

## **Maschinelle Wurzelkanal- aufbereitung: Ist weniger wirklich mehr?**

### **Indizes**

*Nickel-Titan-Systeme, reziproke Wurzelkanalaufbereitung, Ein-Feilen-Systeme, vollrotierende Systeme*

### **Zusammenfassung**

*Die Instrumentierung des Wurzelkanals erlebte mit der Einführung von Nickel-Titan (NiTi) in den 1990er Jahren grundlegend neue Impulse. Die mühsame und zeitintensive manuelle Aufbereitung wurde durch maschinelle Instrumentensysteme revolutioniert und erfuhr in den vergangenen zwei Jahrzehnten immer weitere Neuerungen. Während die Aufbereitungsqualität und die Arbeitssicherheit klassischer NiTi-Systeme bereits hohe Anforderungen erfüllen konnten, zeigten diese Systeme jedoch hinsichtlich Instrumentierungsdauer und Kosteneffizienz noch Entwicklungspotenzial. In dem Beitrag werden neben einem kurzen Überblick über klassische NiTi-Systeme auch aktuelle Tendenzen beleuchtet, die durch neue Entwicklungsansätze eine Reduktion der Instrumentenzahl ermöglichen.*

### **Einleitung**

Stahlinstrumente waren über Jahrzehnte der Standard für die Instrumentierung des Wurzelkanals<sup>18</sup>. Handinstrumente eignen sich besonders aufgrund der guten Taktilität, jedoch ist ihre Anwendung mit einem großen Zeitaufwand verbunden<sup>6</sup>. Ein Nachteil des Einsatzes klassischer Stahlinstrumente, etwa K-Feilen oder K-Reamer, besteht in der Verlagerung des Kanalverlaufs bei der Instrumentierung gekrümmter Wurzelkanäle<sup>7,22</sup>. Ein Ansatz war hier die Entwicklung spezieller Techniken wie etwa der 1985 von Roane et al.<sup>17</sup> vorgestellten Balanced-Force-Technik, die durch Stahlinstrumente mit nicht schneidender Spitze eine deutliche Reduktion der Kanalverlagerung bewirkte. Diese zugleich flexibleren Stahlinstrumente führten zu einer wesentlich besseren Einhaltung des ursprünglichen Wurzelkanalverlaufs<sup>19</sup>.

### **Maschinelle Antriebe für die Wurzel- kanalinstrumentierung**

Bereits früh war man an Alternativen interessiert, welche dem Zahnarzt die manuelle Instrumentierung abneh-



**Matthias J. Roggendorf**  
OA Dr. med. dent.

Abteilung für Zahnerhaltungskunde  
Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde  
Philipps-Universität Marburg und Universitäts-  
klinikum Gießen und Marburg GmbH  
Campus Marburg  
Georg-Voigt-Straße 3  
35039 Marburg  
E-Mail: matthias.roggendorf@staff.uni-marburg.com

**Hubert C. Roggendorf**  
Dr. med. dent.

Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie  
und Implantologie  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Universitätskliniken Köln

**Johannes Ebert**  
OA Dr. med. dent.

Zahnklinik 1 – Zahnerhaltung und Parodontologie  
Universitätsklinikum Erlangen

**Andreas Braun**  
OA Prof. Dr. med. dent.

Abteilung für Zahnerhaltungskunde,  
Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde  
Philipps-Universität Marburg und Universitäts-  
klinikum Gießen und Marburg GmbH  
Campus Marburg

**Roland Frankenberger**  
Prof. Dr. med. dent.

Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde  
Philipps-Universität Marburg und Universitäts-  
klinikum Gießen und Marburg GmbH  
Campus Marburg

## ■ ENDODONTIE

Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung: Ist weniger wirklich mehr?

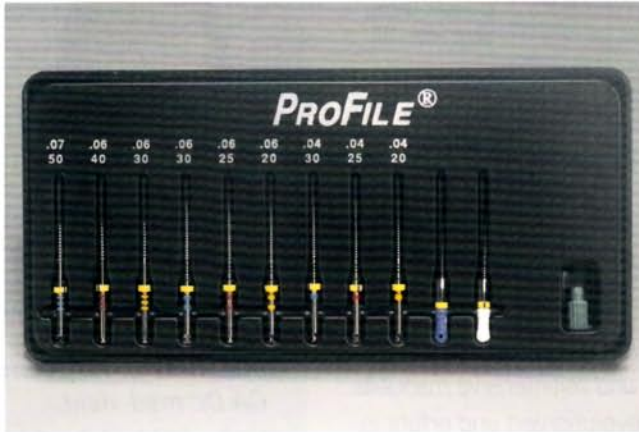


Abb. 1 ProFile-Instrumentensatz



Abb. 2 Mtwo-Instrumentensequenz

men sollten. Die Möglichkeiten waren begrenzt, da die verfügbaren Instrumente ausschließlich aus Stahl hergestellt wurden und es nicht selten zu Frakturen kam. Maschinelle Antriebssysteme wurden weiterentwickelt und zeigten teilweise sehr ausgeklügelte Bewegungsmuster. Ein Problem stellte jedoch die Verkürzung der Arbeitslänge dar, welche daraus resultierte, dass die Auf- und-ab-Bewegung zu einer Verblockung des apikalen Wurzelkanalabschnitts mit Dentinspänen führte<sup>8,16</sup>.

### Vollrotierende Nickel-Titan-Instrumente

Mit der Verfügbarkeit von Nickel-Titan (NiTi) seit Beginn der 1990er Jahre eröffneten sich ganz neue Möglichkeiten für die Herstellung von Wurzelkanalinstrumenten. Schon durch die Anfertigung von Handinstrumenten aus diesem Werkstoff konnte eine deutliche Reduktion der Kanalverlagerung erzielt werden<sup>15</sup>. Die Werkstoffeigenschaften von NiTi erlaubten die Herstellung von permanent rotierenden Instrumenten für die Wurzelkanalaufbereitung<sup>4</sup>. Die Legierung aus 55 m% Nickel und 45 m% Titan<sup>23</sup> bewirkte eine Pseudoelastizität sowie einen gegenüber Edelmetallinstrumenten fünffach niedrigeren Elastizitätsmodul<sup>24</sup>. Das Formgedächtnis („shape memory“) von NiTi-Instrumenten ermöglichte nun anders als bei Edelmetallinstrumenten eine voll-

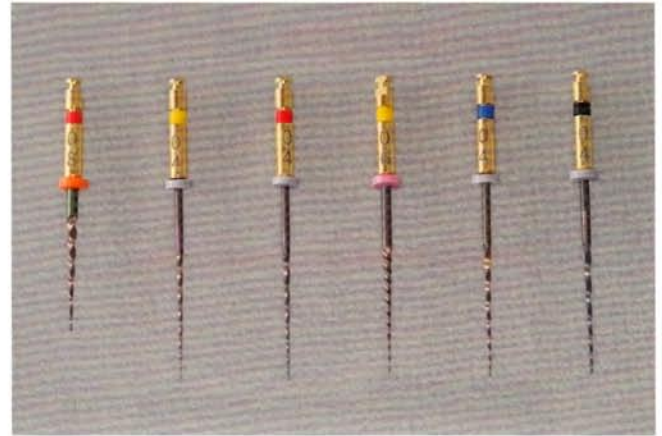
rotierende Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanälen<sup>24</sup>. Die geringere Härte von NiTi-Instrumenten gegenüber Instrumenten aus Chrom-Nickel-Stahl (Vickershärte: 320 versus 520) hat in der Praxis keine Bedeutung, da die Härte von Dentin (Vickershärte: ca. 40) noch niedriger ist<sup>20</sup>.

Das erste kommerziell erfolgreiche Instrumentensystem war das ProFile-System (Fa. Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz; Abb. 1). Die durch eine kufenartige Gestaltung der Schneiden („radial lands“) erzeugte große Instrumentenkontaktfläche zum Wurzelkanaldentin erforderte eine spezielle Aufbereitungstechnik. Dazu wurde die sogenannte Crown-down-Technik entwickelt, die eine von koronal her mit größeren Instrumenten beginnende und nach apikal hin mit sukzessive kleineren Instrumenten fortschreitende Aufbereitung des Wurzelkanals vorsah<sup>13</sup>. Dennoch war die Gefahr von Instrumentenfrakturen nicht zu vernachlässigen<sup>9</sup>. Das Vorgehen erfolgte in der ursprünglichen ProFile-Sequenz zudem abwechselnd mit Instrumenten von 4- und 6%iger Konizität.

Der Verzicht auf „radial lands“ bei der Herstellung neuerer Instrumente wie RaCe („reamer with alternating cutting edges“; Fa. FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz) kurz vor der Jahrtausendwende reduzierte die Friktion im Wurzelkanal bereits erheblich. Allerdings wurden für das klassische RaCe-System nach wie vor



**Abb. 3** BioRaCe-Instrumentensatz



**Abb. 4** Hyflex-CM-Instrumentensatz

die Crown-down- und die Step-back-Technik empfohlen. Erst später entwickelte maschinelle NiTi-Systeme wie Mtwo (Fa. VDW, München; Abb. 2), BioRaCe (Fa. FKG Dentaire; Abb. 3) oder Hyflex CM (Fa. Coltène Endo, Langenau; Abb. 4) nutzen die neue, aber nicht unbekanntere sogenannte Single-Length-Technik. Wie bei der standardisierten Technik, die bereits für die Handaufbereitung existierte, wird bei der Single-Length-Technik jedes Instrument auf volle Arbeitslänge eingesetzt<sup>21</sup>. In Abhängigkeit von der Instrumentensequenz und der Nutzung akzessorischer Feilen lassen sich die Wurzelkanäle sehr unterschiedlich aufbereiten, so dass an die vorliegende Wurzelkanalanatomie angepasste Wurzelkanalformen präpariert werden können. Der Vorteil der Single-Length-Technik liegt in der einfachen Handhabung der Instrumente, da diese für den entsprechenden Wurzelkanal alle auf dieselbe Länge eingestellt werden. Zudem wird eine sehr gute Einhaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs erzielt<sup>3</sup>.

Weil klassische NiTi-Systeme im Rahmen der Wurzelkanalinstrumentierung neben dem Zeitaufwand für den erforderlichen Feilenwechsel auch nicht unerhebliche Kosten bedeuten, die ein Satz von fünf bis acht Instrumenten für den Anwender mit sich bringt, verfolgten die Hersteller neue Entwicklungsansätze, um die für die Aufbereitung des Wurzelkanals erforderliche Instrumentenzahl zu reduzieren.

### Instrumentenreduzierte Aufbereitungssysteme

Aktuelle Wurzelkanalinstrumente zeigen zumeist ein Dreikant- oder ein S-Design, so dass gegenüber anderen Querschnittsformen ein reduzierter Wandkontakt resultiert. Beide Querschnitte haben sich für die Gestaltung moderner maschineller Wurzelkanalinstrumente als ideal erwiesen, da sie einerseits über eine ausreichende Flexibilität verfügen, um auch in gekrümmten Wurzelkanälen eine gute Einhaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs zu ermöglichen, und andererseits hinsichtlich der Arbeitssicherheit überzeugen können.

### Reziproke Instrumentensysteme

Basierend auf der Idee der Balanced-Force-Technik nach Roane et al.<sup>17</sup>, Wurzelkanalinstrumente mit einer alternierenden Rechts-links-Bewegung einzusetzen, entwickelten die Firmen Dentsply Maillefer und VDW spezielle Instrumentensysteme, die mit einer maschinellen Version der Balanced-Force-Technik, der sogenannten Reziprok-Technik, angewendet werden.



**Abb. 5** Reciproc-Guttaperchabox mit verschiedenen Stiftgrößen



**Abb. 6** WaveOne-Instrumente (#40) im Blister

### Die Systeme Reciproc und WaveOne

Das Ziel der Entwicklung dieser Systeme bestand darin, die Wurzelkanalaufbereitung zu vereinfachen, indem die Instrumentenzahl verringert, die Aufbereitungszeit verkürzt und damit die Effektivität bzw. Übersichtlichkeit erhöht wurde. Die Hersteller bieten exakt zu den jeweiligen Größen passende Papierspitzen und Gutta-perchastifte sowie Obturatoren für die thermische Einstifttechnik an (Abb. 5).

Beide Instrumentensysteme werden aus dem sogenannten M-Wire hergestellt, einer speziell wärmebehandelten NiTi-Legierung, die gegenüber klassischen NiTi-Legierungen eine erhöhte Flexibilität und eine bessere Resistenz gegenüber zyklischer Ermüdung aufweist<sup>5,10</sup>. Ferner verfügen beide Systeme über drei verschiedene Größen konischer NiTi-Instrumente. Diese sind für die Instrumentierung von engen, mittleren sowie weiten Wurzelkanälen gedacht und werden bereits steril verpackt ausgeliefert (Abb. 6). Die Hersteller sehen die Instrumente für die Einmalanwendung vor, da sich gezeigt hatte, dass hinsichtlich Handhabung, Hygiene und Infektionsprophylaxe nur steril verpackte Instrumente diesen Anforderungen in adäquater Weise gerecht werden können. Zudem muss bedacht werden, dass im Gegensatz zu klassischen Mehrfeilsystemen bei reziproken Systemen ein ein-

ziges Instrument die gesamte Instrumentierung übernimmt und eine entsprechende Belastung erfährt. Somit ist dieser Aspekt im Hinblick auf die Arbeitssicherheit nicht zu unterschätzen.

### Bewegungsmuster der Reziprok-Technik

Die reziproke Bewegung unterscheidet sich von der klassischen Oszillation dadurch, dass das reziprok angetriebene Instrument zunächst eine größere Winkelbewegung in Schneidrichtung vollzieht und dann in Gegenrichtung eine kleinere Winkelbewegung durchführt. Insgesamt wird somit eine Netto-Vollrotation erzielt, welche jedoch pro Zeiteinheit eine deutlich geringere Umdrehungszahl im Kanal erzeugt als die klassischen vollrotierenden Systeme, da die Vorwärtsbewegung durch die wiederholten Rückwärtsbewegungen des Instruments unterbrochen wird. Es entsteht eine koronalwärts gerichtete Bewegung, die auch dank der höheren Konizität der Instrumente einen effizienten Dentinabtransport und eine gute Reinigungsleistung bewirkt<sup>1,3</sup>. Für den Einsatz der Instrumente sind spezielle, mit der entsprechenden Antriebstechnik arbeitende Motoren wie z. B. der VDW Silver Reciproc, der VDW Gold Reciproc (beide Fa. VDW) und der WaveOne endo motor (Fa. Dentsply Maillefer) erforderlich (Abb. 7).



Abb. 7 Motor VDW Silver Reciproc mit Sirona-Winkelstück



Abb. 8 Reciproc-Instrument R25



Abb. 9 WaveOne-Instrument „primary“

## Reciproc

Das Feilendesign der Reciproc-Instrumente (Fa. VDW) basiert auf dem S-Design der Mtwo-Instrumente, jedoch ist beim Reciproc-System die Helix entgegengesetzt orientiert. Gegenüber dem Feilendesign der Mtwo-Instrumente wurde das der Reciproc-Instrumente speziell für dieses Bewegungsmuster optimiert<sup>3</sup> (Abb. 8).

Die Reciproc-Feilen sind in drei verschiedenen Größen erhältlich: R25 (.08/#25), R40 (.06/#40) und R50 (.05/#50). Die Feile R25 ist für die Instrumentierung gekrümmter und enger Kanäle vorgesehen. Die Feile R40 hingegen wird bei mittleren Kanalgrößen mit geringer Kanalkrümmung eingesetzt, während die Feile R50 in weiten Wurzelkanälen zur Anwendung kommt. Das geeignete Instrument wird mit Hilfe der diagnostischen Röntgenaufnahme ausgewählt, anhand deren der Behandler zunächst entscheidet, ob der Wurzelkanal vollständig sichtbar ist. Zudem wird die präoperative Kanalgröße abgeschätzt. Bei nicht sichtbaren oder sehr engen Wurzelkanälen kommt die Feile R25 zum Einsatz, und bei mittleren bis weiten Wurzelkanälen wird mittels eines eingebrachten Handinstruments entschieden, welche Reciproc-Feile angewendet werden soll.

Die Instrumentierung des Wurzelkanals bis zum Erreichen der ermittelten Arbeitslänge erfolgt unter wie-

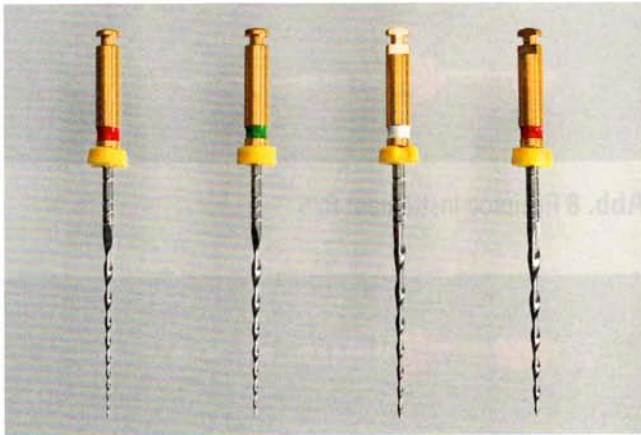
derholter Spülung in mehreren Etappen, wobei die Instrumente in kurzen Einwärts-auswärts-Bewegungen („picks“) eingesetzt werden. Die Instrumentengeometrie ermöglicht es, mit einer bürstenden Bewegung der Feilen im Wurzelkanal („brushing action“) auch unregelmäßige Kanalgeometrien durch zirkumferentes Arbeiten zu erfassen. Reziproke Instrumente sollten niemals forciert in den Wurzelkanal eingebracht werden, um Verblockungen, Verlagerungen oder Instrumentenfrakturen zu vermeiden.

## WaveOne

WaveOne (Fa. Dentsply Maillefer) als zweiter Vertreter reziproker Instrumentensysteme orientiert sich an dem bekannten ProTaper-Design, wobei auch hier die Drehrichtung entgegengesetzt erfolgt. Für den Einsatz der WaveOne wird explizit die Schaffung eines Gleitpfades empfohlen, beispielsweise mit den in den Größen .02/#13, .02/#16 und .02/#19 verfügbaren PathFiles (Fa. Dentsply Maillefer), um eine sichere Katheterisierung des Wurzelkanals zu erzielen<sup>2,14</sup>. Auch hier orientiert sich die Wahl der Feilengröße am präoperativen Röntgenbild. In den meisten Fällen gelangt die Größe .08/#25 („primary“) zur Anwendung (Abb. 9). Lassen sich größere Instrumente als eine K-Feile #10, etwa eine K-Feile #20, primär oder initial auf Arbeitslänge ein-

## ■ ENDODONTIE

Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung: Ist weniger wirklich mehr?



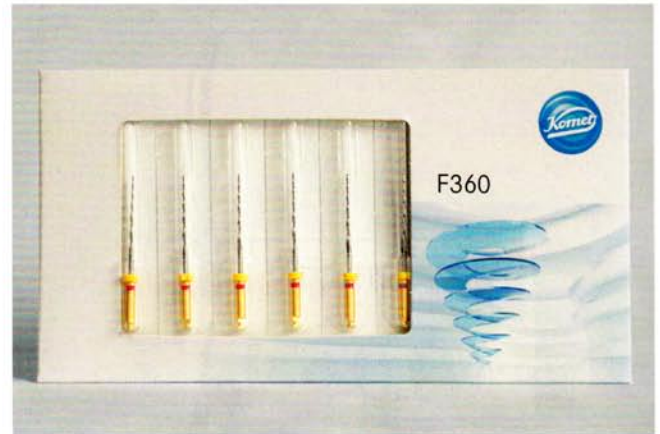
**Abb. 10** F360-Instrumentensatz

bringen, wird die WaveOne .08/#40 („large“) benutzt. Klemmt hingegen bereits eine K-Feile #10 im Wurzelkanal, so kommt die WaveOne .06/#21 („small“) zum Einsatz. Wie bei der Anwendung von Reciproc-Instrumenten wird auch bei der WaveOne-Technik der Wurzelkanal langsam und sukzessive instrumentiert.

### Vollrotierende Systeme mit reduzierter Feilenzahl

#### Das F360-System

Ein anderer Ansatz wurde bei der Entwicklung des F360-Systems (Komet, Fa. Gebr. Brasseler, Lemgo) verfolgt. Als Querschnitt dient hier ein S-Design, das eine hohe Flexibilität gewährleistet. Anders als bei klassischen NiTi-Systemen wie etwa Mtwo wurde dieses System für die Anwendung mit reduzierter Feilenzahl optimiert. Ausgehend von generellen Überlegungen, wie dies zu realisieren sei, war zum einen die Abkehr von der klassischen Größenzunahme in 5er-Schritten vorgesehen. Zum anderen wurde auf kleinere Instrumente verzichtet, weil der Gleitpfad vielfach mit Handinstrumenten in den Größen 10 und 15 angelegt wird. Das F360-System besteht somit aus vier Instrumentengrößen (.04/#25, .04/#35, .04/#45 und .04/#55), die jeweils in drei verschiedenen Längen verfügbar sind (Abb. 10). Diese gleichmäßige Größenabstufung in



**Abb. 11** F360-Instrumente (#55) im Blister

10er-Schritten soll für sämtliche Behandlungssituationen ausreichen.

Ausgehend vom präoperativen Röntgenbild und der klinischen Situation wird bei der Instrumentierung ein Handinstrument oder alternativ eine AlphaKite-Feile .03/#15 für die Katheterisierung eingesetzt und anschließend die Zielgröße festgelegt. In vielen Fällen ist ein Wurzelkanal bereits nach Anwendung von zwei F360-Instrumenten adäquat aufbereitet. Sollte dies nicht der Fall sein, so können weitere Größen zum Einsatz kommen, und beim Vorliegen von ovalen oder hantelförmigen Kanalgeometrien kann ein zirkumferentes Bearbeiten erfolgen.

Die Instrumente werden steril in einer Blisterverpackung ausgeliefert (Abb. 11). Der Hersteller empfiehlt den einmaligen Gebrauch der Instrumente. Das F360-System besteht neben den NiTi-Instrumenten auch aus in Größe und Konizität passenden Papierspitzen und Guttaperchastiften.

#### Das One-Shape-System

Die Firma Micro-Mega (Besançon, Frankreich) reduzierte das One-Shape-System auf eine einzige Feile, die im Gegensatz zu Reciproc und WaveOne vollrotierend eingesetzt wird. Die einzige verfügbare Instrumentengröße .06/#25 wird in den Längen 21, 25 und 29 mm angeboten. Eine Besonderheit stellt der variable

Querschnitt dar, wobei im apikalen Anteil ein dreieckiger Querschnitt vorhanden ist, welcher sich nach koronal hin zu einem Design mit zwei Schneidekanten verändert. Zusammen mit dem progressiven Steigungswinkel der Helix führt dies zu einem reduzierten Einschraubeffekt.

Bei der praktischen Anwendung der One-Shape-Feile wird eine koronale Erweiterung vorgenommen und danach mit einem Handinstrument die Gängigkeit des Wurzelkanals hergestellt. Der anschließende Einsatz der Feile erfolgt schrittweise, wobei das Instrument mit einer aus dem Kanal herausführenden, feilenden Bewegung gelenkt wird, um ein Einschrauben wirkungsvoll zu reduzieren.

### Das ProTaper-NEXT-System

ProTaper NEXT (Fa. Dentsply Maillefer) ist der Nachfolger des seit Jahren auf dem Markt befindlichen ProTaper-Universal-Systems. Eine Neuerung stellt der rechteckige Querschnitt dar, welcher einen großen Spanraum bietet. Zudem wurde auch hier die M-Wire-Legierung verwendet, wodurch die Instrumente resistenter gegenüber zyklischer Ermüdung sein sollen. Neben den PathFiles, die in den Größen P1 (#13) und P2 (#16) mit 2%iger Konizität für die maschinelle Katheterisierung der Wurzel-

kanäle empfohlen werden, sind fünf Größen der ProTaper NEXT verfügbar: X1 (.04/#17), X2 (.06/#25), X3 (.07/#30), X4 (.06/#40) und X5 (.06/#50). Alle Instrumente gibt es in den Längen 21 mm, 25 mm und 31 mm.

Sämtliche ProTaper-NEXT-Instrumente werden steril im Blister für die sofortige Anwendung ausgeliefert. Der Hersteller empfiehlt explizit den Einmalgebrauch, da sich so Kreuzkontaminationen und das Risiko von Instrumentenfrakturen vermeiden lassen. Auch für das ProTaper-NEXT-System werden speziell passende Papier spitzen, Guttaperchastifte sowie GuttaCore-Obturatoren für die thermische Einstifttechnik angeboten.

### Fazit

Die Zahl der Instrumentensysteme, unter denen der Zahnarzt heute wählen kann, ist so hoch wie nie zuvor. Neben klassischen Feilensystemen mit ihrer großen Auswahl an Instrumentengrößen und Konizitäten wurden feilenreduzierte Systeme entwickelt, mit denen sich eine Vielzahl endodontischer Behandlungen durchführen lässt. Zudem existieren sogenannte Ein-Feilen-Systeme, die den Spagat zwischen Effizienz und Aufbereitungsqualität versuchen. Obwohl ein Großteil der Behandlungsfälle durch die verfügbaren Instrumentengrößen abgedeckt wird, führt die Reduktion auf wenige Feilen-



**Abb. 12** Röntgenkontrollaufnahme nach maschineller Instrumentierung mit dem F360-System (palatinal und mesiobukkal mittels zirkumferenter Bearbeitung der Wurzelkanäle) und Obturation mit MTA Fillapex (Fa. Angelus, Londrina, Brasilien) sowie Guttapercha



**Abb. 13** Röntgenkontrollaufnahme nach maschineller Instrumentierung mit dem BioRaCe-System und Obturation mit AH Plus (Fa. Dentsply DeTrey, Konstanz) sowie Guttapercha



**Abb. 14** Röntgenkontrollaufnahme nach maschineller Instrumentierung mit dem Hyflex-CM-System

größen auch zu einer geringeren Auswahl. Eine harmonisch abgestufte Palette verschiedener Instrumentengrößen ist hier von Vorteil. Bedacht werden muss bei diesen Systemen, dass die Instrumentierungszeit durch den Wegfall des Feilenwechsels definitiv verkürzt werden kann. Allerdings gerät hierbei leicht in Vergessenheit, was die chemomechanische Instrumentierung des Wurzelkanals eigentlich bedeutet, nämlich eine kombinierte Bearbeitung des Wurzelkanalsystems durch Instrumentierung und Desinfektion. Der Hersteller Micro-Mega beispielsweise weist in seiner Produktbroschüre explizit darauf hin, dass für Natriumhypochlorit eine Einwirkzeit von 15 Minuten erforderlich ist.

Feilenreduzierte Instrumentensysteme bieten durch eine Reduktion oder sogar den Wegfall des Instrumentenwechsels eine gute Übersichtlichkeit und verkürzen die Aufbereitungszeit erheblich. Zudem ermöglichen sie eine sehr gute und sichere Ausformung des Wurzel-

kanals (Abb. 12). Somit sind sie qualitativ der Instrumentierung mit konventionellen Instrumentensystemen vergleichbar (Abb. 13 und 14). Erfreulich ist ferner, dass viele Hersteller ihre Instrumente mittlerweile steril ausliefern und diese daher sofort am Patienten einsetzbar sind. Dieses Vorgehen kann dazu beitragen, dass Wurzelkanalinstrumente – wie bereits seit Jahren gefordert – zunehmend als Einwegartikel eingesetzt werden<sup>11</sup>. Zwar lassen die Feilen sich durch entsprechende Maßnahmen teilweise wiederaufbereiten, aber eine sichere Prionendekontamination überstehen sie nicht ohne negative Folgen<sup>12</sup>. Hinsichtlich der Arbeitssicherheit bieten nur unbenutzte Instrumente einen weitgehenden Schutz gegenüber Frakturen. Der Wegfall von Wiederaufbereitung, Sterilisation und Dokumentation sowie nicht zuletzt die Reduktion des Risikos ermüdungsbedingter Instrumentenfrakturen rechtfertigen den höheren finanziellen Aufwand für Einweginstrumente allemal.

## Literatur

- Albrecht LJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files. *J Endod* 2004;30:425-428.
- Berutti E, Paolino DS, Chiandussi G et al. Root canal anatomy preservation of WaveOne reciprocating files with or without glide path. *J Endod* 2012;38:101-104.
- Bürklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 2012;45:449-461.
- Esposito PT, Cunningham CJ. A comparison of hand preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J Endod* 1995; 21:173-176.
- Gambarini G, Grande NM, Plotino G et al. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008;34:1003-1005.
- Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 2005;38:743-752.
- Hartmann MS, Barletta FB, Camargo Fontanella VR, Vanni JR. Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. *J Endod* 2007;33:962-965.
- Hülsmann M, Gambal A, Bahr R. An evaluation of root canal preparation with automated Excalibur endodontic handpiece. *Clin Oral Investig* 1999;3:70-78.
- Hülsmann M, Herbst U, Schäfers F. Comparative study of root-canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J* 2003;36:748-756.
- Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/04 rotary instruments. *J Endod* 2008;34:1406-1409.
- Kazemi RB, Stenman E, Spångberg LS. The endodontic file is a disposable instrument. *J Endod* 1995;21:451-455.
- Koch A. Einfluss von Prionendekontaminationsprotokollen auf die Schneidleistung und Fraktursicherheit von endodontischen Nickel-Titan-Instrumenten des ProTaper-Systems. Marburg: Med. Diss., 2010.
- Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod* 1984;10:491-498.
- Pasqualini D, Bianchi CC, Paolino DS et al. Computed micro-tomographic evaluation of glide path with nickel-titanium rotary PathFile in maxillary first molars curved canals. *J Endod* 2012;38:389-393.
- Pettiette MT, Metzger Z, Phillips C, Trope M. Endodontic complications of root canal therapy performed by dental students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand files. *J Endod* 1999;25:230-234.
- Rhodes SC, Hülsmann M, McNeal SF, Beck P, Eleazer PD. Comparison of root canal preparation using reciprocating Safesiders stainless steel and Vortex nickel-titanium instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;111:659-667.
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The „balanced force“ concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985; 11:203-211.
- Schäfer E. Effects of four instrumentation techniques on curved canals: a comparison study. *J Endod* 1996;22:685-689.
- Schäfer E. Root canal instruments for manual use: a review. *Endod Dent Traumatol* 1997;13: 51-64.
- Schäfer E. Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Handinstrumenten. *Endodontie* 1998;7:323-335.
- Schäfer E, Erlen M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2006; 39:196-202.
- Teipel J, Schäfer E, Hoppe W. Root canal instruments for manual use: cutting efficiency and instrumentation of curved canals. *Int Endod J* 1995;28:68-76.
- Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 2000; 33:297-310.
- Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14:346-351.