurden in der Bundesrepublik 1986 ca. 150 000 Zähne reseziert [192].

Bei der Wurzelspitzenresektion wird die Wurzelspitze mitsamt der *regio ramificationis*, die aufgrund der Verzweigung des Wurzelkanals kaum zu reinigen ist, entfernt, wodurch eine Abheilung in der apikalen Region ermöglicht werden soll. Die Operation beinhaltet auch die Entfernung des periapikalen pathologischen Gewebes, das sich als Abwehrreaktion gegen pathogene Keime im Wurzelkanal gebildet hat.

Eine Wurzelspitzenresektion sollte dann durchgeführt werden, wenn eine konventionelle Wurzelkanalbehandlung nicht mehr möglich ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn nicht entfernbare Materialien den Wurzelkanal blockieren [79].

Die Indikationen für eine WSR werden nach den Richtlinien der *Europäischen Gesellschaft für Endodontologie* wie folgt angegeben:

- Obliterierte Kanäle mit röntgenologischen Befunden und /oder Symptomen.
- Überpresste Materialien mit klinischen oder röntgenologischen Befunden und/oder Symptomen, die über einen längeren Zeitraum andauern (z. B. heftige, nicht nachlassende und mehr als eine Woche andauernde Schmerzen).
- Fehlgeschlagene Wurzelkanalbehandlungen, bei denen eine Revision nicht angebracht ist.
- Perforationen der Wurzel oder des Pulpakammerbodens in Kombination mit einem röntgenologischen Befund oder Symptomen, wenn eine Therapie vom Zahninneren her nicht möglich ist [59].

Der selben Quelle zufolge werden als Kontraindikationen für die WSR angegeben:

- Lokale anatomische Faktoren, wie z.B. eine unzugängliche Wurzelspitze.
- Zähne ohne ausreichenden parodontalen Halt.
- Unkooperative Patienten.
- Patienten mit stark beeinträchtigtem allgemeinen Gesundheitszustand [59].

Bei Durchführung einer Wurzelspitzenresektion kann die Wurzelfüllung entweder präoperativ, in einer separaten Sitzung oder intraoperativ durchgeführt werden. Im Folgenden werden die Schritte des Standardoperationsverfahren kurz aufgelistet:

Nach durchgeführter Inzision wird der bevorzugte Lappen mit einem Raspatorium abgehoben und das Periost vom Knochen gelöst. Nachdem der Apex des zu resezierenden Zahns lokalisiert wurde, wird der labiale Knochen oberhalb der Wurzelspitze unter stetiger Kühlung mit physiologischer Kochsalz- oder mit Ringer-Lösung vorsichtig abgetragen. Wenn die Wurzelspitze lokalisiert ist, wird der sie bedeckende Knochenanteil entfernt. Daraufhin erfolgt die Resektion der Wurzelspitze, entweder mit hochoffenen Diamanten oder mit sterilen Knochenfräsen bzw. einem Rosenbohrer. Bei bestehenden apikalen Entzündungen und/oder Zysten wird das pathologische Weichgewebe mit scharfen chirurgischen und parodontalen Küretten herausgeschält. Dieser Eingriff wird im Falle einer apikalen Entzündung als „apikale Kürettage“ bzw. bei Entfernung von Zysten als „Zystektomie“ bezeichnet [80]. Nach Wundverschluss sollte zur Kontrolle der Operation in jedem Fall ein postoperatives Röntgenbild angefertigt werden [195]. Im Falle der Durchführung einer intraoperativen Wurzelfüllung wird diese nach Freilegung der Wurzelspitze vorgenommen. Dabei ist besonders auf ein blutarmes und trockenes Operationsfeld zu achten [80].

Der Erfolg des Eingriffs hängt vor allem von einer exakten Wurzelfüllung ab [67, 192].

Die Frage, ob eine präoperative oder eine intraoperative Wurzelfüllung Vorteile bietet, wird unterschiedlich beantwortet. Einige Autoren empfehlen die intraoperative Wurzelfüllung wegen der direkten Sicht [168, 213]. Andere bevorzugen eine präoperative Wurzelfüllung, da diese bei trockenen Kanälen erfolgt und die Operationszeit verkürzt [143, 171]. Eine verlängerte Operationsdauer kann das vermehrte Eindringen von Keimen und Fremdkörpermaterial in das Operationsgebiet zur Folge haben [166]. *Khoury et al.* (1987) fanden in einer prospektiven Vergleichsstudie bessere Heilungsergebnisse bei Wurzelspitzenresektionen, wenn eine präoperative Wurzelfüllung erfolgte [109]. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen *Tschamer* (1956), *Harnisch* und *Grieger* (1967) und *Novak* (1971) in vergleichenden Untersuchungen [85, 151, 195]. *Khoury et al.* (1987) kamen nach Auswertung ihrer Studie zu dem Schluss, dass die Heilung nach intraoperativer Wurzelfüllung verzögert, aber nur geringfügig schlechter verläuft als nach präoperativer Wurzelfüllung. Die Unterschiede zwischen beiden untersuchten Gruppen (Patienten mit präoperativen und intraoperativen Wurzelfüllungen) waren nur bei der ersten Nachuntersuchung sechs Monate post operationem signifikant. Zu einem späteren Untersuchungszeitpunkt kam es in der Mehrzahl der Fälle zu

einer deutlichen Verbesserung in der Gruppe mit intraoperativ durchgeführten Wurzelfüllungen [109].

Untersuchungen von *Lindemann et al.* (1987), *Nordenram* und *Swärdström* (1970), sowie *Grung* (1972) zeigten bessere Resultate hinsichtlich der Erfolgsquote bei intraoperativer Wurzelfüllung [78, 127, 150]. Dabei zeigte sich, insbesondere bei den Untersuchungen von *Lindemann et al.* (1987), dass trotz klinischer Symptomlosigkeit röntgenologisch auffällige Befunde vorzufinden waren [127]. Da der Erfolg einer Wurzelspitzenresektion zum großen Teil von der Qualität der Wurzelfüllung abhängt [109], sollte bedacht werden, dass aufwendige Wurzelfülltechniken wie z.B. die laterale Kondensation schwer mit der Forderung nach einer kurzen Operationsdauer vereinbart werden können. Die laterale Kondensation erfordert zudem eine übermäßig konische Aufbereitung, beispielsweise mit Hilfe der Step-back-Technik (s. o.), die *intra operationem* kaum zu realisieren ist. Die intraoperative Wurzelfüllung bietet zwar den Vorteil, unter Sicht durchgeführt zu werden, dafür wird aber eine unter dem Gesichtspunkt der Wandständigkeit schlechtere Wurzelfüllung in Kauf genommen. Dies gilt insbesondere für die apikale Dichtigkeit [74]. *Khoury et al.* (1987) empfehlen besonders bei Molaren, eine präoperative Wurzelfüllung durchzuführen, um die Operationszeit zu verkürzen. Es müsse jedoch in jedem Fall eine dichte Wurzelfüllung vorhanden sein, da diese ihrer Meinung nach wichtiger für den Erfolg der WSR sei als die Operationszeit [109].

Komplikationen und Misserfolge von Wurzelspitzenresektionen resultieren häufig als Folge einer falschen Indikationsstellung bzw. Operationstechnik. Dabei kommt es bei Patienten mit systematischen Erkrankungen, beispielsweise Diabetikern, häufiger zu Nahtdehiszenzen, Abszessbildungen und Fistelungen. Auch die Art der Schnittführung hat einen Einfluss auf den Heilungsverlauf, ebenso wie die Nahttechnik. *Kopp et al.* (1987) geben nach Auswertung von 3281 Fällen dem Zahnfleischrandschnitt sowie der Einzelknopfnahat den Vorzug vor anderen Methoden. Alter und Geschlecht der Patienten haben der gleichen Untersuchung zufolge keinen Einfluss auf den Heilungsverlauf [115].

Die Angaben zu Erfolgsquoten für orthograde Wurzelspitzenresektionen variieren in der Literatur zum Teil erheblich. *Mayr* (1987) beobachtete bei 82% der von ihm nachuntersuchten 335 wurzelspitzenresezierten Zähne eine vollständige sowie in 13% der Fälle eine unvollständige Heilung. Er registrierte lediglich in 5% der Fälle einen Misserfolg [136]. Zu ähnlich guten Ergebnissen hinsichtlich der Heilungsaussichten kamen *Rud et al.* (1972) und *Wörle* und *Wirsching* (1977), die nur in 3% bzw. 5% der Fälle Misserfolge vorfanden [169, 214]. Diese Erfolgsquoten konnten von *Harnisch* und *Grieger* (1967) nicht beobachtet

werden. Sie fanden lediglich in 46% eine vollständige, in weiteren 32% eine unvollständige Heilung vor, in 21% der Fälle kam es zu einem Misserfolg [85]. Eine ähnlich hohe Misserfolgsquote fand sich mit 17% lediglich in der von *Taatz* und *Seiter* untersuchten Gruppe, wobei keine Unterscheidung zwischen orthograd und retrograd gefüllten Zähnen getroffen wurde [67]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wurzelspitzenresektion ein erprobtes Verfahren in denjenigen Fällen ist, in denen eine konservative Behandlung nicht mehr möglich ist. Ihre Erfolgsaussichten sind als gut einzuschätzen, wenngleich die vorliegende Literatur häufig keine Differenzierung zwischen den einzelnen Zahngruppen macht. Wie die statistischen Untersuchungen von *Bumberger-Nießbeck* et al. (1987), sowie *Khoury* et al. (1987) ergaben, sind es vor allem die oberen Frontzähne, die einer Wurzelspitzenresektion zugeführt werden [38, 109]. Daher ist aufbauend auf diesen Materialien, ein direkter Vergleich zwischen Erfolgsquoten von Wurzelkanalfüllungen, Revisionen und Wurzelspitzenresektionen nur bedingt möglich.

Die retrograde Wurzelkanalfüllung verschließt im Sinne einer Ergänzungsfüllung das Kanalsystem von apikal. Dadurch soll eine Reinfektion aus dem Wurzelkanal verhindert werden. Ursprünglich als primäre chirurgische Versorgung gedacht, zeigte sich aber, dass die Misserfolgsquoten so hoch waren, dass man heute der Ansicht ist, dass sie als alleinige Maßnahme bestenfalls ein Notbehelf ist. Als ergänzende Maßnahme ist sie aber allgemein akzeptiert [55].

Eine retrograde Wurzelfüllung ist dann indiziert, wenn sich Instrumente oder Wurzelstifte nicht orthograd entfernen lassen, bzw. wenn der Kanal von koronal nicht instrumentiert werden kann. In einem solchen Fall muss die retrograde Wurzelfüllung als alleinige Therapie durchgeführt werden. Sie kann als zusätzliche Maßnahme immer dann erfolgen, wenn bei der Wurzelkanalbehandlung der Kanalverlauf nicht beachtet wurde und der ursprüngliche Kanal nachträglich nicht mehr aufbereitet werden konnte [79]. Schließlich können auch bei einwurzeligen, zweikanaligen Zähnen interkanalikuläre Zwischenräume bzw. schlitzförmige Kanäle auf diese Weise dicht verschlossen werden.

Die Präparation der retrograden Kavität erfolgt entweder mit Hilfe spezieller Mikrowinkelstücke (beispielsweise der Firma KaVo) oder mittels Ultraschallpräparation. Mikrowinkelstücke stellten bis Ende der achtziger Jahre die einzige Möglichkeit dar, eine geeignete Kavität apikal zu präparieren, da andere rotierende Systeme aufgrund ihrer Größe keinen Einsatz finden konnten. Dabei musste außergewöhnlich viel periapikaler Knochen

geopfert werden, so dass ihr Einsatzgebiet auf den Bereich der Frontzähne und Prämolaren beschränkt blieb. Die verwendeten Bohrer (12 mm) sind zu groß und verhindern die Sicht während der Präparation. Der ungünstige Winkel zwischen Bohrer und Zahnachse kann zur Gefahr einer Perforation führen. Bei Vermeidung einer solchen kann die Kavität oft nicht tief genug präpariert werden [79]. Gefordert wird eine Tiefe der Kavität von etwa 3 mm [121]. Die Nachteile der Präparation mit Hilfe von Mikrowinkelstücken können durch den Einsatz ultraschallbetriebener Instrumente weitgehend vermieden werden. Bei der Ultraschallpräparation werden spezielle mikrochirurgische „Retrotips“ mit Hilfe von Ultraschallenergie in elektromagnetische Schwingungen versetzt. Der kleinere Instrumentendurchmesser erlaubt die Schonung des periapikalen Knochens und zudem eine konservative, nicht überdimensionierte Kavitätenpräparation. Die diamantierten Instrumentenspitzen ermöglichen eine glatte und ebene Kavitätenpräparation in der Längsachse des Wurzelkanals bis zur gewünschten Tiefe. Auch apikale Perforationen können so weitgehend vermieden werden [79].

Zur Füllung der Kavität wurde bis heute noch kein Material entwickelt, das hinsichtlich seiner Eigenschaften bzw. der Fülltechnik optimal geeignet wäre. Bereits zu Beginn dieses Jahrhunderts wurde Amalgam als retrogrades Füllmaterial erfolgreich eingesetzt [68]. Mit Hilfe zahlreicher experimenteller Studien wurde nachgewiesen, dass Amalgam nach seiner Abbindung eine kaum nachweisbare Zytotoxizität besitzt und überdies weder korrodiert noch resorbiert werden kann [29, 62, 167]. Darüber hinaus ist es nach *Friend* und *Browne* (1968) gegenüber dem apikalen Gewebe inert [66].

Untersuchungsergebnisse gestehen Amalgam als retrogrades Füllmaterial ein gutes Abdichtungsvermögen zu. Im Vergleich mit anderen getesteten Materialien wie Guttapercha zeigte sich, dass Amalgam diesen gleichwertig bzw. teilweise überlegen war [24, 111, 152]. Andere Studien kamen zu gegenteiligen Ergebnissen [8, 31, 184].

Glasionomerezemente gehören zu den verbreitetsten retrograden Füllmaterialien. Sie besitzen neben einer guten Biokompatibilität die Eigenschaft, an Dentin zu haften [105]. Andere Studien berichten von einer zytotoxischen Wirkung bei frisch angemischtem Glasionomerezement, die aber bereits nach 24 Stunden nicht mehr nachweisbar sein soll [48, 139]. Während der Abbindung sollte das Füllmaterial durch die Applikation eines Kavitätenlacks vor Feuchtigkeit und Austrocknung geschützt werden [8, 176]. *Olson* et al. (1990) machten auf das Problem der Feuchtigkeit und Blutung aufmerksam, weil vor allem in der initialen Abbindephase die Feuchtigkeit die Abbindung beschleunigt und die Adhäsion am Dentin vermindert wird [152]. Die zähfließende Konsistenz des Glasionomerezements sorgt

zwar für eine gute Applizierbarkeit, seine Stopfbarkeit ist allerdings ungenügend. Dadurch besteht die Gefahr des Verbleibens größerer Hohlräume zwischen Kavitätenwand und Füllung [110].

Mit der Einführung des Super-EBA-Zements war man der Meinung, eine gleichwertige Alternative für Amalgam gefunden zu haben. Die klinischen, röntgenologischen sowie histologischen Resultate, die erste Studien erbrachten, zeigten ein Abdichtungsvermögen, das dem von Silberamalgam überlegen war [79]. Darüber hinaus besitzt Super-EBA-Zement eine gute Gewebeverträglichkeit, ein hervorragendes Adhäsionsvermögen, sowie eine geringe Löslichkeit [153]. In-vitro-Studien zur Dichtigkeit von Super-EBA-Zement zeigten im Vergleich zu Amalgam, Guttapercha und Glasionomerezementen mehrheitlich hervorragende Ergebnisse [31, 111, 189].

Szeremeta-Browar et al. (1985) machten auf die Nachteile des Super-EBA-Zements aufmerksam. Seine Kondensation in die retrograde Kavität ist außerordentlich schwierig und die Abbindezeit ist unterschiedlich lang, da sie einerseits von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, andererseits von der Konsistenz des Gemischs abhängig ist. Daher mussten zahlreiche Füllungen wiederholt werden [189]. Da Super-EBA-Zement Eugenol enthält, dürfte sein Einsatz im Hinblick auf die Biokompatibilität zumindest als fraglich anzusehen sein.

Guttapercha wird seit Jahrzehnten als retrogrades Wurzelfüllmittel verwendet, allerdings mit unterschiedlichem Erfolg. Da sie von alleine nicht wandständig ist, muss sie in jedem Fall in Kombination mit einem Sealer in die Kavität eingebracht werden [152]. Die Applikation in die kleine retrograde Kavität während der Operation ist problematisch und praktisch kaum durchführbar. Die thermoplastische Fülltechnik schneidet bei In-vitro-Versuchen im Vergleich zu Amalgam und Glasionomerezement signifikant schlechter ab [152]. Die sogenannte kalte Technik mit lateraler Kondensation und Brünieren ist *lege artis* nur *in vitro* möglich [79].

Wenn es um einen Vergleich geht, welche Form der Wurzelspitzenresektion die höheren Erfolgsquoten aufweist, so kommen die meisten Studien zu einem besseren Ergebnis für die Wurzelspitzenresektion ohne zusätzliche retrograde Wurzelfüllung. Dies konnte in Nachuntersuchungen von *Hürlimann* (1946), *Nordenram* und *Svårdström* (1970), sowie *Rud* et al. (1972) gezeigt werden [97, 150, 169]. Andere Autoren berichten von besseren [211], bzw. von ähnlichen [86] Ergebnissen hinsichtlich der Heilungsaussichten für die retrograde Wurzelfüllung bei der WSR im Vergleich zur Wurzelspitzenresektion ohne zusätzliche retrograde Füllung. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind zu einem Teil dadurch zu erklären,

dass die Autoren unterschiedliche Kriterien zur Beurteilung der Ausheilung heranzogen, dass die Beobachtungszeiträume sich unterschieden, sowie die Indikationen für die jeweiligen operativen Eingriffe [169]. Eine retrograde zusätzliche Wurzelfüllung wird häufig dann vorgenommen, wenn eine Wurzelspitzenresektion als alleinige Maßnahme wenig erfolgversprechend ist. Die Heilungsaussichten für diese Zähne sind daher häufig von Beginn an schlechter, so dass die Ergebnisse für die unterschiedlichen Methoden nur bedingt verglichen werden können.