



# Schneidengeometrie und Effizienz voll rotierender Nickel-Titan-Feilen

David Sonntag

Zahlreiche Systeme zur rotierenden Aufbereitung mit NiTi-Feilen sind mittlerweile auf dem Markt verfügbar. Die Vor- und Nachteile neuer Feilen mit unterschiedlichen Schneidengeometrien sind jedoch häufig nicht ohne weiteres erkennbar und nachvollziehbar. Ein gemeinsamer Vorteil der maschinellen Aufbereitungsverfahren liegt in einer kurzen Aufbereitungszeit bei der Bearbeitung gekrümmter Kanäle. In dem vorliegenden Artikel werden Konstruktionsmerkmale verschiedener NiTi-Feilen dargestellt und diskutiert. Zur Überprüfung der Aufbereitungseffizienz wurden 72 künstliche Wurzelkanäle mit den Systemen FlexMaster<sup>®</sup>, ProFile<sup>®</sup>, ProTaper<sup>™</sup> und RaCe<sup>™</sup> bis zur Größe 35/.04 von drei Behandlern aufbereitet. Die ermittelten Aufbereitungszeiten lagen zwischen 2,8 Minuten für die FlexMaster<sup>®</sup>-Feilen und 3,8 Minuten für das ProFile<sup>®</sup>-System. Zwischen den Systemen RaCe<sup>™</sup>, FlexMaster<sup>®</sup> und ProTaper<sup>™</sup> konnte kein signifikanter Unterschied bei der benötigten Aufbereitungszeit festgestellt werden. Mit diesen drei Systemen war jedoch eine signifikant schnellere Aufbereitung als mit dem ProFile<sup>®</sup>-System möglich. Die geringen Zeitunterschiede zeigen, dass alle untersuchten Systeme eine effiziente Aufbereitung erlauben.

**Indizes** Nickel-Titan, Schneidengeometrie, rotierende Aufbereitung

## Einleitung

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Nickel-Titan- (NiTi)-Feilen spielt eine immer größer werdende Rolle in der Endodontie. Verschiedene Feilensysteme mit positiven, neutralen oder passiven Schneidewinkeln, gleichmäßigen oder ansteigenden Konizitäten, unterschiedlichen Wirkwinkeln und anderen konstruktiven Merkmalen werden in der Literatur beschrieben und in der Werbung angepriesen. Grundkenntnisse über einige Konstruktionsmerkmale werden auch für den Praktiker wichtiger, da sich die Hersteller nicht mehr nach der ISO-Norm Nr. 3630 richten. Dies erschwert dem Anwender eine Beurteilung der verschiedenen Feilensysteme. Fünf verschiedene Feilen von vier Herstellern (FlexMaster<sup>®</sup>, VDW, München;

K<sup>3</sup>, Kerr, Karlsruhe; ProFile<sup>®</sup> und ProTaper<sup>™</sup>, Maillefer, Ballaigues/Schweiz; RaCe<sup>™</sup>, FKG Dentaire, Frankreich) sollen im Folgenden näher betrachtet sowie ihre Schneidengeometrie erläutert und diskutiert werden. Hierzu wurden die Feilen unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) in der Längsachse und im Querschnitt bei hoher Vergrößerung dargestellt.

In nahezu allen Studien zur Aufbereitung mit NiTi-Feilen wird von einer Zeitersparnis bei der maschinellen Aufbereitung berichtet. Im vorliegenden Artikel wird die Effizienz der Aufbereitung von vier NiTi-Feilensystemen verglichen. Hierzu wurden insgesamt 72 stark gekrümmte, artifizielle Wurzelkanäle mit den Systemen FlexMaster<sup>®</sup>, ProFile<sup>®</sup>, ProTaper<sup>™</sup> und RaCe<sup>™</sup> von drei Behandlern aufbereitet.



☞ Literaturhinweis: Hülsmann M (Hrsg.): Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – Ein Handbuch. Quintessenz, Berlin 2002.

## Konizität der Aufbereitungsinstrumente

Je weiter und je konischer ein Kanal präpariert ist, umso besser kann die Spüllösung in das Kanalsystem gelangen und der Kanal abschließend dicht verschlossen werden. Bei manueller Präparation im Sinne eines zirkumferenten Feilens werden im koronalen, teilweise auch im mittleren Kanaldrittel Konizitäten von 10 % oder mehr erreicht<sup>1</sup>. Bei rotierender Aufbereitung können solche hohen Konizitäten jedoch nur mit dem GT<sup>TM</sup>- (Greater-Taper)-Feilensystem (Maillefer Dentsply, Ballaigues/Schweiz) erzielt werden, das auch Feilen hoher Größe (35 bis 70) in einer 12%igen Konizität mit einschließt. Die zurzeit erhältlichen voll rotierenden NiTi-Feilen weisen Konizitäten zwischen 2 % und 19 % auf. Die meisten Systeme umfassen Feilen in zwei bis drei unterschiedlichen Konizitäten, wobei die Konizität innerhalb des Arbeitsteils nicht variiert. Eine Ausnahme bildet das ProTaper-System (Progressive Taper) mit innerhalb eines Instruments ansteigenden Konizitäten<sup>2</sup>.

Bei hoher Konizität des Aufbereitungsinstruments nimmt der Umfang der Feile rasch zu. Bei konstanter Drehzahl (z. B. 300 Umin<sup>-1</sup>) wächst damit die pro Umdrehung von einer Schneide zurückgelegte Strecke mit dem Umfang des Instruments. Die Schnittgeschwindigkeit, mit der die Schneidekante die Kanalwand bearbeitet, nimmt also mit steigender Konizität zu<sup>3</sup>. Drehzahl und Feilendurchmesser beeinflussen dadurch die Effizienz der Aufbereitung (Abb. 1).

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ (m/min)}$$

Abb. 1 Formel der Schnittgeschwindigkeit (v), die die Umfangsgeschwindigkeit bezeichnet, mit der die Schneidekante das Werkstück bearbeitet.

Da mit zunehmender Konizität der Aufbereitungsinstrumente jedoch auch der Kerndurchmesser des Instruments zunimmt und damit die Flexibilität sinkt, ist eine hohe Konizität an ein Querschnittsprofil mit konkaven Außenflächen gebunden. FlexMaster<sup>®</sup>-Feilen sind aufgrund der konvexen Außenflächen in der Lage, auch bei geringer Konizität den Torsions- und Biegebelastungen zu widerstehen; sie werden in Konizitäten ab 2 % angeboten. Andererseits verlieren diese Feilen bei höheren Konizitäten schnell die gewünschte Flexibilität, da sie im Querschnitt eine ca. 30 % größere Oberfläche aufweisen als Instrumente mit konkaven Außenflächen (z. B. Triple U-Feilen)<sup>4,5</sup>. GT<sup>TM</sup>-Feilen, die eine Weiterentwicklung des ProFile-Systems darstellen<sup>6</sup>, können aus diesem Grund in hohen Konizitäten bei hinreichender Flexibilität angeboten werden. Instrumente mit hohen Konizitäten sollten konkave Außenflächen aufweisen, während niedrige Konizitäten von einer konvexen Außenfläche profitieren, um hohe Flexibilität und hinreichende Frakturresistenz zu vereinen.

## Abstand und Anzahl der Schneiden

Die Anzahl der Schneiden pro Länge des Arbeitsteils eines Instruments ist für die Effizienz der Aufbereitung ebenfalls nicht ohne Bedeutung. Bei Handinstrumenten, die je nach Feilentyp drehend-schabend oder feilend eingesetzt werden, konnte Schäfer eine unterschiedliche Anzahl von Schneiden als ideal für die Aufbereitung ermitteln<sup>7</sup>. Waren es bei drehend-schabender Arbeitsweise 24 Schneiden (pro 16 mm Arbeitsteil), wurden bei feilender Arbeitsweise 16 Schneiden als ideal bezeichnet<sup>7</sup>.

Bei dem Herstellungsprozess durch Schleifen wird bei den meisten NiTi-Feilen ebenso wie bei der Herstellung von Edelstahlfeilen ein zur Spitze hin abnehmender Abstand der Schneiden mit einem zunehmenden Neigungswinkel erzeugt. Dies soll einen allseitig gleichmäßigen Materialabtrag ermöglichen, indem die Längsachse des Instruments besser im Kanallumen zentriert wird<sup>8</sup>. Weiterhin kann damit die Arbeitsbelastung gleichmäßiger auf das Instrument übertragen werden<sup>9</sup>. Diese Instrumentengeometrie verhindert jedoch auch ein schnelles Eindrehen der Feile in den Wurzelkanal. Abstand und Neigung der Schneiden verhalten sich damit umgekehrt wie bei den heute marktüblichen (Holz-)Schrauben. Diese sind so



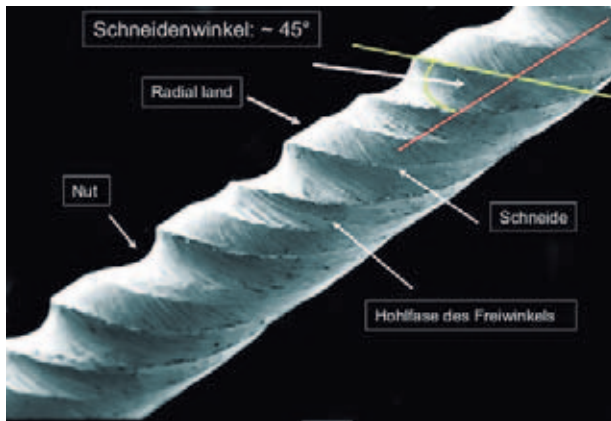


Abb. 2 REM-Aufnahme einer K<sup>3</sup>-Feile mit rotem Farbring (Größe 25), Taper .04 bei 117facher Vergrößerung. Der Neigungswinkel wurde an einer beliebigen Stelle gemessen und kann sich wie bei den anderen Instrumenten auch über die Länge des Arbeitsteils der Feile verändern.

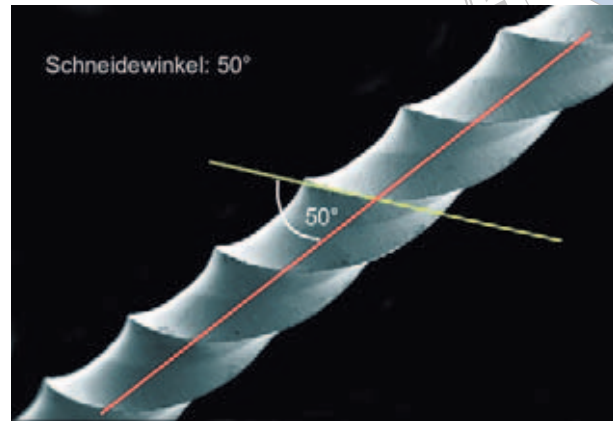


Abb. 3 REM-Aufnahme einer FlexMaster<sup>®</sup>-Feile mit rotem Farbring (Größe 25), Taper .04 bei 56facher Vergrößerung.



Abb. 4 REM-Aufnahme einer ProTaper<sup>™</sup>-Feile mit lila Farbring (S1) bei 45facher Vergrößerung. Die zunehmende Konizität des Instruments ist auch bei geringer Vergrößerung bereits deutlich erkennbar.

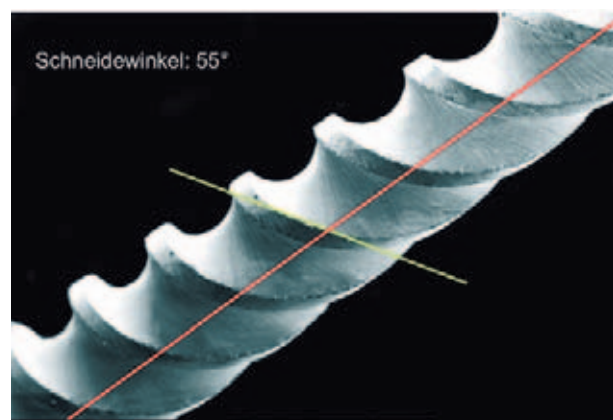


Abb. 5 REM-Aufnahme eines ProFile<sup>®</sup>-Instruments mit rotem Farbring (~ISO 25), Taper .04 bei 48facher Vergrößerung. Die Führungsflächen zur Zentrierung der Feile (Radial lands) zeichnen das Instrument aus.

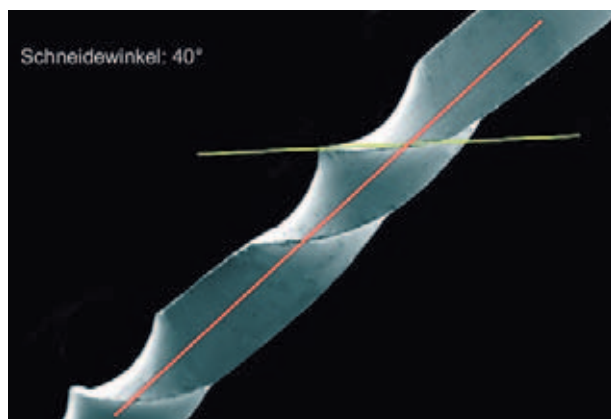


Abb. 6 REM-Aufnahme einer RaCe<sup>™</sup>-Feile mit rotem Farbring (Größe 25), Taper .02 bei 52facher Vergrößerung. Im Vergleich zu anderen Feilen fällt die glatte Oberfläche der Instrumente auf.





Abb. 7 FlexMaster®-Feile (aus Abb. 3) im Querschnitt bei 149facher Vergrößerung. Die Außenkontur des Instruments zeigt deutlich konvexe Flächen. Die Werte der angegebenen Winkel sind Tabelle 1 zu entnehmen

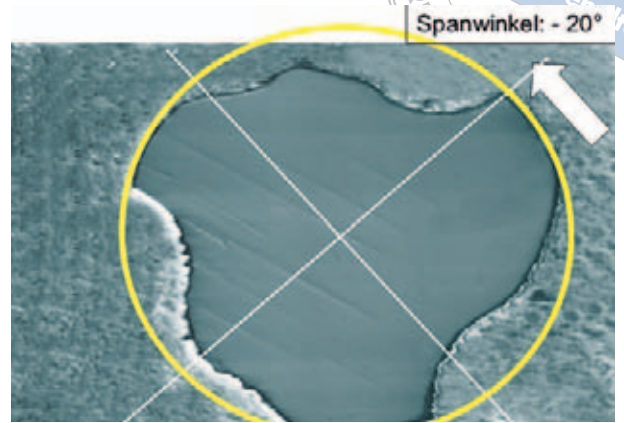


Abb. 8 K<sup>3</sup>-Feile (aus Abb. 2) im Querschnitt bei 161facher Vergrößerung. Ein negativer Spanwinkel ist ebenso wie bei den anderen gezeigten Feilen erkennbar.

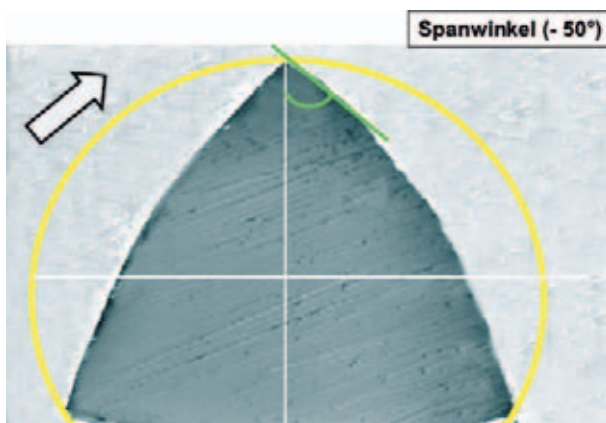


Abb. 9 ProTaper™-Feile (aus Abb. 4) im Querschnitt bei 148facher Vergrößerung. Die Abbildung zeigt den Feilenquerschnitt an einer beliebig gewählten Stelle. Wie auch bei allen anderen Feilen kann der Feilenquerschnitt über die Arbeitslänge variieren.

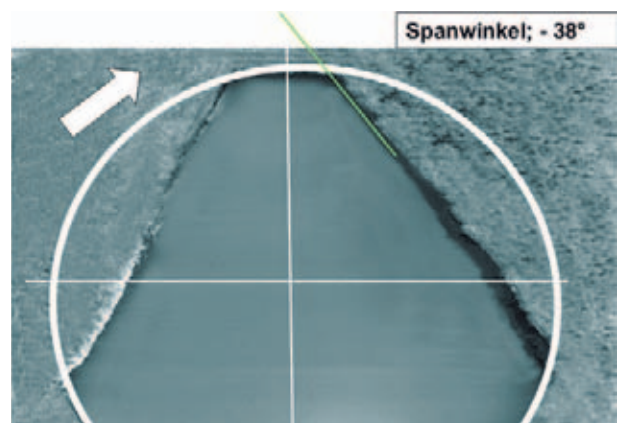


Abb. 10 ProFile-Instrument (aus Abb. 5) im Querschnitt bei 160facher Vergrößerung. Bei diesem Querschnitt sind die aus Zeichnungen bekannten konkaven Außenflächen (U-Shape) zwischen den Radial lands nicht erkennbar.

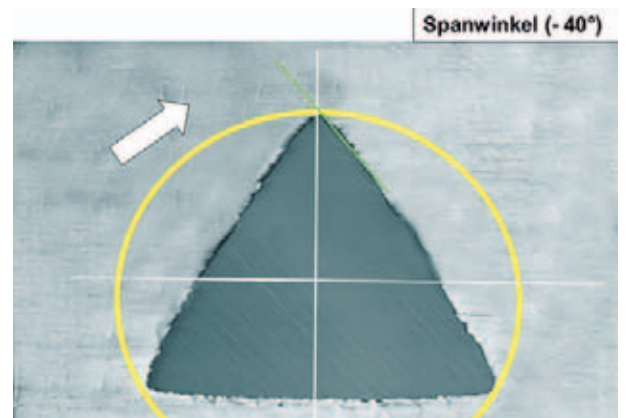


Abb. 11 RaCe®-Instrument (aus Abb. 5) im Querschnitt bei 113facher Vergrößerung. Die Außenflächen weisen hier weder Konvexitäten noch Konkavitäten auf.

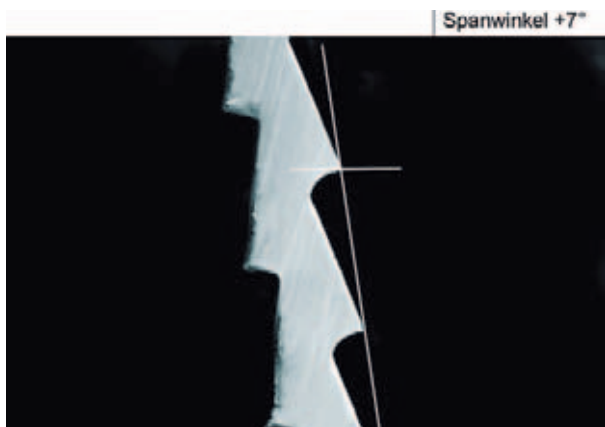


Abb. 12 Längsschnitt einer Hedström-Feile, ISO 45 (VDW, München) bei 39facher Vergrößerung. Aufgrund der ziehenden Arbeitsbewegung der Feilen ist der Spanwinkel nicht im Querschnitt, sondern im Längsschnitt zu beurteilen.

### Einfluss des Spanwinkels

Bei den auf dem Markt befindlichen NiTi-Feilen wird von einem negativen, neutralen und positiven Spanwinkel (oder auch Schneidenwinkel) gesprochen. Die Hersteller verdeutlichen diese Angaben nicht selten mit Schemazeichnungen des Querschnittsprofils ihrer Feile. Bei den von uns willkürlich ausgewählten Einzelfeilen unterschiedlicher Konizität konnten lediglich negative Schneidenwinkel gefunden werden. Diese variierten zwischen  $-20^\circ$  ( $K^3$ -Feile mit roter Farbcodierung, Taper .04) und  $-50^\circ$  (FlexMaster®, grüne Farbcodierung, Taper .04; und ProTaper™ lila Markierung, S1-Feile) (s. Tab. 1).

Die von uns vorgefundenen Werte beweisen nicht, dass alle untersuchten NiTi-Systeme nur negative Schneidenwinkel aufweisen, liefern jedoch einen Hinweis darauf, dass dies häufig der Fall ist. Negative Schneidenwinkel führen dazu, dass die Instrumente schaben und nicht schneiden. Bei schabender Bewegung werden für einen definierten Materialabtrag deutlich höhere Kräfte benötigt, als dies bei einem positiven Spanwinkel der Fall ist. Dieser Aspekt spielt auch für die auf ein Instrument einwirkende Kraft eine nicht unerhebliche Rolle. Die Schneidfähigkeit einer Feile wirkt sich entscheidend auf die Größe der insgesamt aufzuwendenden Kraft aus; dabei wachsen die Axialkräfte zwangsläufig mit dem Durchmesser

der Feile<sup>3</sup>. Klinisch macht sich dieser Sachverhalt dadurch bemerkbar, dass überwiegend nicht die Feilen kleinster Größen, sondern vielmehr Feilen mit einem mittleren Durchmesser frakturieren. Inwieweit andere Einflüsse die Fraktur dieser Feilengrößen begünstigen, ist noch ungeklärt. Ab einer gewissen Querschnittsfläche des Instruments besitzen die Feilen dann wieder eine hinreichend hohe Stabilität und Steifheit, um der Torsions- und Biegebelastung sicher und dauerhaft standhalten zu können.

Im Gegensatz zu den rotierend eingesetzten NiTi-Feilen weisen Hedström-Feilen bei ziehender Bewegung einen neutralen bis positiven Spanwinkel auf, der einen effizienten Materialabtrag ermöglicht (Abb. 12).

### Die Bedeutung des Spanraums

Der Spanraum steht in unmittelbarer Beziehung zur Anzahl der Schneiden und zum Instrumentenquerschnitt. Feilen mit einem konvexen Außenprofil und vielen Schneiden weisen den geringsten Spanraum auf, Feilen mit konkaven Außenflächen und wenigen Schneiden den größten Raum für Späne. Je effizienter die Schneiden einer Feile arbeiten, umso größer ist der Bedarf an Spanraum für das abgetragene Dentin. In der Metallbearbeitung spielen die Spanbildung und insbesondere die kontrollierte Entfernung der Späne aus der Schneidzone eine sehr wichtige Rolle, um eine einwandfreie Oberfläche (ohne Schmierschicht) zu erhalten<sup>3</sup>. Bei rotierenden Aufbereitungsinstrumenten ist dies aufgrund der abzutragenden Substanz (weiches, feuchtes Dentin) und der Schneidengeometrie fast nicht möglich. Die abgetragenen Späne schmierer sich zwischen den Schneiden fest und können nur durch manuelle Reinigung des Instruments wieder entfernt werden<sup>14</sup>. Ist der Raum für die anfallenden Späne nicht hinreichend groß, kommt es unmittelbar zu Ansammlungen von Debris und damit zu einem stark erhöhten Torque für die eingesetzte Feile. Im schlechtesten Fall führt dies zur Fraktur einer Feile.

### Standzeit der Schneide

Die Standzeit einer Schneide wird vom zu bearbeitenden Werkstückstoff (Dentin) sowie vom

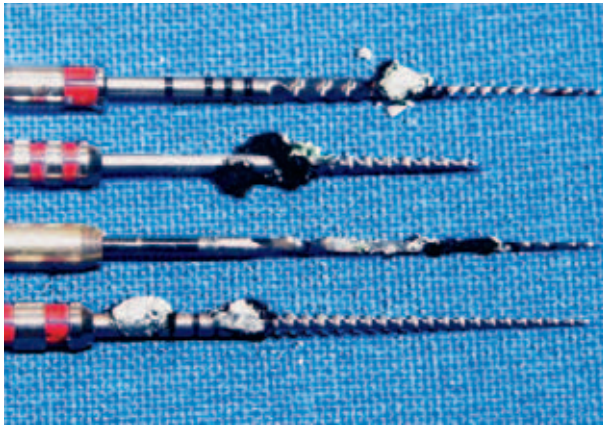


Abb. 13 Feilen verschiedener Hersteller nach mehrstündiger Lagerung in warmer 3%iger NaOCl-Lösung. Während an einigen Stellen eine sehr starke Korrosion auftritt, zeigt sich am überwiegenden Teil der Arbeitslänge keinerlei Veränderung durch die chemische Belastung.

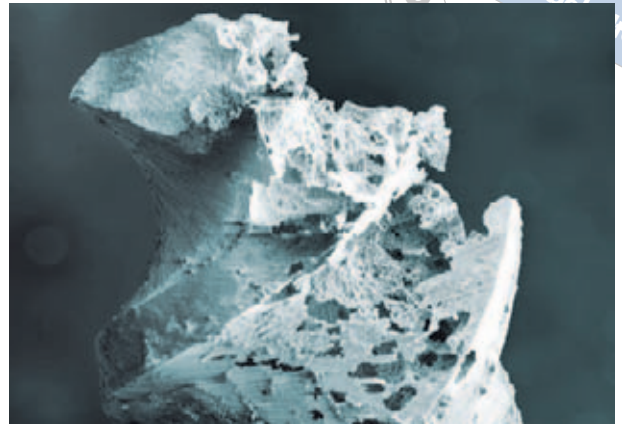


Abb. 14 Korrodierter Anteil einer Feile aus Abbildung 13. Bei den untersuchten Feilen zeigte das Maß der Korrosion keine Abhängigkeit vom Hersteller, der Geometrie einer Feile oder der Oberflächengüte.

Schneidstoff (Nickel-Titan) und von der Vorschubgeschwindigkeit (Umdrehungen pro Minute) beeinflusst. Eine Reihe von Belastungen führt zu einer Veränderung der Geometrie einer Schneide und verkürzt damit die Lebensdauer einer Schneidkante. Verschleiß ist also das Ergebnis einer Interaktion zwischen Werkzeug, Werkstückstoff und Bearbeitungsbedingungen<sup>3</sup>. Die wichtigsten Belastungsfaktoren für Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente sind:

- mechanische Belastungen sowie
- chemische und physikalische Belastungen.

#### *Mechanische Belastungen*

Während des Aufbereitungsprozesses ist die Feile durch den Dentinabtrag mechanischen Belastungen ausgesetzt. Der Verschleißwiderstand einer Schneide bezeichnet die Fähigkeit, unterschiedlichen Arten von Verschleiß so zu widerstehen, dass die Schneidkante ihre Leistungsfähigkeit während einer geplanten Zeit nicht verliert<sup>3</sup>. Kanalwanddentin besitzt eine Vickers-Härte von ca. 28 HV bis 35 HV<sup>15, 16, 17</sup> und wird mit NiTi-Feilen bearbeitet, die eine Härte von 303 HV bis 362 HV aufweisen<sup>18</sup>. Wenngleich Edelstahlinstrumente im Vergleich zu NiTi-Instrumenten doppelt so hart sind<sup>19</sup>, weist NiTi eine deutlich grö-

ßere Härte als das Dentin auf und eignet sich somit zur Wurzelkanalaufbereitung.

Das Standzeitende einer Schneide ist dann erreicht, wenn die Schneide nicht mehr in der Lage ist, ihre Aufgabe zu erfüllen. Das kann klinisch durch eine verminderte Schneidfreudigkeit des Instruments oder bei Betrachtung der Schneide unter dem REM festgestellt werden. Die Standzeit endet im äußersten Fall mit dem Bruch der Schneide oder gar dem Bruch des Instruments. Standzeitende sollte also Schneidkantenverschleiß und nicht Schneidkantenbruch bedeuten<sup>3</sup>.

Die Belastung einer Schneide ist jedoch bei den Wurzelkanalinstrumenten auch von der Kanalkrümmung und der Schneidenform abhängig<sup>4</sup>. Bei Feilen mit einem U-Profil (z. B. ProFile®, GT™) liegen Biege- und Torsionsbelastung mehr auf den Schneiden, während diese bei Feilen mit konvexem Außenprofil (z. B. FlexMaster®, ProTaper™) besser auf die gesamte Feile verteilt sind<sup>4</sup>. Ob sich dieser Umstand auch klinisch in Form unterschiedlich starker Schneiddefekte bemerkbar macht, ist noch nicht hinreichend untersucht. Wann Schneidkanten als verschlissen bezeichnet werden sollten, bedarf einer klaren Definition des Herstellers. In der metallverarbeitenden Industrie werden Schnittgeschwindigkeits-/Standzeit-Diagramme für unterschiedliche Werkstückstoffe angegeben und von einigen Werkstofflieferanten sogar als Teil der Werkstoffdaten mitgeliefert<sup>3</sup>. Dies wäre auch für





Anwender von dentalen NiTi-Feilen wünschenswert, um nicht mehr auf das eigene Gefühl für verschlissene Schneiden angewiesen zu sein, sondern sich auch aus forensischen Gründen auf Herstellerangaben beziehen zu können.

Ob die Standzeit einer Schneide als ideales Kriterium der Schneidleistung zu nennen ist, kann kontrovers diskutiert werden. Tepel führt an, dass die Standzeit zur Beurteilung der Schneidleistung weit weniger geeignet sei als die maximale Eindringtiefe<sup>20</sup>. Bei einer höheren maximalen Eindringtiefe kann auch bei weniger Arbeitszyklen (geringerer Standzeit) ein effizienterer Materialabtrag gegeben sein<sup>20</sup>.

### Chemische und physikalische Belastungen

Chemischen Belastungen sind Feilen und Schneiden in erster Linie durch Spüllösungen im Wurzelkanal, physikalischen Belastungen durch den Sterilisationsprozess ausgesetzt. Verstärkt werden diese Belastungen durch Inhomogenitäten an der Oberfläche<sup>19</sup>. Bei mehrstündiger Lagerung in erwärmter 3%iger Natriumhypochloritlösung sind auch makroskopisch deutliche Korrosionsspuren erkennbar, deren Ausmaß bei Betrachtung unter dem REM deutlich wird (Abb. 13 und 14). Für die Aufbereitung mit Natriumhypochlorit verwendete Feilen, die anschließend einer Heißluftsterilisation unterzogen wurden, konnte Schäfer ebenfalls sichtbare Korrosionsspuren bis hin zur Separation feststellen<sup>19</sup>. Bereits in physiologischer Kochsalzlösung sind NiTi-Feilen als korrosionsanfällig einzustufen<sup>21</sup>. Bei alleiniger Anwendung von multiplen Sterilisationszyklen im Autoklaven konnte hingegen keine erhöhte Frakturneigung bei Torsionsbelastung der Feilen gefunden werden<sup>22</sup>.

Wenngleich andere Autoren keine Korrosionsprozesse an NiTi-Oberflächen nachweisen konnten<sup>18</sup>, scheint die chemische Belastung der Oberfläche eine Rolle zu spielen, da Korrosion eine Schwächung der Feile bewirkt und dies zu einer schnelleren Fraktur führen kann.

### Verbesserung der Oberflächengüte

Die Oberflächenhärte von NiTi-Legierungen beträgt nur 50 % der Härte konventioneller Edelstahllegierungen<sup>19</sup>. Verschiedene Untersucher und Hersteller haben eine Verbesserung der Oberflächengüte der im REM zum Teil rau erscheinenden Oberfläche von NiTi-Instrumenten vorgenommen. Die glatt erscheinende Oberfläche der RaCe™-Feilen wird beispielsweise durch elektrochemischen Abtrag einer oberflächlichen Materialschicht erzeugt<sup>23</sup>. Bei unserem einfachen Korrosionstest zeigte sich jedoch keine erhöhte Korrosionsresistenz (Abb. 13). Zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit und der Verschleißfestigkeit wurden Behandlungen der Oberflächen mit Stickstoff oder Bor erprobt<sup>18, 24, 25</sup>. Die in einer Studie mit einer Titanbromidschicht überzogenen ProFile®-Instrumente zeigten auch eine erhöhte Schneidleistung<sup>26</sup>.

Bei einem anderen Verfahren wird ein Haftschichtvermittler aus Titan aufgebracht und nachfolgend eine Titanitridschicht aufgetragen. Schäfer berichtet, dass mit dieser PVD-Beschichtung (Physical Vapour Deposition) eine signifikante Steigerung der Schneidleistung herbeigeführt werden kann, ohne dass es durch diese Schicht zu einer Verrundung der Schneidekanten kommt<sup>19,24</sup>.

### Klassifikation von NiTi-Feilen

In letzter Zeit wird häufig eine Unterteilung der NiTi-Feilen in aktive, semiaktive und passive Instrumente vorgenommen. Diese Einteilung geht auf Ben Johnson zurück und bezieht sich auf die Schneidfreudigkeit eines Instruments aufgrund seiner Geometrie<sup>27</sup>. Als passiv werden Instrumente mit seitlichen Führungsflächen bzw. einem Radial land bezeichnet (ProFile®; GT™; LightSpeed). Als semiaktiv wird beispielsweise die Quantec-Feile (Tycom, USA) eingestuft. Aktive Instrumente verfügen über eine Schneidkante ohne Radial lands. Sie besitzen damit einen deutlich ausgeprägten Freiwinkel und zeigen eine höhere Abtragsleistung. Zu dieser Gruppe zählen beispielsweise FlexMaster®, RaCe™- und ProTaper™-Instrumente. Bei identischer Konizität aktiver und passiver Feilen sollten mit aktiven Instrumenten eher leicht gekrümmte Kanäle bearbeitet werden und auf eine Rekapitulation der erreichten Aufbereitungslänge





verzichtet werden. Ein aktives Instrument ist durch die aggressiveren Schneiden schneller in der Lage, im gekrümmten Wurzelkanal eine Begrädnung zu erzeugen als ein mit seitlichen Führungsflächen versehenes Instrument. Mit passiven Instrumenten können daher auch stärker gekrümmte Kanäle bearbeitet werden, die bei einer Rekapitulation den originären Wurzelkanalverlauf weniger schnell verändern, da sie aufgrund des geringeren Kerndurchmessers der Feile neben dem passiven Schneidverhalten auch eine höhere Flexibilität aufweisen.

☞ Literaturhinweise: Baumann MA: Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem RaCe-System. *Endodontie* 2002; 11/3: 239-249.

Baumann MA: ProTaper – eine neue Generation von NiTi-Feilen. *Endodontie* 2001; 10/4: 351-364.

Gressmann G, Hülsmann M: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. *Endodontie* 2001; 10/3: 227-241.

Kiefner P: Die Wurzelkanalpräparation mit maschinell getriebenen ProTaper-Instrumenten und nachfolgende Obturation mit dem ThermoFil-System bei zwei Revisionsfällen. *Endodontie* 2003; 12/3: 229-242.

## Eigene Untersuchungen

### Material und Methode

Um die Effizienz der Aufbereitung durch verschiedene Feilentypen auch praktisch zu evaluieren, hatten drei Behandler die Aufgabe, je 24 stark gekrümmte, artifizielle Wurzelkanäle in Epoxidharzblöckchen (Fa. VDW, München) aufzubereiten. Von jedem Behandler wurden je sechs Kanäle mit den Systemen ProFile®, RaCe™, FlexMaster® und ProTaper™ bis zur Größe 35/.04 aufbereitet. Zum Antrieb der vier Feilensysteme wurde der drehmomentbegrenzte Motor „Endo IT Control“ (VDW, München) verwendet. Alle benutzten Feilen wurden vor der Anwendung mit Glyde (Dentsply DeTrey, Konstanz) benetzt und erst dann rotierend in den Kanal eingeführt. Ein Instrument wurde jeweils für eine Dauer von maximal zehn Sekunden im Wurzelkanal belassen. Zwischen den Instrumentenwechseln wurden die Kanäle jeweils mit Wasser gespült. Vor Beginn der Wurzelkanalaufbereitung wurden die Gummistop-

per zur Längenmarkierung auf die korrekte Aufbereitungslänge eingestellt und die Feilen in der vorgeschriebenen Anwendungsfolge in einen Interimsständer eingesteckt. Die zu erreichende Aufbereitungslänge betrug bei allen Kanälen 18 mm.

In nachfolgender Reihenfolge wurden die Systeme durch die Behandler eingesetzt, um Übungseffekte zu vermeiden:

- Behandler 1: RaCe™, FlexMaster®, ProFile®, ProTaper™
- Behandler 2: FlexMaster®, ProFile®, ProTaper™, RaCe™
- Behandler 3: ProTaper™, RaCe™, FlexMaster®, ProFile®.

### Aufbereitung mit ProFile®-Instrumenten (Maillefer, Ballaigues)

Die Aufbereitung des koronalen Wurzelkanalanteils erfolgte mit Orifice-Shapern der Größen 30/.08 und 25/.08 in der Crown-down-Technik. Die ProFile-Instrumente wurden anschließend in der Crown-down-Sequenz: 35/.06; 30/.06; 25/.06; 25/.04; 30/.04 und 35/.04 bei 300 Umin<sup>-1</sup> angewendet.

### Aufbereitung mit RaCe™-Instrumenten (FKG, La Cheaux-de-Fonds)

Die koronale Erweiterung erfolgte mit den Pre-RaCe-Feilen aus Edelstahl in der Sequenz 40/.10; 35/.08; 30/.06. Danach wurde der apikale Wurzelkanalanteil in der Sequenz 25/.02; 25/.04; 30/.04 und 35/.04 aufbereitet. Die gesamte Aufbereitung wurde in der Crown-down-Technik bei 500 Umin<sup>-1</sup> durchgeführt.

### Aufbereitung mit FlexMaster®-Instrumenten (VDW, München)

Die Aufbereitung des koronalen Wurzelkanalanteils erfolgte mit Gates-Glidden-Bohrern (Komet, Lemgo) in der Crown-down-Technik (#90; #70). Nachfolgend wurden die Feilen in der Crown-down-Technik bei 280 Umin<sup>-1</sup> in der Sequenz 35/.06; 30/.06; 25/.06, 30/.04; 25/.04 und 35/.04 eingesetzt.



**Tabelle 2** Mit dem U-Test nach Mann und Whitney aufgespürte signifikante Unterschiede zwischen den Aufbereitungssystemen

	<b>RaCe™</b> 193 s	<b>FlexMaster®</b> 167 s	<b>ProFile®</b> 225 s	<b>ProTaper™</b> 199 s
<b>RaCe™</b> 193 s	---	p = 0,181 <b>n.s.</b>	p = 0,003 <b>**</b>	p = 0,839 <b>n.s.</b>
<b>FlexMaster®</b> 167 s	---		p = 0,017 <b>*</b>	p = 0,355 <b>n.s.</b>
<b>ProFile®</b> 225 s			---	p = 0,014 <b>*</b>

p = Irrtumswahrscheinlichkeit; n.s.= nicht signifikant; \* = signifikanter Unterschied; \*\* = hoch signifikanter Unterschied

#### Aufbereitung mit ProTaper™-Instrumenten (Dentsply DeTrey, Konstanz)

Die koronale Erweiterung erfolgte mit der SX-Feile. In der Crown-down-Technik wurden Feilen bei 300 Umin-1 in der folgenden Reihenfolge eingesetzt: S1; S2; F1 (20); F2 (25); F3 (30). Zusätzlich wurde abschließend das ProFile-Instrument 35/.04 verwendet.

Nach Aufbereitung von zwei Kanälen wurden die Instrumente jeweils verworfen und neue Instrumente zur Aufbereitung von zwei weiteren Kanälen eingesetzt.

Nach Abschluss der Aufbereitung wurde jeweils ein Masterpoint der Größe ISO 35/.02 in den Wurzelkanal eingebracht und auf das Kanaleingangsniveau gekürzt. Ein Wurzelkanal wurde als vollständig aufbereitet gewertet, wenn der Masterpoint auf die korrekte Länge eingebracht werden konnte und keine deutliche Kanalabweichung oder Instrumentenfraktur auftrat. Die Zeitmessung der Aufbereitung begann mit dem Einsatz des ersten Instruments im Wurzelkanal, z. B. Gates-Glidden-Bohrer, Pre-RaCe- oder SX-Feile, und endete mit dem Herausziehen der letzten Feile. In der dokumentierten Aufbereitungszeit waren Kanalspülungen und Instrumentenwechsel enthalten. Die Vorbereitung, wie z. B. Längen-

markierung, Ordnen der Instrumente usw., wurde bei der Zeitmessung nicht berücksichtigt. Die Aufbereitungszeiten wurden vom jeweiligen Behandler mit einer Stoppuhr gemessen.

#### Ergebnisse

Die statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt, dass zwischen den drei Aufbereitungssystemen RaCe™, FlexMaster® und ProTaper® kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Aufbereitungszeiten besteht. Mit diesen drei genannten Systemen konnten die Wurzelkanäle jedoch signifikant schneller aufbereitet werden als mit dem ProFile®-System (Tab. 2).

Die zusammengefassten Ergebnisse sind im Boxplot-Diagramm (Abb. 15) dargestellt. Die exakten Einzelwerte sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Bei keinem der untersuchten Systeme traten während der Aufbereitung Frakturen auf.

#### Diskussion

Die Geometrie moderner NiTi-Aufbereitungsinstrumente wird nur selten ausführlich dargestellt und somit wenig diskutiert. Die Fertigung von Feilen mit geringen Durchmessern stellt insbesondere bei

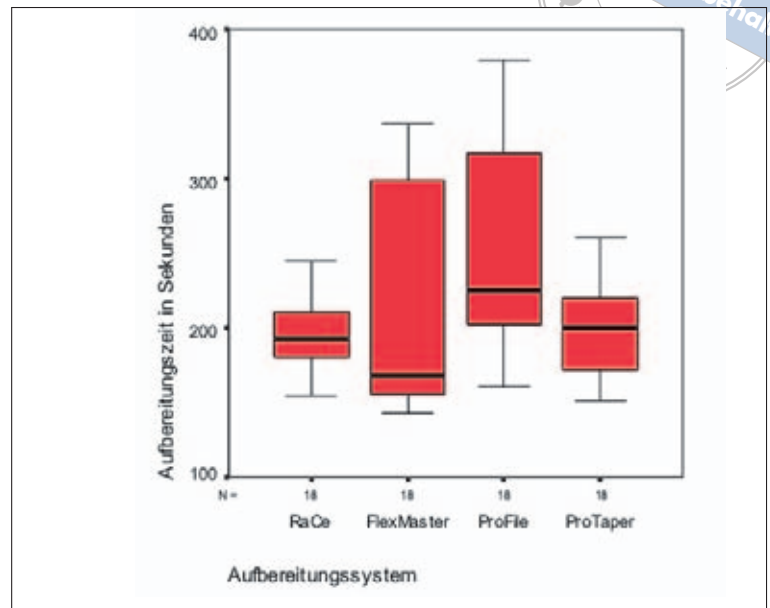
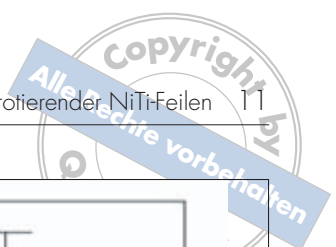


Abb. 15 Boxplot-Diagramm der Aufbereitungszeiten aller drei Behandler gemeinsam für die vier untersuchten Systeme. Die schwarzen Balken stellen die Mittelwerte dar. Innerhalb eines Kastens befinden sich 50 % der erhobenen Werte für die Aufbereitung mit dem jeweiligen System.

dem Werkstoff Nickel-Titan hohe Anforderungen an die Hersteller. Die Nickel-Titan-Legierung gehört zu den schwerstzerspanbaren Werkstoffen überhaupt und erfordert optimierte Werkzeuge, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen<sup>3</sup>. Daher kann bei komplizierten Geometrien offensichtlich nicht sichergestellt werden, dass Feilen jeder Größe über einen absolut identischen Querschnitt verfügen. Bei der klinischen Anwendung zählt zudem die Belastbarkeit eines Instruments gegen Torsions- und Biegebelastungen mehr als die Einhaltung eines definierten Designs. Die Funktionalität einer Feile steht derzeit noch über der Einhaltung einer bestimmten Geometrie, da die

Fertigung keiner Norm (DIN, ISO) unterworfen ist. Bei der durchgeführten vergleichenden Untersuchung zwischen den Aufbereitungssystemen deutet sich eine unterschiedliche Schneidfreudigkeit der Instrumente an, die auf die dargestellten Details der Instrumentengeometrie zurückgeführt werden kann. Die Systeme FlexMaster®, ProTaper® und RaCe™ sind den aktiven Feilen zuzurechnen, die kein Radial land aufweisen und über eine prominente Schneidekante verfügen. Trotz des negativen Spanwinkels sind sie klinisch als schneidfreudig zu bezeichnen. Die Stärken des ProFile®-Instruments liegen im Formerhalt des originären Wurzelkanalverlaufs<sup>28</sup> und nicht in einer hohen

**Tabelle 3** Angabe der erhobenen Mittelwerte (Sekunden) der Aufbereitungszeiten je Behandler sowie der durchschnittlichen Aufbereitungszeit für die vier untersuchten Systeme

Behandler	ProFile®	FlexMaster®	RaCe™	ProTaper™
1	205 s	165 s	219 s	175 s
2	330 s	304 s	189 s	228 s
3	225 s	152 s	199 s	196 s
Mittelwert Gesamtsystem	225 s	167 s	193 s	199 s



Schneidleistung. Durch den geringen Freiwinkel und die Radial lands ist die Abtragsleistung geringer als bei den anderen Systemen. Eine hoch effiziente Schneidleistung mit einem gleichzeitig sehr guten Formerhalt sind zwei Parameter, die von keinem Instrument gleichermaßen in optimaler Weise erfüllt werden.

Die maximalen Zeitunterschiede von weniger als einer Minute zwischen dem FlexMaster® (167 Sekunden) und dem ProFile®-System (225 Sekunden) erscheinen klinisch wenig relevant, wenn gleich ein statistisch signifikanter Unterschied besteht.

Bei Betrachtung der Arbeitseffizienz eines bestimmten Aufbereitungssystems ist jedoch nicht allein die Schneidleistung der Einzelfeile von Bedeutung. Auch die Abstimmung der Aufbereitungsinstrumente aufeinander in einer bestimmten Anwendungsreihenfolge (sog. Shaping wave) kann von erheblicher Bedeutung für die Aufbereitungszeit sein.

Bei unserer Untersuchung wurde für sehr unterschiedliche Feilensysteme eine einheitliche Zielgröße der Aufbereitung (35/.04) festgelegt, um eine gute Vergleichbarkeit zu erreichen. Auch wurde die Anzahl der Instrumente auf sieben bis acht begrenzt, um eine vergleichbare Anzahl von Instrumentenwechseln zu erhalten. Diese Kompromisse in der Abfolge der Instrumente können zu Veränderungen der Aufbereitungszeit führen. So wurde beim ProTaper®-System das ProFile®-Instrument 35/.04 zur Feilensequenz hinzugefügt, obwohl eine Aufbereitung mit diesem System nur bis zur Größe 30 vorgesehen ist. Beim FlexMaster®-System wurden zur Standardsequenz die Feile 35/.04 hinzugefügt und andere Feilen statt dessen nicht angewendet. Diese Veränderungen in der Anwendungsfolge – wie sie auch bei den anderen beiden Systemen vorgenommen wurden – führten nach unserer Einschätzung jedoch zu keiner entscheidenden Beeinflussung eines der untersuchten Systeme.

Eine Abhängigkeit der Ergebnisse vom verwendeten Winkelstück bzw. von der Präzision, mit der ein Motor eingegebene Drehmomente einhält, konnte ausgeschlossen werden, da für alle vier Systeme der Motor „Endo IT Control“ mit immer demselben Winkelstück verwendet wurde.

Die gemessenen Aufbereitungszeiten sind kürzer als andere in der Literatur angegebene Werte. Nur bei der Aufbereitung natürlicher Zähne fand Hülsmann<sup>28</sup> kürzere Aufbereitungszeiten; er benötigte lediglich 135 Sekunden für die Aufbereitung bis ISO 35 mit Mity-Rotofiles. Schäfer und Lohmann<sup>29</sup> berichteten von einer durchschnittlichen Aufbereitungszeit von 4,73 Minuten mit dem FlexMaster®-System bei artifiziellen Kanälen. Im Vergleich zur manuellen Aufbereitung ist der Zeitaufwand für die rotierende Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle in nahezu allen aktuellen Studien kürzer<sup>30, 31, 32</sup>.

Für die Aufbereitung gekrümmter Kanäle konnte ein Zeitvorteil von 40 Sekunden gegenüber der manuellen Aufbereitung mit NiTi-Feilen festgestellt werden<sup>28</sup>. Hata et al.<sup>31</sup> ermittelten einen Zeitvorteil von 2,3 Minuten für das ProFile®-System (.04 Taper) und von 3,1 Minuten für das GT™-System gegenüber der manuellen Aufbereitung mit der Balanced-force-Technik bei Aufbereitung von 30° gekrümmten Kanälen. Mit HERO-642-Feilen konnte ein Zeitvorteil von 3,2 Minuten gegenüber der Handaufbereitung bei Bearbeitung von künstlichen Wurzelkanälen mit einer Krümmung von 28° ermittelt werden<sup>32</sup>.

### Schlussfolgerung

- Anhand konstruktiver Merkmale im Querschnitt einer NiTi-Feile und seiner Längsachse lassen sich Rückschlüsse auf das Arbeitsverhalten ziehen.
- Die erhobenen Daten zeigen, dass mit den untersuchten Aufbereitungssystemen FlexMaster®, ProFile®, ProTaper™ und RaCe™ eine effiziente Wurzelkanalaufbereitung möglich ist.
- Die gemessenen Zeitunterschiede zwischen den drei Behandlern zeigen, dass die Effizienz eines Systems auch vom Behandler abhängen kann.
- Wünschenswert erscheint es, von Seiten der Hersteller definitive Aussagen zur maximalen Anwendungshäufigkeit einer Feile zu erhalten. Detaillierte Auskünfte zur Geometrie der Instrumente und der Standzeit einer Schneide wären für eine sichere Anwendung ebenfalls hilfreich.





## Literatur

1. Sandvik Coromant: Handbuch der Zerspanung, das Standardwerk für den Praktiker. Eigenverlag, ((Ort einfügen)) 1996.
2. Hülsmann M: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – eine vorläufige Bilanz. In: Hülsmann M (Hrsg.): Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Ein Handbuch. Quintessenz, Berlin 2002.
3. Baumann MA: ProTaper – eine neue Generation von NiTi-Feilen. *Endodontie* 2001; 10: 351-364.
4. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM: Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod* 2000; 26: 414-417.
5. Turpin YL, Chagneau F, Bartier ((Initialen??)), Cathelineau G, Vulcain JM: Impact of torsional and bending inertia on root canal instruments. *J Endod* 2001; 27: 333-336.
6. Suter B: Die Wurzelkanalaufbereitung mit GT Rotary files. *Endodontie* 1999; 8: 247-257.
7. Schäfer E: Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte. Quintessenz, Berlin 1998.
8. Lilley JD: Endodontic standards. *J Br Endod Soc* 1979; 12: 61-66.
9. Beer R, Baumann MA: Praktische Endodontie. Urban & Schwarzenberg, München – Wien – Baltimore 1994.
10. Persönliche Mitteilung: Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau.
11. Villalobos RL, Moser JB, Heuer MA: A method to determine the cutting efficiency of root canal instruments in rotary motion. *J Endod* 1980; 6: 667-671.
12. <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/TLex/Kategor/Kategor.htm#11>
13. Brave D, Koch K: Real world endo: design features of rotary files and how they affect clinical performance. *Oral Health* 2002; 29: 39-49.
14. Persönliche Mitteilung: Gebr. Brasseler GmbH und Co. KG, Lemgo.
15. Craig RG, Peyton FA: The microhardness of enamel and dentin. *J Dent Res* 1958; 37: 661-668.
16. Wörner H: Die Dentinhärte menschlichen Dentins in Abhängigkeit vom Calcium-, Phosphor- und Fluorgehalt. *Dtsch Zahnärztl Z* 1974; 29: 58-62.
17. Sedgley CM, Messer HH: Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod* 1992; 18: 332-335.
18. Serene TP, Adams JD, Saxena A: Nickel-titanium instruments. Applications in endodontics. Ishiyaku Euro America Inc., St. Louis 1995, zitiert in: Hülsmann M (Hrsg.): Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Ein Handbuch. Quintessenz, Berlin 2002.
19. Schäfer E: Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Instrumenten zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. In: Hülsmann M (Hrsg.): Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Ein Handbuch. Quintessenz, Berlin 2002.
20. Tepel J: Experimentelle Untersuchungen über die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Quintessenz, Berlin 2000.
21. Rondelli G, Vicentini B: Localized corrosion behaviour in simulated human body fluids of commercial NiTi orthodontic wires. *Biomaterials* 1999; 20: 785-792.
22. Hilt BR, Cunningham CJ, Shen C, Richards N: Torsional properties of stainless-steel and nickel-titanium files after multiple autoclave sterilizations. *J Endod* 2000; 26: 76-80.
23. Persönliche Mitteilung: Müller Dental, Lindlar.
24. Lee DH, Park B, Saxena A, Serene TP: Enhanced surface hardness by boron implantation in Nitinol alloy. *J Endod* 1996; 22: 543-546.
25. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Fragalk I, Condorelli GG: The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89: 363-368.
26. Schäfer E: Effect of physical vapor deposition on cutting efficiency of nickel-titanium files. *J Endod* 2002; 28: 800-802.
27. Persönliche Mitteilung: Dr. Helmut Walsch.
28. Hülsmann M: Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter und vergleichende In-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. Quintessenz, Berlin 2000.
29. Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1: Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2002; 35: 505-513.
30. Sonntag D, Delschen S, Stachniss V: Preparación de conductos radiculares curvos con limas accionados de forma mecánica y manual por estudiantes. Abstract-Band „Congreso Nacional de Endodoncia“ der AEDE 2002.
31. Hata G, Uemura M, Kato AS, Imura N, Novo NF, Toda T: A comparison of shaping ability using ProFile, GT file, and Flex-R endodontic instruments in simulated canals. *J Endod* 2002; 28: 316-321.
32. Schäfer E: Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 92: 215-220.

OA Dr. David Sonntag  
 Klinikum der Philipps-Universität Marburg  
 Klinik für Zahnerhaltungskunde  
 Georg-Voigt Straße 3  
 35033 Marburg  
 E-Mail: [sonntag@mail.uni-marburg.de](mailto:sonntag@mail.uni-marburg.de)



# Cutting Geometry and Efficiency of Rotary Nickel-Titanium Files

David Sonntag

Although numerous systems are commercially available for rotary root canal preparation with NiTi files, the advantages and drawbacks of new files which differ in their cutting geometries cannot be readily recognized and appreciated. However, one advantage common to all mechanical procedures is the short time required for the preparation of curved root canals. The present article details and discusses design characteristics of various NiTi files. To investigate the preparation efficiency, 72 simulated root canals were prepared with the FlexMaster<sup>®</sup>, ProFile<sup>®</sup>, ProTaper<sup>™</sup> and RaCe<sup>™</sup> systems up to size 35/.04 by three dentists. The preparation times recorded were between 2.8 min for the FlexMaster<sup>®</sup> files and 3.8 min for the ProFile<sup>®</sup> system. No statistically significant difference in preparation time was recorded between the RaCe<sup>™</sup>, FlexMaster<sup>®</sup> and ProTaper<sup>™</sup> systems. However, significantly faster preparation was possible with those three systems than with the ProFile<sup>®</sup> system. The slight differences in working time demonstrate that all investigated systems permit efficient root canal preparation.

## Key words

Nickel-titanium, cutting geometry, rotary preparation