

## 1. Einleitung

### 1.1 Endodontologie

Der Begriff Endodontologie steht für die Lehre des Aufbaus, Biologie, Pathologie, Diagnostik und Therapie der Pulpa und der periapikalen Region. Die Endodontie ist ein Teilgebiet der Zahnerhaltung, sie beinhaltet zum einen vitalerhaltende Therapiemaßnahmen der Zahnpulpa, als auch die praktische Durchführung der Wurzelkanalbehandlung bei Sensibilitätsverlust der Zahnpulpa. Das Ziel ist die langfristige Zahnerhaltung, die durch eine gründliche medizinische und endodontische Behandlung ermöglicht wird. Wichtige Punkte sind dabei die Reinigung und Formgebung der Wurzelkanäle, Desinfektion durch chemische Maßnahmen wie Spülungen mit Natriumhypochloritlösungen und der anschließenden vollständigen Obturation der Wurzelkanallumina.

### 1.2 Aufgaben der Wurzelkanalaufbereitung

Der wichtigste Abschnitt in der endodontischen Therapie ist die umfassende Aufbereitung des Wurzelkanals. Ihm kommt somit eine Schlüsselfunktion in bezug auf den langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zu (Allison, 1979). Bei korrekter Wurzelkanalaufbereitung sind die Erfolgsaussichten in der Literatur mit 80% und mehr angegeben (Byström, 1987; Schmalz, 1990; Friedmann, 1998).

Krekes und Tronstad (1979) konnten in ihren Untersuchungen sogar eine durchschnittliche Erfolgsrate von 91% dokumentieren.

Zahn	1	2	3	4	5	6	7	8
Oberkiefer	88%	80%	98%	87%	97%	90%	90%	90%
Unterkiefer	86%	86%	96%	91%	91%	91%	91%	91%

Tab. 1.1: Zahnbezogene Erfolgsquoten in Prozent 3 bis 5 Jahre nach Wurzelkanalbehandlung (Krekos und Tronstad)

Die mechanische Aufbereitung beinhaltet die Erweiterung des Kanallumens und die Formgebung des Wurzelkanals, um optimale Voraussetzungen für die anschließende Wurzelkanalfüllung zu schaffen. Die chemische Aufbereitung wird ergänzend zur instrumentellen, maschinellen Aufbereitung angewendet und ist durch den Gebrauch spezifischer Spüllösungen charakterisiert. (Walton, 1992). Die chemische Aufbereitung ermöglicht ein Herausschwemmen der durch die mechanische Aufbereitung entstandenen Dentinspäne und nekrotischer Pulpareste; gewebsauflösende Substanzen in den Spülmitteln lösen nekrotisches Gewebe in Haupt- und Seitenkanälen, welche nicht vollständig durch mechanische Kanalaufbereitung erfaßt werden können (Moorer, 1982). Einige Spülmittel führen durch ihre bakterizide oder bakteriostatische Wirkung zu einer deutlichen Keimreduktion, wodurch langfristige klinische Erfolge erst ermöglicht werden (Friedmann, 1998).

Die Natriumhypochloritlösung (NaOCl) ist die in der Endodontie am meisten verbreitete Spüllösung. Sie wird in 0,5- bis 5,25%igen Konzentrationen eingesetzt. NaOCl zeichnet sich durch seine bakteriziden bzw. desinfizierenden als auch gewebeauflösenden Eigenschaften aus (Dammaschke, 1999). Dieser Effekt wird durch die Chlorierung der im Wurzelkanal befindlichen Substanzen erreicht. Zur Unterstützung der chemischen Aufbereitung wird der Komplexbildner EDTA (rc-prep®; Premier Dental, Norristown, USA) benutzt. Die Gefahr des Instrumentenbruchs im Kanal wird durch die im feuchten Milieu sich geringer ausbildende Schmierschicht deutlich herabgesetzt. Das Präparat rc-prep® (Stewart et al., 1969) setzt sich zu 15% aus dem Komplexbildner

Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA) und 10% Harnstoffperoxid in einem Polyäthylenglykolträger zusammen. In Untersuchungen von Cohen et al. (1970) wies es eine ausgezeichnete Gleit- und Reinigungswirkung auf, die durch eine erhöhte Dentinpermeabilität noch verstärkt wird (Goldberg, 1977; Byström, 1985). Durch die Kombination der mechanischen und chemischen Aufbereitung sollen folgende Ziele angestrebt werden (Grossmann, 1988):

1. vollständige Entfernung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe
2. mechanische Entfernung von Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal und der Wurzelkanalwand
3. Erhöhung der desinfizierenden Wirkung von Spüllösungen durch Vergrößerung des Wurzelkanallumens
4. Formgebung des Wurzelkanals zur Ermöglichung der vollständigen Obturation des Wurzelkanalsystems

### 1.3 Instrumente und Arbeitstechniken bei der Wurzelkanalaufbereitung

Die Wurzelkanalpräparation setzt sich aus drei Arbeitsschritten zusammen:

1. die Entfernung des Pulpagewebes
2. die Reinigung des Wurzelkanals und
3. die Formgebung des Wurzelkanals

Man unterscheidet verschiedene Techniken, die durch ihre individuelle Vorgehensweise zu unterschiedlichen Formen der zu verschließenden Wurzelkanäle führen. Als klassische Technik sei an dieser Stelle die Standardisierte Präparation erwähnt (Ingle, 1961). Sie hat zum Ziel, eine konische Wurzelkanalform zu schaffen. Die geschaffene Konizität des Kanals entspricht somit annähernd der Konizität des zuletzt verwendeten Instrumentes.

Aus dieser Aufbereitungstechnik entwickelte sich in den 50er Jahren die Einführung der iso-normierten Wurzelkanalinstrumente. In den darauffolgenden Jahrzehnten sind verschiedene Instrumentenformen und –größen entwickelt worden. In der ISO-Norm Nr. 3630 wurden die Maße und Toleranzen für Wurzelkanalinstrumente exakt festgelegt (International Organization for Standardization, 1992; Genf).

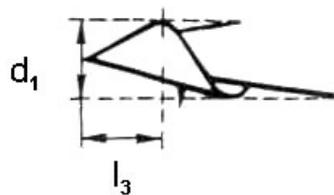


Abb.: 1.1

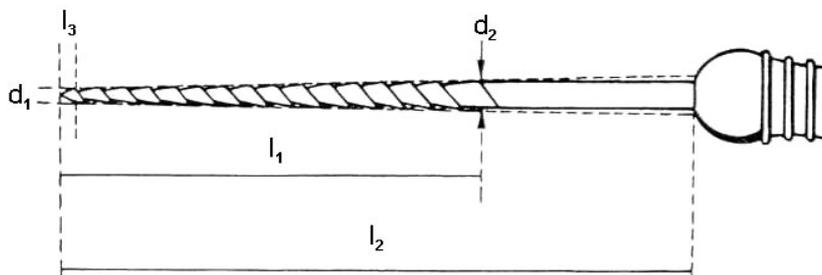


Abb.: 1.2

Abb.1.1 und 1.2: Iso-Stärken und –Längen nach ISO 3630

$d_1$  Durchmesser des theoretisch bis zur Spitze verlängerten Kegels des Arbeitsteils. Bezeichnet die ISO- Stärke in 1/100 mm.

$d_2$  ist der Durchmesser am Ende des 16mm langen Arbeitsteils.

Es gilt:  $d_2 - d_1 = 0,32\text{mm}$

$l_1$  Länge des Arbeitsteils = mindst. 16mm.

$l_2$  Arbeitslänge gemessen von der Spitze bis zum Ende des Schafts. Die zulässige Toleranz ist  $\pm 0,5\text{mm}$ .

$l_3$  Länge der Spitze = 1mm

Es werden 3 Grundtypen von Instrumenten in der Endodontie unterschieden:  
Reamer, K-Feilen und Hedströmfeilen.

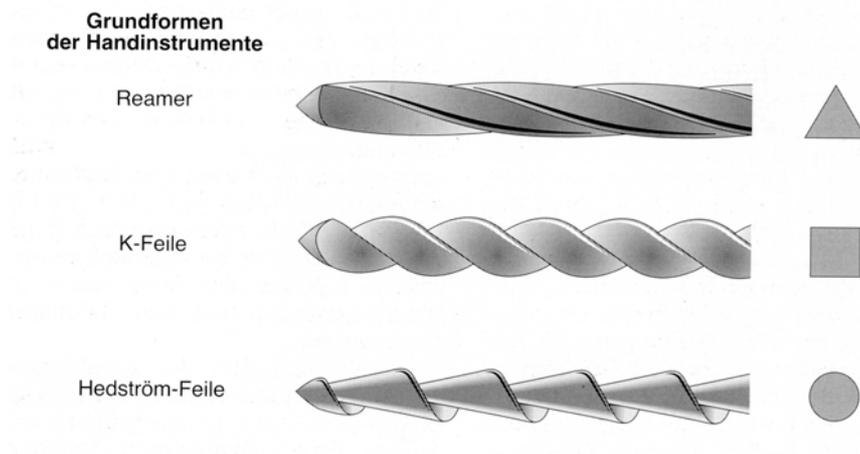


Abb.1.3: Grundformen der Handinstrumente zur Aufbereitung des Wurzelkanals (aus Einführung in die Zahnerhaltung; Urban & Fischer)

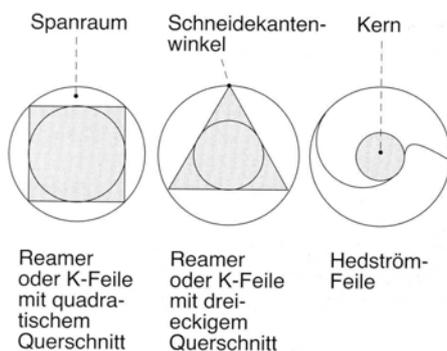


Abb. 1.4: Spanraum, Schneidekantenwinkel und Kern

Reamer sind aus dreieckigen oder quadratischen Rohlingen durch Verdrillung hergestellte Instrumente. Sie weisen ca.  $\frac{1}{2}$  bis 1 Verwindung pro mm des Arbeitsteils auf. Der Spanraum wird als Maß für die Abtragsleistung eines Instrumentes und die Möglichkeit Wurzelkanalmaterial aus dem Kanal

herauszutransportieren genommen (Weine,1989). Der Schneidekantenwinkel, d. h. der Winkel den die Schneidekante mit der Instrumentenlängsachse bildet beträgt für dieses Instrument etwa  $10^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$ . Dies bedeutet, dass der Reamer zu optimalen Ergebnissen bei drehend-schabender Arbeitsweise gelangt (Hoppe, Heinen; 1983). Der Spanraum eines Instruments ist letztendlich vom Kerndurchmesser des Instrumentes abhängig. Je mehr Platz durch den Instrumentenkern eingenommen wird, um so geringer ist der Spanraum. Hieraus resultiert eine geringere Flexibilität und eine erhöhte Bruchsicherheit. Der Reamer gilt durch das ausgeglichene Verhältnis Kerndurchmesser/Spanraum als besonders bruchsicher.

K-Feilen erhalten ihren dreieckigen oder viereckigen Querschnitt ebenfalls durch maschinelle Verdrillung entsprechend geformter Rohlinge. Sie besitzen ca. doppelt soviel Windungen pro mm Arbeitsteil, das entspricht etwa  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  Windungen. Der Schneidekantenwinkel liegt zwischen  $25^{\circ}$  und  $40^{\circ}$ . Auch hier ist für einen effektiven Einsatz eine drehende Arbeitsweise notwendig.

Hedströmfeilen werden aus einem runden Rohling gefräst und besitzen eine umlaufende Schneidekante. Der Schneidekantenwinkel beträgt ungefähr  $60^{\circ}$  bis  $65^{\circ}$ . Hieraus resultiert eine linear feilende Arbeitsweise. Der im Verhältnis zum Reamer und der K-Feile kleine Instrumentenkern verdeutlicht die erhöhte Frakturgefahr dieser Instrumente.

Die Schneidleistung der Instrumente ist von unterschiedlichen Parametern abhängig:

1. Anzahl der Schneiden des Wurzelkanalinstrumentes;  
Querschnitt quadratisch= 4 Schneiden  
Querschnitt dreieckig= 3 Schneiden  
Querschnitt rhomboid= 2 Schneiden  
Hedströmfeile= 1 Schneide  
Querschnitt sigmoidal (2 umlaufende Schneidekanten)= 2 Schneiden

2. Der Schneidenwinkel des Instrumentenquerschnitts = Winkel der Schnittkanten des Aufbereitungsinstrumentes.
3. Querschnittsfläche des Wurzelkanalinstrumentes und der daraus resultierende Spanraum.
4. Schneidekantenwinkel des Instrumentes.
5. Schneidenanzahl des Instrumentes.

Schäfer (1998) untersuchte Wurzelkanalinstrumente die unterschiedliche Querschnitte und Schneidenanzahlen aufwiesen. Die größte Schneidleistung wiesen in seinen Versuchen Prototypen mit rhomboidem Querschnitt sowohl bei drehend-schabender, als auch bei feilender Arbeitsweise auf.

Bei der klassischen Aufbereitungstechnik werden nach Erreichen der Arbeitslänge immer Instrumente mit aufsteigender ISO-Größe benutzt, bis die gewünschte Reinigung, Erweiterung und Formgebung des Kanals erreicht wird. In ihren Berichten weisen Schneider (1971) und Jungmann (1975) auf die Schwierigkeiten hin, die diese Form der Kanalpräparation bei geraden, als auch gekrümmten Kanälen zeigt. Durch die konische Präparation haben größere Instrumente die Tendenz, den ursprünglichen Kanalverlauf nicht beizubehalten und somit zu einer Begradigung des Wurzelkanals zu führen. Diese Problematik war Anlaß zu der Entwicklung weiterer Aufbereitungsmethoden.

Bei der wohl bekanntesten Entwicklung handelt es sich um die Step-back-Technik. Die Step-back-Technik hat zum Ziel, die apikale Präparation so schmal wie nötig zu gestalten. Hierbei erfolgt eine Aufbereitung des Wurzelkanals von apikal nach koronal. Diese Formgestaltung soll zum Erhalt der ursprünglichen Kanalform beitragen. Nach Erreichen der festgelegten Arbeitslänge wird durch Instrumente mit aufsteigenden ISO-Größen der Kanal konisch erweitert. Das letzte Wurzelkanalinstrument, das bis zur Arbeitslänge

vordringen kann, wird als apikale Masterfeile bezeichnet. Nach Erreichen der apikalen Masterfeile erfolgt bei den darauf folgenden Instrumenten mit aufsteigender ISO-Größe jeweils eine sukzessive Verkürzung der Arbeitslänge um 1mm. Diese Methode der apikalen Präparation wird als Step-back bezeichnet. Zwischen den einzelnen Step-back-Schritten ist die Rekapitulation mit der apikalen Masterfeile bis zur vollständigen Arbeitslänge zur Vermeidung der Verlegung des Wurzelkanallumens durch Dentinspäne notwendig. Clem (1969) erwähnte sie 1969 erstmals in seinen Veröffentlichungen, zahlreiche anschließende Untersuchungen zeigten sie als überlegen gegenüber der konventionellen Aufbereitung (Coffae, 1975; Bolanos, 1980). Sie gehört heute zu den am weitesten verbreiteten und benutzten Aufbereitungsmethoden.

Eine weitere Vorgehensweise zu den bereits oben aufgeführten Techniken ist die Crown-down-Technik (Goerig, 1982; Morgan, Montgomery, 1984; Saunders, 1994). Bei diesem Aufbereitungskonzept erfolgt eine schrittweise Erweiterung des Wurzelkanals von koronal nach apikal. Das Ziel dieser Technik ist es, einen weitgehend ungehinderten Zugang der Wurzelkanalinstrumente für die apikale Präparation zu schaffen. Zuerst werden die koronalen und mittleren Anteile des Wurzelkanals bis zur Kanalkrümmung mit Handinstrumenten und maschinengetriebenen Gates-Glidden-Bohrern erweitert. Der Gates-Bohrer vergrößert durch seine rotierende Bewegung der spiraligen geneigten Schneidekanten an der Spitze gleichmäßig die Kanaleingänge.

Durch Entfernung aller Überhänge und Einengungen am Kanaleingang bei der koronalen Aufbereitung ist das geradlinigere Einführen der darauffolgenden Wurzelkanalinstrumente durch die deutliche Reduktion des Wandkontakts möglich.

Anschließend wird mit Wurzelkanalinstrumenten absteigender ISO-Größe bis zum Erreichen der festgelegten Arbeitslänge der Kanal konisch aufbereitet. Um zu einer stufenförmigen Kanalaufbereitung im apikalen Bereich zu

gelangen, wird unter Verwendung der Step-back-Technik die apikale Präparationsform weiter finiert werden.

Die Crown-Down-Technik weist somit folgende Vorteile auf:

1. Verringerung der Bakterienverschleppung nach apikal, durch frühzeitige Entfernung der größten Pulpabestandteile bereits zu Beginn der Präparation.
2. Die primäre koronale Aufbereitung ermöglicht eine bessere Penetration der verwendeten Spüllösungen.
3. Verkürzung der Arbeitslänge im Wurzelkanal durch Tieferlegen des koronalen Kanaleingangs; Verringerung der Friktion des Wurzelkanalinstruments.
4. Kontrollierte Führung der Instrumente im apikalen Bereich.

#### 1.4 Komplikationen bei der Wurzelkanalaufbereitung

Ziel der Wurzelkanalbehandlung ist es, den Wurzelkanal für die anschließende definitive Wurzelfüllung vorzubereiten. Hierbei wird ein sich nach apikal konisch verjüngender Kanalverlauf angestrebt, der sich bis zum Foramen physiologicum ausdehnt. Der ursprüngliche Kanalverlauf soll wie die Kanalkrümmungen beibehalten werden. Schilder fasste 1974 die vier Anforderungen an die Präparation eines Wurzelkanals zusammen:

1. Der präparierte Wurzelkanal soll als konischer Trichter mit möglichst rundem Querschnitt gestaltet werden.
2. Der Durchmesser des Kanals soll sich apikalwärts verjüngen.
3. Der ursprüngliche Wurzelkanalverlauf soll beibehalten werden.
4. Das Foramen apikale soll in Form und Ausdehnung nicht verändert werden.

Die von Schilder festgelegten Anforderungen werden heutzutage noch durch die Ausbildung einer apikalen Stufe ergänzt (Tronstad, 1991), um ein sachgemäßes Kondensieren ohne Überstopfen des Wurzelfüllmaterials zu ermöglichen.

Ein grundsätzliches Problem bei der Kanalpräparation ist die Tendenz der Wurzelkanalinstrumente, die Kanäle zu begradigen (Weine, 1976; Weine, 1989). Die Abweichung von der ursprünglichen Kanalform führt im apikalen Bereich leicht zu apikalen Perforationen (Briseno, 1992; Weine, 1975). Die Wurzelkanalabweichung nimmt mit zunehmender Instrumentenstärke zu, bedingt durch die abnehmende Flexibilität der Instrumente zusammenhängt. Wenn es erst einmal zur Begradigung des Kanals gekommen ist, stellt besonders die Aufbereitung des Kanals mittels eines maschinellen Gerätes ein hohes Risiko für eine bevorstehende Perforation dar. Das erklärt sich durch die starke Rotation der Wurzelkanalfeile und die reduzierte taktile Kontrolle des Behandlers bei der Kanalaufbereitung (Esposito, 1995). Bei sehr stark gekrümmten Kanälen führt dies in manchen Fällen sogar zu einer Perforation seitlich des Wurzelkanalforamens. Durch die apikale Perforation kommt es zu einer Schädigung des periapikalen Gewebes, außerdem ist die physiologische Konstriktion nicht mehr gegeben und es können bei der anschließenden Wurzelkanalfüllung weitere Komplikation auftreten. Die Entfernung des apikalen Stops ermöglicht ein Überstopfen des Wurzelkanalfüllmaterials bei der anschließenden Wurzelkanalfüllung, wodurch es zu einer Reizung der periapikalen Region kommt.

Weine (1975 u. 1976) beschreibt in seinen Studien ein weiteres weit verbreitetes Problem der Kanalaufbereitung, das apikale „Zipping“. Der apikale Zip entsteht bei gekrümmten Kanälen an der apikalen konvexen Kanalwand durch einen verstärkten Materialabtrag. Gleichzeitig erfolgt oberhalb des „Zip“ eine Einschnürung, wo die apikale Krümmung in den geraden mittleren Wurzelkanalbereich übergeht, oberhalb dieser Einschnürung kommt es zu einem vermehrten Materialabtrag auf der konkaven Wurzelkanalwand, diese

Zone des vermehrten Abtrags bezeichnet Weine (1975) als „Elbow“. Das Gesamtbild des vermehrten Kanalabtrags an den erwähnten Stellen zeigt eine Sanduhrform. Somit befindet sich die Stelle des kleinsten Kanaldurchmessers nicht wie gefordert an der apikalsten Stelle der Kanalpräparation, sondern ist nach koronal verlagert. Im apikalen Bereich ist somit ein umgekehrter Trichter entstanden, der sich nur außerordentlich schwer dicht abfüllen läßt. Diese Form der Kanalabweichung entsteht durch die mangelnde Flexibilität der Wurzelkanalinstrumente und nimmt mit aufsteigender ISO-Größe und stärkerer Wurzelkanalkrümmung zu.

Ein weiteres Problem bei der Kanalaufbereitung stellt die Instrumentenfraktur dar. Sie entsteht durch Materialfehler oder ist auf falsche Anwendungstechnik und unflexible Instrumente zurückzuführen. Die Entfernung des abgebrochenen Segments erfordert Zeit und Geschick und ist in einigen Fällen unmöglich. Wenn die weitere Aufbereitung nicht mehr möglich ist oder sogar das Fragment über den Apex hinausragt, ist eine Wurzelspitzenresektion oder Extraktion des Zahnes angezeigt.

### 1.5 Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen

Durch die technologischen Fortschritte ist eine Reihe neuer Materialien entwickelt und erforscht worden. Diese halten in allen Bereichen der Medizin Einzug, einschließlich der Endodontie.

Als Neuentwicklung sei in diesem Bereich der Nickel-Titan-Legierung Beachtung geschenkt; nach ihrem erfolgreichen Einsatz in der Medizin wird sie auch heute in der Zahnmedizin in verschiedenen Bereichen angewandt. Besonders die Fertigung der Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen sei hier erwähnt. Die Nickel-Titan-Legierungen wurden 1960 von William F. Buehler, einem Ingenieur bezüglich des Hüttenwesens und deren Materialkunde, in einem Forschungslabor der Kriegsmarine in Silver Springs, Maryland entwickelt. Buehler verbrachte viele

Jahre mit der weiteren Erforschung und Entwicklung der Legierung, seine Ergebnisse führten zu einem vielseitigen Einsatz der Legierung. Nickel-Titan-Legierungen werden in wissenschaftlichen Berichten häufig durch das Akronym NiTinol bezeichnet, dieses setzt sich aus den chemischen Elementen der Legierung und einem Kürzel des Forschungslabors wie folgt zusammen (Andreason, 1978 u. Civjan, 1975):

Ni	Nickel
Ti	Titan
N	Naval
O	Ordnance
L	Laboratory

Bei der Nickel-Titan-Legierung handelt es sich um ein monokristallines Metall, welches sich aus ca. 55 % Nickel und ca. 45 % Titan zusammensetzt. Feinste Spuren anderer Elemente wie zum Beispiel Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Eisen (Fe), Stickstoff (N) und Wasserstoff (H) können hinzu gesetzt werden, um bestimmte Eigenschaften der Legierung zu optimieren (Heisterkamp, 1969).

Die Eigenschaften der NiTinol-Wurzelkanalinstrumente werden mit den üblicherweise verwendeten Instrumenten aus Stahllegierungen verglichen und anhand der erbrachten Leistungen in bezug auf die Stahlinstrumente bewertet. Civjan und Mitarbeiter (1975) berichten über die guten mechanischen Eigenschaften des NiTinol. Dort erwähnten sie die hohe Dehnbarkeit des Materials und diskutierten den möglichen Einsatz der Nickel-Titan-Legierungen in der Zahnmedizin.

Erste Studien erfolgten zuerst auf dem Gebiet der Kieferorthopädie, wo die Eigenschaften der Legierungen anhand kieferorthopädischer Drähte erforscht wurden (Andreasen, 1971 u. 1978). Asghania (1986) und seine Mitarbeiter entdeckten die deutlich größere Flexibilität des NiTinol gegenüber der Flexibilität gewöhnlich benutzter Drähte aus Stahllegierungen. Sie

untersuchten die Drähte bezüglich ihres Biegungs- und Verdrehungs- (Torsions) Verhaltens, sie konnten feststellen, dass die NiTiInol-Materialien eine deutlich größere Flexibilität bezüglich des Biegungs- und Torsionsverhaltens besitzen. Diese Untersuchung nahmen Walia (1988) und seine Mitarbeiter zwei Jahre später zum Anlaß, aus der entwickelte NiTiInol-Legierung Wurzelkanalinstrumente herzustellen und sie mit Instrumenten aus Stahllegierungen, welche auf dieselbe Art und Weise hergestellt wurden, zu vergleichen. Er verglich die Instrumente auch im Hinblick auf ihr Biegungs- und Torsionsverhalten und kam zu dem Schluß, dass NiTiInol eine zwei- bis dreimal so hohe Flexibilität besitzt und den Stahlinstrumenten in bezug auf die Frakturrate durch Verdrehungsbrüche (Torsionsfestigkeit) überlegen ist. Die deutlich erhöhte Flexibilität der NiTiInol-Instrumente ist durch das geringere Elastizitätsmodul bedingt. Das Elastizitätsmodul der Legierung beträgt  $1/5$  des entsprechenden Wertes für Chrom-Nickel-Stahl.

Zmener (1995) berichtete in seinem Artikel über einen Vergleich einer NiTiInol-Feile mit einer herkömmlichen K-Typ-Feile und kam zu dem Ergebnis, daß die NiTiInol-Feilen zentrierteren Verlauf in bezug auf den ursprünglichen Kanalverlauf aufwiesen und desweiteren zu einer sich verjüngenden Präparation führten. Anhand der aufgeführten Ergebnisse stellte er die Eigenschaften als besonders geeignet für die Kanalpräparation gekrümmter Wurzelkanäle dar.

Weitere Autoren untersuchten die NiTiInol-Feilen auf ihre Eigenschaften und kamen zu einer Reihe vielversprechender Ergebnisse (Kochis, 1998; Reddy, 1998; Zuolo, 1997). Glosson (1995) untersuchte NiTiInol-Handinstrumente und verglich sie mit maschinellen NiTiInol-Instrumenten und K-Flex Handinstrumenten. Die Nitinol-Instrumente behielten auch in seinen Untersuchungen einen zentrierteren Kanalverlauf, verglichen mit dem ursprünglichen Kanalverlauf. Der Dentinabrieb im Kanal war geringer, desweiteren wurden weniger Verlagerungen der gegebenen Längsachse des Wurzelkanals beobachtet.

Espositos Untersuchungen zeigten (1995) einen Vergleich zwischen NiTiInol-Hand- und Stahlinstrumenten, hier kam man zu dem Ergebnis, dass NiTiInol-Feilen wesentlich effektiver als konventionelle Stahlfeilen hinsichtlich der Wurzelkanalgeometrie sind. Sie behielten den ursprünglichen Kanalverlauf in gekrümmten Kanälen bei und mit ihnen waren Präparationen im apikalen Bereich erfolgreicher durchführbar.

Auch Coleman (1996) erreichte mit seinen Untersuchungen ähnlich gute Resultate, er betonte die geringeren Kanalverlagerungen nach Aufbereitung und die Zentrierung im apikalen Bereich.

Die apikale Präparation der gekrümmten Kanäle ist für den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung (Weine, 1975) von großer Bedeutung (Glosson, 1995), aus diesem Grund beschäftigen sich viele Untersuchungen mit der Präparation im apikalen Bereich, wie oben bereits aufgeführt, sprechen die guten Ergebnisse durch die erhöhte Flexibilität der NiTiInol-Instrumente für einen Einsatz in der Endodontie bei gekrümmten Wurzelkanälen, die die unerwünschten Formveränderungen bei der Kanalaufbereitung vermeiden sollten (Hülsmann, 1989; Schäfer und Tepel 1994).

In apikalen gekrümmten Bereichen ist eine erhöhte Schneidleistung der Instrumentenspitze nicht erwünscht. Powell (1986) et al. begannen mit der Modifikation der Instrumentenspitze, um eine zentrische Führung in den gekrümmten Wurzelkanälen zu ermöglichen (Powell, 1986; Sabala 1986). Hierbei wurde die Spitzengeometrie analog zu der des Batt-Bohrers verändert. Die Wurzelkanalinstrumente besaßen eine stumpfe, nichtschneidende Instrumentenspitze die zu eindeutig günstigeren Aufbereitungsergebnissen führte (Schäfer und Tepel, 1994).

Serene (1994) fand weitere wichtige Eigenschaften der NiTiInol-Legierungen, so muß bei ihrem Gebrauch weniger Kraft aufgewendet werden.

Bei den vielen positiven Eigenschaften der NiTiInol-Instrumente darf ihr Nachteil gegenüber den Stahlinstrumenten natürlich nicht unerwähnt bleiben, sie besitzen eine geringere Oberflächenhärte als die Stahlinstrumente. Lee (1996) bemühte sich in seinen Untersuchungen, die Oberflächenhärte zu

erhöhen und somit härtere Schneideflächen der Instrumente zu entwickeln ohne die oben erwähnten guten Eigenschaften der Instrumente zu beeinträchtigen. Durch Bor-Zusätze auf der Oberfläche konnte er in seinen Forschungen dem Stahl vergleichbare Härten erzielen. Weitere Entwicklungen der NiTiInol-Legierungen sind zu erwarten, doch ihr Einsatz in der Endodontie ist durch die zahlreichen Untersuchungen erprobt und erforscht worden und als Einsatzgebiet nicht mehr wegzudenken.

#### 1.6 Ausgangslage der In-vitro-Studie: Maschinelle NiTiInol-Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente

Die konventionelle Wurzelkanalbehandlung kann, um die oben erwähnten Komplikationen zu vermeiden, sehr zeit- und arbeitsaufwendig für den Behandler sein. Bei langwierigen Aufbereitungen kommt es außerdem zur Ermüdung des Behandlers. Faktoren, die die Instrumentation erschweren, sind zunehmende Zahnlänge, Krümmungswinkel und Kanaldurchmesser (Esposito, 1995). Um dem Behandler die ermüdende und zeitaufwendige Wurzelkanalaufbereitung zu erleichtern, wurde schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts von Rollins eine maschinelle Aufbereitungshilfe entwickelt (Gutmann, 1987). Das Gerät setzte sich aus einem Wurzelkanalbohrer und dem dazugehörigen Dentalmotor zusammen, welcher das Instrument sehr langsam angetrieben hat (100 U/ min).

Der technische Fortschritt führte 1964 zur Entwicklung des Giromatic-Systems, welches sich durch einen starren Bewegungsablauf auszeichnet, welcher durch vor- und rückläufige Viertelkreisbewegungen gekennzeichnet ist (Frank, 1967). Dem Giromatic-System folgten zahlreiche Endodontiewinkelstücke mit modifizierten Bewegungsabläufen, doch sie konnten in klinischen Untersuchungen im Vergleich zu den konventionellen Handinstrumenten nicht zufriedenstellend überzeugen (Klayman, 1975; O'Connell, 1975). Die Ergebnisse führten zu berechtigter Kritik gegenüber der

maschinellen Aufbereitung. Die wichtigsten Punkte sind die mangelhafte Reinigung des Kanalsystems, unzureichende Beibehaltung der anatomischen Kanalform, besonders in gekrümmten Kanälen, eine hohe Frakturnrate und ein weitgehender Verlust der Taktilität (Hülsmann, 1992). Durch die Kritik an den Geräten mit einem starren Bewegungsablauf begann die Neuentwicklung weiterer maschineller Aufbereitungsgeräte bis zum heutigen Tage.

In der folgenden in-vitro-Studie sollen nun maschinelle NiTiNol-Wurzelkanalinstrumente der Firma Vereinte Dentalwerke München untersucht werden. Zwei Prototypen (im folgenden A1 und A2 genannt) wurden anhand folgender Kriterien begutachtet:

1. Frakturnrate
2. Überinstrumentierung
3. Zip-Effekt
4. Abweichung vom Kanalverlauf

Die folgende REM (rasterelektronenmikroskopischen)-Darstellung zeigt detailliert die gebürstete Schneidenoberfläche des Prototypen A1:

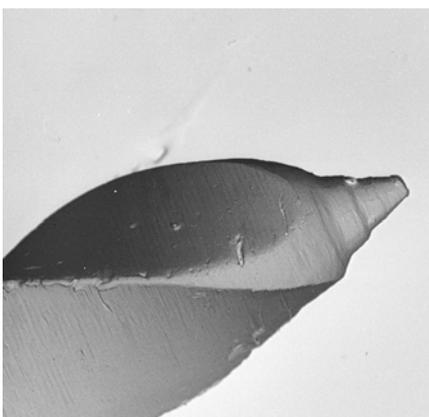


Abb.1.5:  
Prototyp A1: gebürstete  
Schneidekante

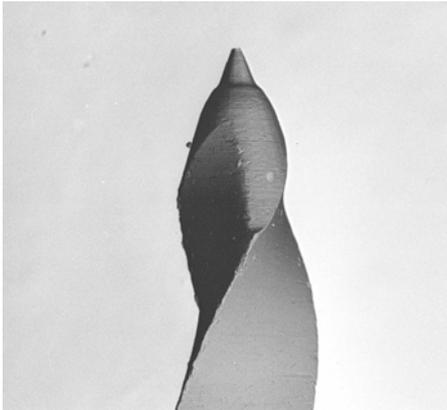


Abb. 1.6:  
Prototyp A2

Die aus NiTiInol gefertigten Prototypen besitzen einen dreieckigen Instrumentenquerschnitt. Die Kegelsteigung (Konizität) beider Instrumente, auch als Taper bezeichnet, beträgt in beiden Fällen 0,04 mm/1mm Länge, das entspricht 4%, im Gegensatz zu den herkömmlichen Iso-Größen, die gewöhnlich nur eine Konizität von ca. 2% aufweisen. Sie unterscheiden sich in der Bearbeitung der Schneidenoberfläche. Beim Prototypen A1 ist die Schneidenoberfläche über das gesamte Arbeitsteil gebürstet (leicht abgerundet) und soll somit eine erwartete geringere Schneidleistung besitzen.



Abb. 1.7:  
Querschnittsaufnahme des  
Prototyp A2

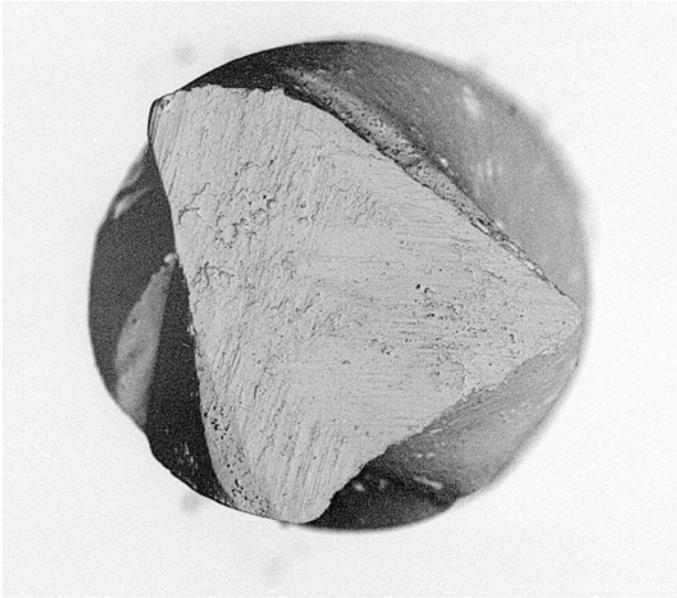


Abb.1.8:  
Querschnittaufnahme  
des Prototyps A1

Die Prototypen A1 und A2 sind geometrisch nahezu identisch. Die Anzahl der Windungen auf die Arbeitslänge von 16mm und die Schneidenwinkel sind beim Prototypen A1 wie folgt festgelegt:

Iso-Stärke	Windungen	Schneidenwinkel
15-20	21	15°
25-30	19	20°
35-45	15	25°
50-60	13	30°

Tab.2:  
Prototyp A1

Im Anschluß an die Aufbereitung der Wurzelkanäle mit den oben aufgeführten Prototypen erfolgte die Beurteilung der Punkte 1, 2, 3 und 4 mittels digitaler Röntgenaufnahmen von den mit Kontrastmittel gefüllten Wurzelkanälen, die mit Aufnahmen vor der Kanalaufbereitung verglichen wurden.

## 1.7 Hypothese

Es wurde angenommen, dass die Wurzelkanalinstrumente mit der abgerundeten Schneidoberfläche (Prototyp A1) eine geringere Schneidleistung aufweisen. Daraus ergibt sich, dass sich diese Instrumente besser an dem ursprünglichen Wurzelkanalverlauf orientieren als die Wurzelkanalinstrumente, die eine höhere Schneidleistung aufweisen. Durch die angenommene höhere Schneidleistung des Prototyps A2 wurde vermutet, dass die Instrumente eine erhöhte Friktion im Wurzelkanal bei der Aufbereitung aufweisen würden. Es wurde die Schlußfolgerung aufgestellt, daß es bei diesem Instrumententyp zu einer erhöhten Frakturrate kommen könnte. Die erwarteten Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf ließen auch Unterschiede bei der Anzahl von Überinstrumentierungen und Zip-Effekten bei der in-vitro-Studie vermuten.

Desweiteren wurden die beiden Aufbereitungstechniken (Step-back-Technik und Crown-down-Technik) bezüglich ihrer Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf, Instrumentenfrakturrate, Überinstrumentierungen und Zip-Effekten miteinander verglichen. Hier wurde angenommen, dass die Wahl der Aufbereitungstechnik zu Unterschieden bei den oben gewählten Kriterien in dieser Studie führt und somit nicht ausschließlich vom Prototyp abhängig ist.

## 2. Material und Methode

### 2.1 Vorbereitung der Versuche

In dieser Studie wurden extrahierte menschliche Zähne verwendet. Nach der Extraktion wurden diese, wenn erforderlich, mit einem Ultraschallgerät vom aufgelagerten Zahnstein befreit und in physiologischer Kochsalzlösung (NaCl) gelagert.

Um die Wurzelkanäle der Zähne standardisiert untersuchen zu können war das Einbetten der Zähne in Polyacrylatblöcken (Technovit 7200 VLC der Firma Heraeus Kulzer) erforderlich.

Nachdem ein geeigneter Prototyp entwickelt wurde, durch dessen Form es gelang, Röntgenaufnahmen immer mit dem gleichen Abstand von Zahn und Zahnfilm in Bezug auf die Röntgenstrahlung zu produzieren, konnte mit der Herstellung der Gussformen begonnen werden .

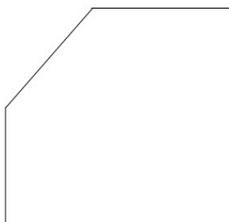


Abb 2.1.: Grundform der Gussform

Wir entschieden uns für die Fertigung der Gussform aus weichbleibenden Copyplastfolien (nicht röntgensichtbar), die unter Zuhilfenahme eines Tiefziehfoliengerätes mittels Unterdruck über den Prototypen gezogen wurden. Auf diese Weise wurde für jeden Zahn seine eigene Gussform hergestellt, die gleichzeitig die Aufbewahrungsform darstellte.

Nachdem alle Folien hergestellt waren, wurde jeder Zahn durch Weichwachs an den Wurzeln in der Folie fixiert. Dadurch wurden die Zähne in der Folie fixiert und der Apex gegenüber dem Kunststoff verschlossen. Anschließend

konnten die fest fixierten Zähne in Polyacrylat (Technovit 7200 VLC der Firma Heraeus Kulzer) eingebettet werden.

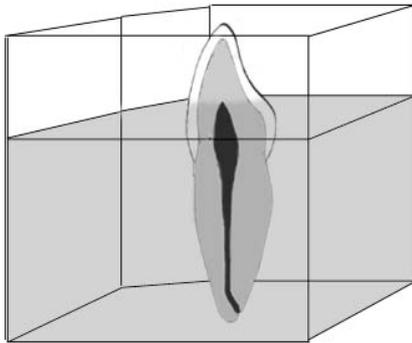


Abb.2.2 : Zahn in Polyacrylat eingebettet

Nachdem das Polyacrylat ausgehärtet war, wurde von jedem Zahn ein digitales Röntgenbild angefertigt (Gendex). Die genormte Gussform ermöglichte die Anfertigung der benötigten Röntgenaufnahmen vor und nach der Wurzelkanalaufbereitung in reproduzierbaren Winkeln und Abständen von den Zähnen.

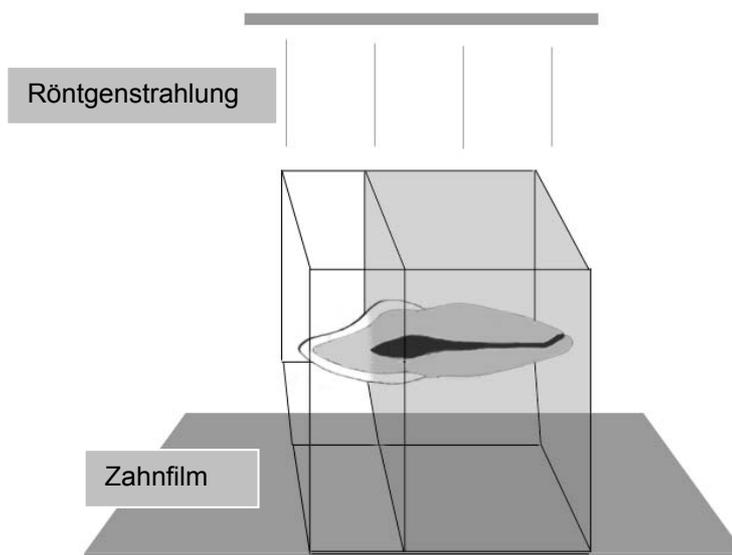


Abb. 2.3: Zahn wird in reproduzierbarem Abstand zum Zahnfilm geröntgt.

Anschließend wurde an jedem Zahn eine endodontische Zugangskavität präpariert und die zu beurteilenden Kanäleingänge dargestellt. Die koronalen

Kanalabschnitte wurden nun anschließend mit Gates-Glidden-Bohrern erweitert. Den Vorbereitungen konnte nun die Aufbereitung der zu untersuchenden Wurzelkanäle folgen.

## 2.2 Durchführung der Versuche

Bei dieser Studie erfolgte die Beurteilung nach Durchführung von vier verschiedenen Untersuchungsserien:

1. Aufbereitung der Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 bis ISO 60
2. Aufbereitung der Wurzelkanäle mit dem Prototyp A2 bis ISO 60
3. Aufbereitung der Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 mit der Crown-down-Technik
4. Aufbereitung der Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 bis ISO 40.  
Anschließend Step-back-Technik

Ad 1.

In dieser Serie wurden n= 30 Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 der NiTiInol-Wurzelkanalinstrumente der Firma Vereinigte Dentalwerke, München, mit dem Taper 0.04 maschinell bis ISO- Größe 60 aufbereitet. Der Prototyp A1 ist im Gegensatz zu A2 über das gesamte Arbeitsteil gebürstet, d. h. die Schneidenoberflächen der Instrumente sind leicht abgerundet. Der Taper bezieht sich auf die Kegelsteigung des Instruments (Konizität), hierbei handelt es sich um 0,04 mm, welches 4 % entspricht. Die maschinelle Aufbereitung erfolgte durch einen Motor mit elektronisch kontrolliertem Drehmoment und Drehzahl (TCM Endo) in Kombination mit einem Endo-Winkelstück (Reduktion 8:1) der Firma Nouwag. Zuerst wurde bei jedem Kanal die korrekte Arbeitslänge ermittelt, anschließend wurde jeder Wurzelkanal mit fabrikneuen Wurzelkanalinstrumenten bei 200 U/ min, regelmäßigen Spülungen und dem Gebrauch von EDTA (rc-präp®) aufbereitet. Wir haben in unseren

Versuchsreihen als Spüllösung eine 3%ige Natriumhypochloritlösung (NaOCl) und den Komplexbildner EDTA (rc-prep®) zur Unterstützung der chemischen Aufbereitung benutzt. Bei der Wahl der Konzentration entschieden wir uns für 3% (Thé 1979) zur Auflösung des nekrotischen Gewebes im Wurzelkanal und der Entfernung des Smear layer (Behrend 1996). Hierbei wurden die Instrumente in aufsteigender ISO-Größe benutzt: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 und 60.

Nachdem alle zu untersuchenden Wurzelkanäle aufbereitet waren, wurden sie unter Anwendung eines Lentulos mit einem röntgenopaken Bariumsulfatgemisch gefüllt. Die Verwendung konventioneller röntgenopaker temporärer Wurzelkanalfüllmaterialien hat sich in Vorversuchen als ungünstig erwiesen, da sie nur einen sehr geringen Bariumsulfatanteil aufwiesen, welcher die zu beurteilenden Wurzelkanäle nicht in der gewünschten Deutlichkeit darstellen konnte.

Um deutlichere Ergebnisse liefern zu können, verwendeten wir reines Bariumsulfatpulver, welches wir mit dem Emulgator Tween 85® vermischten, um es in die Wurzelkanäle zu applizieren. Dieses hatte folgende Vorteile:

1. der deutlich höhere Bariumsulfatanteil ermöglichte eine höhere Röntgenopazität
2. die sämige, beinahe feste Konsistenz erlaubte ein problemloses Einrotieren

Die mit diesem Material gefüllten Wurzelkanäle wurden nun im selben Abstand und Winkel wie vor der Aufbereitung der Kanäle mittels digitaler Röntgenaufnahmen aufgezeichnet. Bei dem verwendeten System handelt es sich um das Digora-System der Firma Gendex, hierbei wurden Phosphor-Speicherfolien in der Größe 3x 4 cm mit einer Pixelanzahl von 560x 416 Pixel benutzt (0,16s; 60kV).

Ad 2.

In der zweiten Serie wurden n= 19 Wurzelkanäle mit dem Prototypen A2 der NiTiInol-Wurzelkanalinstrumente der Firma Vereinigte Dentalwerke, München, mit dem Taper 0,04 maschinell bis ISO- Größe 60 aufbereitet. Der Prototyp A2 besitzt wie bereits im ersten Versuch berichtet keine abgerundeten Schneidenoberflächen über das gesamte Arbeitsteil.

Die Aufbereitung erfolgt in diesem Versuch auf die gleiche Weise wie sie schon ausführlich im ersten Versuch geschildert wurde. Es handelt sich hierbei um den gleichen Versuchsaufbau wie im ersten Versuch unter Verwendung des Prototypen A2.

Die Dokumentation der Aufbereitungsergebnisse erfolgt wie in Versuch 1 geschildert.

Ad 3.

Aufgrund der in den ersten beiden Versuchen ermittelten Ergebnisse, hohen Frakturnrate und Überinstrumentierung bei Prototyp A2 (s. Ergebnisteil Abschnitt Nr. 3), haben wir die Versuche 3 und 4 mit dem Prototypen A1 durchgeführt.

In der dritten Versuchsreihe wurden n= 18 Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 der NiTiInol-Wurzelkanalinstrumente der Firma Vereinigte Dentalwerke, München, mit dem Taper 0,04 mit der Crown-down-Technik maschinell aufbereitet. In diesem Fall werden die koronalen Kanalanteile mittels rotierender Instrumente (Gates-Glidden-Bohrer) aufbereitet. Nach Erreichen der Arbeitslänge wird mit der Step- Down- Technik nach Goerig et al. (1982) mit abnehmenden Instrumentengrößen nach apikal aufbereitet. In diesem Versuch folgten wir folgender Reihenfolge: ISO 40, 35, 30, 25, 20 und abschließend 15. Im Anschluß daran wurde bis zur apikalen Masterfeile, in den meisten Fällen ISO-Größe 40, aufbereitet, nun folgte, in Richtungsumkehrung von apikal nach koronal, eine stufenförmige Aufbereitung (Step-back-Technik). Hierbei wurden nach Erreichen der Arbeitslänge die darauffolgenden Instrumentengrößen um einen Millimeter

nach koronal verkürzt. Wir haben bei jedem Wurzelkanal jeweils drei Step-back-Schritte durchgeführt.

Auch in diesem Versuch wurden für jeden Wurzelkanal fabrikneue Instrumente benutzt, die die Kanäle unter regelmäßigen Spülungen mit 3%iger Natriumhypochloritlösung und dem Gebrauch von EDTA (rc-prep®) bei 200 U/min aufbereiteten. Die anschließende Dokumentation der Aufbereitungsergebnisse erfolgte wie in Versuch 1 geschildert.

Ad 4.

In der letzten durchgeführten Versuchsreihe wurden n= 17 Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 der NiTiInol-Wurzelkanalinstrumente der Firma Vereinigte Dentalwerke, München, mit dem Taper 0,04 mit der Step-back-Technik maschinell aufbereitet. Auch in diesem Versuch wurden wieder für jeden Wurzelkanal fabrikneue Instrumente unter regelmäßigen Spülungen mit 3%iger Natriumhypochloritlösung und EDTA (rc-prep®) angewendet.

Die koronalen Kanalanteile wurden wie in der Versuchsserie 3 beschrieben mit Gates-Glidden-Bohrern erweitert. Bei der Step-back-Technik wurde nach Erreichen der Arbeitslänge jedoch mit aufsteigenden Instrumentengrößen gearbeitet. Es wurde mit ISO-Größe 15 begonnen und in folgender Reihe weiter aufbereitet: ISO 20, 25, 30, 35 und 40. Die apikale Masterfeile war in den meisten Fällen 40. Im Gegensatz zur Crown-down-Technik erfolgte diese Aufbereitung von apikal nach koronal. Im Anschluß daran wurden, wie in der 3. Versuchsserie beschrieben, 3 Step-back-Schritte durchgeführt.

Die Dokumentation erfolgte in der gewohnten Weise.

### 2.3 Auswertungskriterien

Das Ziel der in-vitro-Studie war die Beurteilung der beiden untersuchten Prototypen anhand folgender Kriterien:

1. Frakturnrate
2. Überinstrumentierung
3. Zip-Effekt
4. Abweichung vom Kanalverlauf

Die Untersuchungspunkte 1-4 wurden unter Zuhilfenahme der digitalen Röntgenaufnahmen ausgewertet. Hierfür wurden Aufnahmen sowohl vor als auch nach der Wurzelkanalaufbereitung angefertigt. Für die Aufnahmen benutzten wir das Digora-System der Firma Gendex. Jeder Kanal wurde vor seiner Aufbereitung in einem bestimmten Abstand und Winkel zur Röntgenröhre aufgenommen. Der festgelegte Abstand und der reproduzierbare Winkel waren durch die Einbettung des Zahns in die oben erwähnte Kunststoffform ermöglicht worden, und erlaubten die Aufnahmen aus derselben Aufnahmeposition nach Aufbereitung der Wurzelkanäle.

Bei dem Gerät wird nach dem Verfahren der digitalen Lumineszenz-Radiographie (DLR) auf einer 3x4 cm großen Speicherfolie das Bild aufgenommen. Die Daten werden über einen Scanner abgelesen, welcher die Information in ein dafür entwickeltes Bildverarbeitungsprogramm einliest. Im Vergleich zum herkömmlichen Röntgenfilm, der nur 100 Graustufen speichern kann, bietet die Speicherfolie die Möglichkeit 400 Graustufen zu speichern. Mit Hilfe des Bildbearbeitungssystems kann im Gegensatz zum konventionellen Verfahren eine Bildnachbearbeitung stattfinden. Das Programm ermöglicht eine Graustufenregelung, einen Ausgleich für Über- und Unterbelichtungen, ein Zooming, eine Positivdarstellung, eine 3D-Darstellung, ein Histogramm mit Dichteprofil sowie Abstands- und Winkelmessung. Durch gezielte Ausschnittvergrößerungen können sogar Feinheiten im Detail betrachtet

werden. Das Bildbearbeitungssystem nutzten wir, um die Einzelaspekte vergrößert und in verbesserter Bildqualität darstellen zu können.

### Ad 1. Frakturrate

Die Frakturrate bestimmten wir durch eine visuelle Kontrolle nach dem Gebrauch jedes Wurzelkanalinstrumentes. Zusätzlich wurden durch die Beurteilung der nach Präparation angefertigten Röntgenbilder Instrumentensegmente in den Aufnahmen dargestellt. Dieses ließ sich durch die Vergrößerung des gespeicherten Bildes und eine zusätzliche 3D-Darstellung sehr gut veranschaulichen. Für jeden Wurzelkanal wurde dokumentiert, ob sich eine Instrumentenfraktur ereignet hat oder nicht. Wurde die Instrumentenfraktur direkt bemerkt, wurde zusätzlich die entsprechende Instrumentengröße vermerkt.

### Ad 2. Überinstrumentierung

Auch die Überinstrumentierung wurde anhand des Vergleichs der Prä- und Postsituationen dokumentiert. Auch in diesem Fall wurden die Aufnahmen für die Beurteilung vom Bildverarbeitungsprogramm in dem gewünschten Maße vergrößert. Hierfür wurden die aufbereiteten Wurzelkanäle mit einer Suspension aus reinem Bariumsulfat und dem Emulgator tween 85® gefüllt, wodurch sich Kanalverläufe, die die apikale Konstriktion überschritten hatten, deutlich darstellen ließen. Sollte sich bereits während der Aufbereitung eine Überinstrumentierung gezeigt haben, welche durch einen unkontrollierten Zug nach apikal zustande kam, wurde dieses sofort aufgeführt. Jeder Kanal in jeder Versuchsreihe wurde diesbezüglich untersucht und aufgelistet.

### Ad 3. Zip-Effekt

Der Zip-Effekt wird wie die Überinstrumentierung durch Vergleiche der Röntgenaufnahmen, die vor der Kanalaufbereitung angefertigt wurden, mit den mit Bariumsulfat aufgefüllten Wurzelkanälen ermittelt. Durch eine gezielte Vergrößerung der apikalen Region und einer 3D-Darstellung kann gezielt nach der spezifischen Sanduhrform gefahndet werden.

### Ad 4. Abweichung vom Kanalverlauf

Die vor der Kanalaufbereitung angefertigten Röntgenaufnahmen wurden analog zu der von Schneider (1971) beschriebenen Methode ausgewertet. Hierbei wurde der Verlauf des Wurzelkanals mit dem dazugehörigen Krümmungsradius ermittelt. Bei der Schneider- Methode wird zur Bestimmung des Krümmungswinkels im Röntgenbild eine Linie durch die Längsachse des Wurzelkanals gezogen. Eine zweite Linie ist die Gerade zwischen dem Foramen apikale und dem Schnittpunkt mit der Längsachse, wo der Wurzelkanal beginnt die Längsachse des Kanals zu verlassen. Der im Schnittpunkt beider Geraden entstandene Winkel wird als Krümmungswinkel des Wurzelkanals bezeichnet.

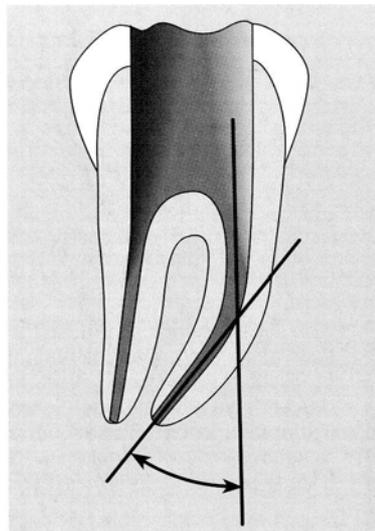


Abb.2.5: Bestimmung des Krümmungswinkels nach Schneider (1972); aus PDZ Endodontie, 4. Auflage Urban & Fischer

Jeder Wurzelkanal wurde vor seiner Aufbereitung bezüglich seines Krümmungswinkels untersucht und die Winkel wurden dokumentiert. Nach der Aufbereitung wurden erneut die Winkel des Kanalverlaufs nach der Schneider-Methode bestimmt und mit den zuvor ermittelten Werten verglichen. Die Ergebnisse und die Differenz beider Winkel wurden anschließend dokumentiert und berechnet.

## 2.4 Statistische Datenanalyse

Für die statistische Datenanalyse wurde das Programm SPSS 8.0 benutzt.

### 2.4.1 Untersuchung der Versuchsreihen 1 und 2

Es wurde angenommen, dass die Instrumente mit geringerer Schneidleistung sich näher am ursprünglichen Kanalverlauf orientieren. Zur Hypothesenprüfung wurden hierbei die Differenzen der vor und nach Wurzelkanalaufbereitung ermittelten Krümmungswinkel miteinander

verglichen. Die Daten wurden mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben untersucht, wobei auf einem Signifikanzniveau von 5% getestet wurde.

Das Auftreten von Instrumentenfrakturen, „Zip“-Effekten und Überinstrumentierungen wurde für jeden einzelnen Prototypen dokumentiert; anschließend wurden die dort ermittelten Ergebnisse in Kreuztabellen aufgeführt.

#### 2.4.2 Untersuchung der Versuchsreihen 3 und 4

Es wurde angenommen, dass es bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle mit unterschiedlichen Aufbereitungstechniken auch zu Unterschieden in bezug auf die Abweichung vom Kanalverlauf kommen wird. Wie in den ersten beiden Versuchsreihen wurden die Differenzen der Krümmungswinkel vor und nach Wurzelkanalaufbereitung miteinander verglichen. Die dort ermittelten Daten wurden zur Hypothesenprüfung mit Hilfe des oben erwähnten t-Tests für unabhängige Stichproben analysiert, wobei auch in dieser Untersuchung das Signifikanzniveau 5% betrug.

Begleitend zu den oben aufgeführten Untersuchungen wurden auch hier die Ergebnisse der Anzahl der Instrumentenfrakturen, „Zip“-Effekte und Überinstrumentierungen bearbeitet und in Kreuztabellen aufgeführt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der 1. und 2. Versuchsreihen im Vergleich

Die in den ersten beiden Versuchsreihen ermittelten Werte der Prototypen A1 und A2 wurden im Hinblick auf Instrumentenfraktur, Überinstrumentierung und Zip- Effekt in den Tabellen 3.1-3.3 dargestellt:

**Tabelle 3.1: Instrumentenfraktur der Prototypen A1 und A2**

Prototyp angabe der Instrumente	Anzahl der Versuchs- instrumente n	Instrumenten- fraktur		Chi-Quadrat nach Pearson
		ja	nein	
A1 Anzahl Prozent %	30 100%	5 16,7%	25 83,3%	0,001*
A2 Anzahl Prozent %	19 100 %	12 63,2%	7 36,8%	

**Tabelle 3.2: Überinstrumentierung der Prototypen A1 und A2**

Prototyp angabe der Instrumente	Anzahl der Versuchs- instrumente n	Überinstru- mentierung		Chi-Quadrat nach Pearson
		ja	nein	
A1 Anzahl Prozent %	30 100%	13 43,3%	17 56,7%	0,411
A2 Anzahl Prozent %	19 100 %	6 31,8%	13 68,2%	

**Tabelle 3.3: Zip-Effekt der Prototypen A1 und A2**

Prototyp angabe der Instrumente	Anzahl der Versuchs- instrumente n	Zip-Effekt nach Wurzel- Kanalaufbe- reitung		Chi-Quadrat nach Pearson
		ja	nein	
A1 Anzahl Prozent %	30 100%	2 6,7%	28 93,3%	0,134
A2 Anzahl Prozent %	19 100 %	4 21,1%	15 78,9%	

Die Ergebnisse zeigten, dass über 60% der Versuchsinstrumente des Prototypen A2 bei der Aufbereitung frakturierten, wohingegen der Prototyp A1 nur 16,7% Frakturen aufwies. Tabelle 3.1 zeigte, dass beim Prototypen A2 signifikant häufiger Instrumentenfrakturen auftraten. Diese Versuchsreihe bestätigte die Hypothese, dass Instrumente mit höherer Schneidleistung die größere Frakturrate aufwiesen. Zip-Effekte wurden dreimal so häufig beim Prototypen A2 festgestellt, wohingegen der Prototyp A1 mit 43,3% mehr Überinstrumentierungen aufwies. Dieser Gruppenunterschied war statistisch nicht signifikant.

Gleichzeitig wurden die Krümmungswinkel der Wurzelkanäle vor und nach der Kanalaufbereitung ermittelt und die Differenz für jeden Kanal berechnet. Die so statistisch ermittelten Werte sind in Tabelle 3.4 aufgeführt.

**Tabelle 3.4: Differenz der Krümmungswinkel vor und nach  
Wurzelkanalaufbereitung der Prototypen A1 und A2**

Prototyp- angabe der Instrumente	Anzahl n	Mittelwert $\bar{x}$ (Standardab- weichung s)	T-Test (2-seitig) p
A1	30	1,77 (2,88)	0,028*
A2	19	4,5 (5,53)	

Beim Vergleich der beiden Prototypen A1 und A2 wies A2 signifikant häufiger Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf auf. Insgesamt konnte damit von der Hypothese ausgegangen werden, dass die Wurzelkanalinstrumente mit der abgerundeten Schneidenoberfläche über das gesamte Arbeitsteil (A1) der Instrumente eine geringere Schneidleistung aufwiesen und sich somit besser an dem ursprünglichen Wurzelkanalverlauf orientierten als die Wurzelkanalinstrumente die keine abgerundeten Schneiden (A2) besaßen. Es zeigt sich, dass Instrumente mit abgerundeter Schneidenoberfläche die geringere Schneidleistung aufwiesen.

### 3.2 Ergebnisse der 3.und 4.Versuchsreihen im Vergleich

In der 3.und 4.Versuchsreihe wurden die beiden Aufbereitungstechniken (Crown-down-Technik und Step-back-Technik) bezüglich Instrumentenfraktur, Überinstrumentierung und Zip-Effekt untersucht, die Ergebnisse wurden in den Tabellen 3.5-3.7 aufgeführt:

**Tabelle 3.5: Instrumentenfraktur bei der Crown-down- und der Step-back-Technik**

Technik der Wurzelkanal-aufbereitung	Anzahl der Versuchsinstrumente n	Instrumentenfraktur		Chi-Quadrat nach Pearson
		ja	nein	
Crown-down-Technik	18	1	17	0,512
Prozent	100%	5,6%	94,4%	
Step-back-Technik	17	2	15	
Prozent	100%	11,8%	88,2%	

**Tabelle 3.6: Überinstrumentierung bei der Crown-down- und der Step-back-Technik**

Technik der Wurzelkanal-aufbereitung	Anzahl der Versuchsinstrumente n	Überinstrumentierung		Chi-Quadrat nach Pearson
		ja	nein	
Crown-down-Technik	18	1	17	0,028*
Prozent	100%	5,6%	94,4%	
Step-back-Technik	17	6	11	
Prozent	100%	35,3%	64,7%	

**Tabelle 3.7: Zip-Effekt bei der Crown-down- und der Step-back-Technik**

Technik der Wurzelkanal- aufbereitung	Anzahl der Versuchs- instrumente n	Zip-Effekt		Chi-Quadrat nach Pearson
		ja	nein	
Crown-down- Technik	18	0	18	0,296
Prozent	100%	0%	100%	
Step-back- Technik	17	1	16	
Prozent	100%	5,9%	94,1%	

Hier zeigten sich bei der Aufbereitung nach der Crown-down-Technik tendenziell geringere Frakturen der Wurzelkanalinstrumente, weniger Überinstrumentierungen und im Gegensatz zur Step-back-Technik keine Zip-Effekte. Diese Unterschiede sind statistisch nicht signifikant. In Tabelle 3.6 zeigte sich, dass es in 35,3% der Fälle zur Überinstrumentierung bei Verwendung der Step-back-Technik in dieser Versuchsreihe kam. Es stellte sich ein signifikanter Unterschied im Gegensatz zur Crown-down-Technik heraus, bei der die Überinstrumentierung nur einmal dokumentiert werden konnte.

Des Weiteren wurden auch in diesen Versuchsreihen die Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf der beiden Aufbereitungstechniken miteinander verglichen. Die so statistisch ermittelten Werte sind in Tabelle 3.8 dargestellt.

**Tabelle 3.8: Differenz der Krümmungswinkel der Aufbereitungstechniken vor und nach Wurzelkanalaufbereitung**

Technik der Wurzelkanal-aufbereitung	Anzahl n	Mittelwert $\bar{x}$ (Standard-Abweichung s)	T-Test (2-seitig) p
Crown-down-Technik	18	4,81 (5,11)	0,04*
Step-back-Technik	17	1,94 (2,14)	

Die in Tabelle 3.8 aufgeführten Ergebnisse zeigten die signifikant höheren Kanalabweichungen zum ursprünglichen Kanalverlauf, die mit der Crown-down-Technik im Gegensatz zur Step-back-Technik entstehen.

Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass durch die Verwendung unterschiedlicher Aufbereitungstechniken mit demselben Prototyp Unterschiede in bezug auf Instrumentenfraktur, Überinstrumentierung, Zip-Effekte und Abweichung vom ursprünglichen Kanalverlauf entstehen.

## 4. Diskussion

Eine qualitativ anspruchsvolle Wurzelkanalbehandlung mit Handinstrumenten aus Stahllegierungen verlangt eine zeit- und arbeitsaufwendige Arbeitsweise. Dies führt bei langwierigen Aufbereitungen zur Ermüdung des Behandlers. Um dem Behandler die ermüdende und zeitaufwendige Kanalaufbereitung zu erleichtern, wurden maschinelle Wurzelkanalinstrumente entwickelt, welche jedoch in den bisher durchgeführten Untersuchungen gegenüber der konventionellen Kanalaufbereitung nicht zufriedenstellend überzeugen konnten (Klayman, 1975; O'Connell, 1975). Dieses zeigte sich insbesondere durch die Veränderung der ursprünglichen Kanalform im Verlauf der maschinellen Aufbereitung und dem häufigeren Auftreten von Instrumentenfrakturen (Hülsmann, 1992).

Mit zunehmender Instrumentenstärke orientieren sich die maschinellen Wurzelkanalinstrumente weniger an dem anatomischen Kanalverlauf, wodurch der aufbereitete Wurzelkanal deutliche Abweichungen bezüglich Begradigung oder Zip-Effekt aufwies. Dies stand in engem Zusammenhang mit der abnehmenden Flexibilität größerer Instrumentenstärke (Walia, 1988).

Durch die Herstellung der Wurzelkanalinstrumente aus NiTiNol besaßen diese Instrumente eine 2-3mal so große Flexibilität wie die konventionellen Stahlinstrumente (Walia, 1988). Bei Untersuchungen der NiTiNol-Instrumente im Vergleich mit Wurzelkanalinstrumenten die aus Stahl-Legierungen hergestellt wurden, zeigten sich die NiTiNol-Instrumente aufgrund ihrer erhöhten Flexibilität wesentlich effektiver und lieferten bessere Resultate bei der Beibehaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs, insbesondere bei gekrümmten Wurzelkanälen (Esposito, 1995; Coleman, 1996; Glosson, 1995; Zmener 1995).

Die Entwicklung neuer maschineller Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente aus NiTiNol-Legierungen konnte als sehr vielversprechend angesehen werden. Glosson (1995) konnte eine signifikante Zeitersparnis bei der maschinellen

Kanalaufbereitung mit NiTiInol-Instrumenten gegenüber konventionellen Handinstrumenten nachweisen, wodurch sie für den alltäglichen Einsatz in den Zahnarztpraxen immer interessanter wurde. Desweiteren konnten Dalton et al. 1998 durch ihre Studie zeigen, dass die Aufbereitung mit maschinell rotierenden Wurzelkanalinstrumenten zu einer deutlichen Reduktion der Keimzahl bei infizierten Wurzelkanalinstrumenten beitragen konnte. Die Keimreduktion war auch eine Folge des gleichmäßigen zirkumferenten Dentinabtrags der durch die maschinelle Rotation erst ermöglicht wurde.

Basierend auf den guten Ergebnissen mit den NiTiInol-Handinstrumenten wurde die Entwicklung der entsprechenden maschinellen Wurzelkanalinstrumente weiterentwickelt.

Mit der vorliegenden in-vitro-Studie sollten maschinelle NiTiInol-Wurzelkanalinstrumente der Firma Vereinigte Dentalwerke München untersucht werden. Zwei Prototypen, während der Versuchsreihen A1 und A2 genannt, wurden anhand folgender Kriterien beurteilt:

1. Frakturrate
2. Überinstrumentierung
3. Zip-Effekt
4. Abweichung vom Kanalverlauf

Die ausgewählten Kriterien stellen die angenommenen Komplikationsmöglichkeiten bei der Wurzelkanalpräparation dar. Das Ziel der Entwicklung neuer Wurzelkanalinstrumente und Aufbereitungstechniken ist es, die Wurzelkanalaufbereitung bei Reduktion der Komplikationsrate zu optimieren, um den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen zu steigern. Die Untersuchungen wurden unter Verwendung extrahierter menschlicher Zähne durchgeführt, die in Polyacrylat fixiert wurden (Hülsmann M., Stryga F., 1993).

Die Prototypen A1 und A2 der Vereinigten Dentalwerke München wurden als zu untersuchende Neuentwicklung anhand der oben aufgeführten Kriterien

beurteilt. Da der Prototyp A1 durch die statistisch signifikant geringere Frakturrate und Abweichungen der Präparation vom ursprünglichen Kanalverlauf deutlich bessere Ergebnisse zeigte, beschränkte man die weiteren Untersuchungen auf diesen. Der Prototyp A1 wurde vergleichend unter Anwendung der Step-back-Technik (Clem, 1969) und der Crown-down-Technik (Goerig, 1982) bezüglich der Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf, Instrumentenfrakturrate, Überinstrumentierungen und Zip-Effektes überprüft.

In den ersten beiden Versuchsreihen wurden die Prototypen A1 und A2 miteinander verglichen. Bei den Prototypen handelte es sich um Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente aus einer Nickel-Titan-Legierung der Vereinigten Dentalwerke München mit einer Kegelsteigung von 4%. Unter Verwendung eines Motors mit elektronisch kontrolliertem Drehmoment und Drehzahl in Kombination mit einem Endo-Winkelstück (Reduktion 8:1) der Firma Nouwag wurden extrahierte menschliche Versuchszähne bei 200 U/min mit den beiden Prototypen aufbereitet. Unterstützt wurde die Kanalaufbereitung durch den Gebrauch des Komplexbildners EDTA (rc-prep©) und der 3%igen Natriumhypochloritpüllösung (NaOCl).

In der ersten Versuchsreihe wurden 30 Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 aufbereitet. A1 unterschied sich vom Prototyp A2 durch die abgerundete Schneidenoberfläche der Instrumente. Geometrisch waren die beiden Instrumententypen nahezu identisch.

Anschließend wurden in der zweiten Versuchsreihe 19 Wurzelkanäle maschinell mit dem Prototyp A2 aufbereitet. Die Auswertung der einzelnen Versuchsreihen erfolgte anhand der oben erwähnten Kriterien; die so ermittelten Ergebnisse für die beiden Prototypen wurden daraufhin miteinander verglichen.

Der Prototyp A2 zeichnete sich durch signifikant größere Frakturraten, 63,2% der Versuchsinstrumente, und Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf aus. Es wurde vermutet, dass durch die nichtgebürstete Schneidenoberfläche der Versuchsinstrumente eine deutlich bessere

Schneidleistung resultierte. Die somit auftretende erhöhte Schneideffektivität des Prototyps A2 könnte als Ursache für das unkontrollierte Abweichen vom ursprünglichen Kanalverlauf verantwortlich sein, wodurch sich anschließende Instrumentenfrakturen begünstigt wurden. In der ersten Versuchsreihe konnte sich der Prototyp A1 hingegen signifikant besser am ursprünglichen Kanalverlauf orientieren und wies mit 16,7% eine signifikant geringere Frakturnrate auf, welches sich auf die vermutete geringere Schneidleistung des Wurzelkanalinstruments zurückführen läßt. Die abgerundeten Schneiden der Versuchsinstrumente führen zu einer eindeutigen Verringerung der Schneidleistung.

Das prozentual häufigere Auftreten der Überinstrumentierungen beim Prototypen A1 mit 43,3%, im Vergleich zum Prototypen A2 mit 31,8%, könnte sich bei kritischer Betrachtung auf verschiedene Ursachen zurückführen lassen. Durch die sich beim Prototypen A2 ereignenden Instrumentenfrakturen in der zweiten Versuchsreihe war bei einzelnen Versuchszähnen eine Instrumentierung bis zum Apex nicht mehr möglich gewesen, unter anderem als Folge von persistierenden Frakturteilen im Wurzelkanal. Diese Fälle veränderten das Gesamtergebnis über die Überinstrumentierung mit dem Prototypen A2, das daher positiver ausfallen mußte. Die Beobachtung läßt die Vermutung zu, dass, es im Gegensatz zu der geringeren Schneideffektivität bei der Rotation, bei der Translationsbewegung beim Prototyp A1 zu einer erhöhten Leistung kommt. Die verstärkte Translationsbewegung könnte die Instrumentenführung nach apikal begünstigen. Die Folge wäre ein häufigeres Auftreten von Überinstrumentierungen.

Durch die vergleichende Untersuchung konnte der Nachweis erbracht werden, daß der Prototyp A1 dem Prototypen A2 deutlich überlegen ist. Der Prototyp A2 befindet sich außerhalb des klinisch akzeptierten Toleranzbereiches. In der dritten und vierten Versuchsreihe wurde daher gänzlich auf den Einsatz des Prototypen A2 verzichtet.

Die Crown-down-Technik und die Step-back-Technik wurden unter Verwendung in der 3. und 4. Versuchsreihe anhand der oben aufgeführten Kriterien miteinander verglichen.

In der dritten Versuchsreihe wurden n=18 Wurzelkanäle mit dem Prototyp A1 der Firma Vereinigte Dentalwerke München mit dem Taper 0,04 und der abgerundeten Schneidenoberfläche mit der Crown-Down-Technik aufbereitet. Nach Erreichen der Arbeitslänge wurde mit der Step-Down-Technik nach Goerig et al. (1982) mit abnehmenden Instrumentengrößen nach apikal aufbereitet. Nach der Aufbereitung bis zur Masterfeile wurde für die stufenförmige apikale Präparation die Step-Back-Technik (Clem 1969) verwandt. Die ermittelten Ergebnisse wurden mit den Untersuchungen der vierten Versuchsreihe verglichen. In dieser Versuchsreihe wurden n=17 Wurzelkanäle nach Erreichen der Arbeitslänge direkt mit der stufenförmigen apikalen Präparation nach der Step-Back-Technik (Clem 1969) aufbereitet. Im Gegensatz zur Crown-Down-Technik erfolgte die Wurzelkanalaufbereitung nach der Step-Back-Technik von apikal nach koronal.

Bei der Step-back-Technik wurden mit 35,3% nachweislich signifikant höhere Werte bei der Überinstrumentierung dokumentiert, im Vergleich zur Crown-down-Technik, bei der nur 5,6% der Versuchsfälle Überinstrumentierungen aufwiesen. Unsere Versuchsreihen dokumentierten, dass die Überinstrumentierung ein Risiko bei Verwendung der Step-back-Technik mit maschinell rotierenden Wurzelkanalinstrumenten sein könnte. Wir führten die auftretende Komplikation auf die verstärkte Translationsbewegung der Wurzelkanalinstrumente im apikalen Bereich zurück. Sie resultierte aus der auftretenden Friktion im koronalen und mittleren Wurzelkanal der rotierenden Instrumente, im Gegensatz zur Crown-down-Technik bei der erst der Dentinabtrag im zervikalen und mittleren Kanaldrittel erfolgt, um Zugang für das apikale Kanaldrittel zu schaffen. Die Friktion in den oberen beiden Kanaldritteln blieb somit aus, wodurch die verstärkte Translationsbewegung nach apikal nicht auftrat.

Bei der klinischen Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen würde eine Überinstrumentierung eine Verschleppung des nekrotischen Pulpagewebes und der infizierten Dentinspäne über den Apex des Zahnes hinaus bedeuten. Die physiologische Konstriktion wäre durch übermäßige Wurzelkanalerweiterung nicht mehr gegeben. Bei der anschließenden Obturation des Wurzelkanallumens würde das Wurzelkanalfüllmaterial über den Apex hinaus gelangen, wodurch es zu einer Reizung und Infektion der periapikalen Region kommen würde.

Die mangelhafte Taktilität des Behandlers wie sie Esposito in seinen Untersuchungen beschrieb (Esposito, 1995), trug auch in unseren Versuchsreihen zum erhöhten Auftreten von Überinstrumentierungen, Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf und Zip-Effekten bei. Die verstärkte Friktion in den koronalen und mittleren Anteilen der Versuchszähne konnte durch die Verringerung des Tastsinns des Behandlers in vielen Fällen nicht rechtzeitig bemerkt werden, resultierende Komplikationen konnten somit nicht verhindert werden.

Insgesamt ist die Aufbereitung mit der Crown-down-Technik der Step-back-Technik in unseren Versuchsreihen überlegen und kann schlußfolgernd als sicherere Aufbereitungsmethode angesehen werden.

Zusammenfassend läßt sich durch die Ergebnisse der in-vitro-Studie sagen, dass eine Wurzelkanalaufbereitung mit dem Prototypen A1 unter Verwendung der Crown-down-Technik als sichere Form der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung angesehen werden kann. Die Übertragbarkeit auf die klinische Situation ist durch die Verwendung von extrahierten menschlichen Zähnen in unseren Versuchsreihen nicht prinzipiell gegeben. Während der Versuchsreihen wurden die zu untersuchenden Zähne in Kochsalzlösung aufbewahrt, um ein Austrocknen der Zahnschubstanz zu vermeiden, jedoch läßt sich die Dentinqualität der Versuchszähne nicht mit Zähnen in der Mundhöhle gleichsetzen. Desweiteren gab es bei der in-vitro Wurzelkanalaufbereitung keine Einschränkungen in der Sicht, im Gegensatz zu eingeschränkten

Sichtverhältnissen bei der Wurzelkanalbehandlung am Patienten, insbesondere bei aufzubereitenden Molaren. Die Wurzelkanalaufbereitung am Patienten wird nicht nur durch die eingeschränkten Sichtverhältnisse, sondern auch durch die anatomischen Gegebenheiten der Mundhöhle erschwert. Bei der Kanalaufbereitung in der Mundhöhle ist die Wahl der Achsenrichtung der Instrumente durch die Anatomie nur bedingt wählbar. Bei unserer Untersuchung konnte die Aufberei-tungsachse frei gewählt werden, wodurch die Taktilität des Behandlers nicht eingeschränkt wurde. Zusätzliche Spannungen der Versuchsinstrumente konnten somit in der in-vitro-Studie ausgeschaltet werden, die in der klinischen Situation nicht eliminiert werden können. Die oben erwähnten Kriterien schränken die Übertragbarkeit der Studie auf klinische Situationen ein. Weitere klinische Studien sind durch die Vorteile der maschinellen Kanalaufbereitung erforderlich.

Das Aufbereitungssystem unserer Versuchsreihe muß für den klinischen Gebrauch modifiziert werden, um die Vorteile der maschinellen Rotation der NiTiInol- Wurzelkanalinstrumente verstärkt nutzen zu können. Für den Gebrauch des Aufbereitungssystems müssen klare Behandlungsschritte durch den Hersteller vorgegeben werden. Eine Erweiterung im koronalen Bereich ist für die anschließende Kanalaufbereitung notwendig, um Friktion der maschinellen Wurzelkanalinstrumente in diesem Bereich und die daraus resultierenden Komplikationen, die verstärkte Translationsbewegung und Frakturen der Instrumente, zu verhindern. Die vergrößerte Konizität der Instrumente ist sinnvoll und sollte auch in weiteren Versuchsreihen beibehalten werden. Als Grundlage sollte hier die Crown-Down-Technik verwandt werden, die eine Aufbereitung von koronal nach apikal voraussetzt. In den koronalen und mittleren Abschnitten sollten Instrumente mit vergrößerter Konizität, 4% und 6%, verwendet werden um Friktion der rotierenden Instrumente in diesen Bereichen auszuschließen. Die anschließende Aufbereitung im apikalen Bereich wird durch die Kanalerweiterung in den oberen Abschnitten erleichtert, es wird geringere

Spannung auf die einzelnen Instrumente einwirken, da die Friktion und die daraus resultierende Translationsbewegung nach apikal ausbleibt. Die Taktilität wird durch die vergrößerte Instrumentierungsachse verstärkt, wodurch auftretende Komplikationen verhindert werden können.

Um eine endgültige Beurteilung des untersuchten maschinell rotierenden Aufbereitungssystems abgeben zu können, sind noch weitere klinische Studien erforderlich. Diese Untersuchungen sollten bezüglich der Wurzelquerschnitte vor und nach erfolgter Kanalaufbereitung erweitert werden. Die mikrobiologische Untersuchung der Versuchszähne zur Ermittlung genauer Angaben bezüglich der Keimreduktion vor und nach der Kanalaufbereitung wäre eine weitere sinnvolle Ergänzung.

## 5.Zusammenfassung

Die zunehmende Neuentwicklung endodontischer Aufbereitungssysteme mit NiTiInol-Instrumenten machte Untersuchungen über die klinische Effektivität der Instrumente erforderlich. Durch maschinelle NiTiInol-Wurzelkanalinstrumente mit spezifisch modifizierter Geometrie und erhöhter Flexibilität sollte eine sichere und effektivere Form der Wurzelkanalaufbereitung ermöglicht werden, wie sie durch bisherige Entwicklungen nicht zufriedenstellend erreicht werden konnte.

Diese Studie verglich Wurzelkanalinstrumente aus einer Nickel-Titan-Legierung der Vereinigten Dentalwerke München mit einer Kegelsteigung von 4%, die unterschiedliche Schneidenoberflächen aufwiesen. Der Prototypen A1 zeichnete sich durch die abgerundete Schneidenoberfläche der Wurzelkanalinstrumente gegenüber den unbehandelten Schneiden des Prototyp A2 aus. Wir erwarteten auf Grund der unterschiedlichen Schneidenoberfläche der Instrumente Differenzen bei der Schneidleistung. Die untersuchten Zähne wurden bezüglich ihrer Orientierung am ursprünglichen Kanalverlauf, dem Auftreten von Frakturen, Überinstrumentierungen und Zip-Effekten untersucht.

In der ersten Versuchsreihe wurden n=30 Kanäle mit dem Prototypen A1 aufbereitet, die anschließend mit den n=19 aufbereiteten Kanälen des Prototyps A2 verglichen wurden.

Erwartungsgemäß orientierte sich der Prototyp A1 auf Grund seiner geringeren Schneidleistung signifikant besser am ursprünglichen Kanalverlauf. Die signifikant größere Frakturnrate mit 63,2% des Prototypen A2 resultiert aus der erhöhten Schneideeffektivität die das unkontrollierte Abweichen vom ursprünglichen Kanalverlauf und die anschließende Instrumentenfraktur begünstigt. Die Instrumente mit der abgerundeten Schneidenoberfläche und der daraus resultierenden geringeren Schneidleistung (hier Prototyp A1) sind den Instrumententypen mit unbehandelten Schneiden und der daraus

resultierenden vergrößerten Schneidleistung deutlich überlegen. In den folgenden Untersuchungen wurden verschiedene Aufbereitungsmethoden unter Verwendung des Prototyps A1 mit der geringeren Schneidleistung miteinander verglichen. Es wurden die Kriterien aus den ersten Versuchsreihen verwendet. In den Versuchsreihen wurden n=18 Wurzelkanäle unter Verwendung der Crown-Down-Technik und n=17 Wurzelkanäle mit der Step-Back-Technik aufbereitet. Durch die auftretende Translationsbewegung der Instrumente im apikalen Bereich konnten bei der Aufbereitung nach der Step-Back-Methode mit 35,3% nachweislich signifikant höhere Werte bei der Überinstrumentierung dokumentiert werden.

Zusammenfassend läßt sich durch die Ergebnisse der in-vitro-Studie sagen, dass eine Wurzelkanalaufbereitung mit dem Prototypen A1 unter Verwendung der Crown-down-Technik als sichere Form der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung angesehen werden kann. Klinische Studien mit dem maschinellen Aufbereitungssystem dieser Versuchsreihe sind nach entsprechenden Modifikationen und unter dem befolgen klarer Behandlungsabläufe weiterhin erforderlich.

---

## 6. Literatur

1. Allison D. A., Weber C. R., Walton R. E.: The Influence of the of canal preparation on the quality of apical and coronal obturation. Journal of Endodontics 1979; 5: 298- 304
2. Andreasen, G. F., Hillman, T. B.: An evaluation of 55 cobalt substituted nitinol wire for use in orthodontics. Journal of the American Dental Association 82: 1373-1375, 1971.
3. Andreasen G. F., Morrow R. E.: Laboratory and clinical analyses of nitinol wire.  
American Journal of Orthodontics 1978; 73: 142- 51
4. Asghania MK, Brantley WA.: Comparision of bending and tension tests for orthodontic wires. American Journal of Orthodontics 1986; 89: 228-36
5. Behrend G. D., Cutler C. W., Gutmann J. L.: An in- vitro study of smear layer removal and microbial leakage along root canal fillings. International Journal of Endodontics 1996; 29: 99- 107
6. Bolanos O. R., Jensen J. R.: Scanning electron microscope comparision of the efficiancy of various methods of root canal preparation. Journal of Endodontics 6: 815, 1980
7. Briseno B. M.: Einfluß verschiedener Wurzelkanalinstrumente bzw. Aufbereitungssysteme auf die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle; Endodontie 1992; 4: 279- 290

8. Byström A., Happonen RP, Sjögren U, Sundqvist G: Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis. *Endod Dental Traumatologie* 1987; 3: 58-63.
9. Byström A., Sundquist G.: The antibacterial action of sodium Hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic Therapy. *International Endodontic Journal* 18: 35, 1985
10. Civjan, S., Huget, E. F. and de Simon, L. B.: Potential applications of certain nickel- titanium (nitinol) alloys, *Journal of Dental Research* 54: 89-96, 1975
11. Clem W. H.: Endodontics in the adolescent patient. *Dental Clinics of North America* 13: 483, 1969
12. Coffae K. P., Brilliant J. D.: The effect of serial preparation versus nonserial preparation on tissue removal in the root canals of extracted mandibular human molares. *Journal of Endodontics* 1: 211, 1975
13. Cohen St., Stewart G. G., Laster L. L.: The effects of acids, alkalies and chelating agents on dentine permeability. *Oral Surgery* 29: 631- 634, 1970
14. Coleman C. L., Svec T. A., Rieger M. R., Suchina J. A., Wang M. M., Glickman G. N.: Analyses of NiTi versus Stainless Steel Instrumentation By Means of Direct Digital Imaging. *Journal of Endodontics* 22 : 603- 607 (1996 )
15. Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M: Bacterial Reduction with Nickel-Titanium rotary instrumentation. *Journal of Endodontics* 1998; 24; 763-767

- 
16. Dammaschke T.: Natriumhypochlorid- eine Übersicht. Endodontie 1999; 1: 9-19
  17. Esposito, P. T. , Cummingham, C. J. : A Comparison of Canal Preparation with Nickel- Titanium and Stainless Steel Instruments. Journal of Endodontics 21 : 173- 176 (1995)
  18. Frank A.: An evaluation of the Giromatic endodontic handpiece. Oral Surg, Oral Med and Oral Pathol 1967; 24: 419-421
  19. Friedmann, S.: Treatment outcome and prognosis of endodontic therapy. In: Orstavik, D., PittFord, T.R. (eds): Essential Endodontology- Prevention and Treatment of Apical Periodontitis. Blackwell Science, Oxford 1998, p. 106
  20. Glosson C.R., Haller R. H., Dove S.B. , del Rio C. E. : A Comparison of Root Canal Preparation Using NiTi Hand and NiTi Engine-driven and K-Flex Endodontic Instruments. Journal of Endodontics 21: 146- 151 ( 1995 )
  21. Goerig A., Michelich R., Schultz H.: Instrumentation of root canals in molars using the step- down technique. Journal of Endodontics 8: 550, 1982
  22. Goldberg F., Abramovich A.: Analysys of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal. Journal of Endodontics 3: 101, 1977
  23. Grossmann, L.I.S. Oliet, C. E. del Rio: Endodontic Practice, 11<sup>th</sup> ed. Lea& Febiger, Philadelphia 1988
  24. Gutmann J. : History of endodontics. In: Cohen S., Burns R: Pathways of the pulp. 4. Aufl., C.V.Mosby, St. Louis 1987

- 
25. Heisterkamp, C. A. , Buehler, W.J. and Wang, F. E. : 55-NiTiInol: A new biomaterial, paper presented at the 8<sup>th</sup> International Conference on Medical and Biomedical Engineering (Chicago), 1969
  26. Hoppe, W.; Heinen, J. P.: Schärfe-Grenzwerte von Wurzelkanalbohrern und Hedströmfeilen und ihre Bedeutung für die Wurzelkanalaufbereitung. Deutsche Zahnärztliche Zeitung 38, 209-213 (1983)
  27. Hülsmann, M.; Bertzbach, F.: Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit Handinstrumenten und maschinellen Aufbereitungshilfen. Deutsche Zahnärztliche Zeitung 44, 448-451
  28. Hülsmann M.: Das Canal-Finder-System, Wissenschaftliche Erkenntnisse und klinische Erfahrungen. Endodontie 1992; 1: 45-56
  29. Hülsmann M., Stryga F.: Comparison of Root Canal Preparation Using Different Automated Devices and Hand Instrumentation. Journal of Endodontics, Vol.19, No. 3, March 1993
  30. Hülsmann M.: Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter zur Wurzelkanalaufbereitung; Quintessenz
  31. Ingle J. I.: A standardized endodontic technique using newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14: 83, 1961
  32. International Organization for Standardization, 1992, Genf; ISO-Norm 3630
  33. Jungmann C. L., Uchin R. A., Bucher J. F.: Effect of instrumentation on the shape of the root canal. Journal of Endodontics 1: 66, 1975

- 
34. Kaeppler G.: Digitale Röntgentechniken im Zahn- und Kieferbereich- eine Übersicht; Deutsche Zahnärztliche Zeitung 51 (1996)
  35. Klayman S., Brilliant J.: A comparison of the efficiency of serial preparation versus Giromatic preparation. Journal of Endodontics 1975; 1: 334- 337
  36. Klimek, Attin: Einführung in die Zahnerhaltung; Urban & Fischer
  37. Kochis, Walton, R.; Lilly, J.; Ricks, L.; Rivera, E.: A histologic comparison of hand and NiTi rotary instrumentation techniques. Journal of Endodontics 24, 286 (1998)
  38. Krekes K, Tronstad L.: Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. Journal of Endodontics 1979; 5: 83-90
  39. Lee D.-H., Park B., Saxena A., Serene T. P. : Enhanced Surface Hardness by Boron Implantation in NiTi Alloy. Journal of Endodontics 22: 543- 546 (1996)
  40. Löst C. , Wesselink P. R. , Winkler R. : Grundlagen und Prinzipien moderner Endodontie. Endodontie 1992; 1: 7-18
  41. Moorer W. R., Wesselink P. R.: Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. International Journal of Endodontics 1982; 15: 187- 196
  42. Morgan L. F., Montgomery S.: An Evaluation of the crown- down pressureless technique. Journal of Endodontics 10: 491, 1984

- 
43. Mullaney TP: Instrumentation of finely curved canals. *Dental Clinics of North America* 1979; 23: 575- 592.
44. O'Connell D., Brayton S.: Evaluation of root canal preparation with two automated endodontic handpieces. *Oral Surgery* 1975; 39: 298- 303
45. PDZ Endodontie, 4. Auflage; Urban & Fischer
46. Powell, S.E., Simon, J.H., Maze, B. B.: A comparison of the effect of modified and nonmodified tips on apical canal configuration. *Journal of Endodontics* 12, 293 (1986)
47. Reddy, S.; Hicks, L.: Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques. *Journal of Endodontics* 24, 180 (1998)
48. Sabala, C. L., Roane, J. B., Southard, L. Z.: Instrumentation of curved canals using a modified tipped instrument: A comparison study. *Journal of Endodontics* 14, 59 (1988)
49. Saunders, W.P., Saunders, E.M.: Comparison of three instruments in the preparation of the curved root canal using a double-flared technique. *Journal of Endodontics* 20, 440 (1994)
50. Schäfer, E.: Effects of four Instrumentation Techniques on Curved Canals: A Comparison Study. *Journal of Endodontics* 12:22, 1996
51. Schäfer, E.: *Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz*; Quintessenz Verlag 1998

52. Schäfer, E.; Tepel, J.: Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung. Deutsche Zahnärztliche Zeitung; 1994
53. Schilder H.: Cleaning and shaping the root canal. Dental Clinics of North America 1974; 18: 269-296
54. Schmalz G.: Die Wurzelkanalbehandlung- Klinische Erfolge. Deutsche Zahnärztliche Zeitung 1990; 45: 251- 256
55. Schneider S.: A Comparison of Canal Preparation in straight and curved root canals; Oral Surgery 32: 271, 1971
56. Serene, T. P. , Adams , J. D. , Saxena, A. : Nickel- Titanium instruments : applications in endodontics. Tokyo, Japan : Ishiyaku EuroAmerica, Inc., 1994: 1-110
57. Stewart G. G., Kapsimalis P, Rappaport H.: EDTA and urea peroxide for root canal preparation. Journal of the American Dental Association Vol 78, February 1969
58. Tepel J.: Experimentelle Untersuchungen über die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung; Quintessenz
59. Thé S. D.: The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1979; 47: 558- 561
60. Tronstad. L.: Clinical Endodontics. Thieme, Stuttgart 1991

61. Walia, H. , Brantley, W. A. , Gerstein, H. : An Initial Investigation of the Bending and Torsional Properties of Nitinol Root Canal Files. *Journal of Endodontics* 14, 346 (1988)
62. Walton R. E., Torabinejad M.: Principles and Practice of Endodontics 2<sup>nd</sup> Edition 1996 W. B. Saunders Company
63. Walton R. E.: Current Concepts of Canal Preparation; *Dental Clinics of North America* 36: no. 2 April 1992
64. Weine F. S., Kelly R. F., Bray K. E.: The effect of Preparation with endodontic handpieces on original canal shape; *Journal of Endodontics* 2: 298, 1976
65. Weine F. S., Kelly R. F., Lio P. J.: The effect of Preparation Procedures on original canal shape and on apical foramen shape; *Journal of Endodontics* 1: 255, 1975
66. Weine F. S.: *Endodontic Therapy*. Fourth Edition 1989, The C. V. Mosby Company
67. Zmener O, Balbachan L. : Effectiveness of nickel- titanium files for preparing curved root canal. *Endodontics and Dental Traumatology* 1995; 11: 121-123
68. Zuolo, M., Walton, R.: Instrument deterioration with usage: Nickel-titanium versus stainless steel. *Quintessence Int.* 28, 397 (1997)