

# Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne

Eine Übersicht mit klinischen Beispielen

## Indizes

Wurzelkanalsystem, Wurzelkanalanatomie, Anomalie, Dentalmikroskop, dentale Volumetomographie

## Zusammenfassung

Ohne Kenntnis der Entstehung des Wurzelkanalsystems gelingt es nicht, die mögliche Vielfalt der Anatomie von menschlichen Wurzelkanalsystemen in Erwägung zu ziehen und im Rahmen diagnostischer und therapeutischer Fragestellungen hinreichend zu berücksichtigen. Typische Häufigkeiten und Formen von Wurzelkanälen werden durch die Genetik bestimmt, darüber hinaus jedoch unter der Voraussetzung einer vitalen Pulpa auch durch externe und interne Reize beeinflusst. Der gewohnte, alltägliche Blick auf zweidimensionale Röntgenbilder vermag das Bewusstsein und die Wahrnehmung zu beeinträchtigen, so dass ein stark vereinfachtes Abbild vom tatsächlichen Wurzelkanalsystem resultieren kann. Mit der Einbeziehung des Dentalmikroskops und der dentalen Volumetomographie in die endodontische Diagnostik und Therapieplanung gelingt es besser, die individuelle anatomische Ausprägung rechtzeitig zu erkennen, so dass der Erfolg in der Wurzelkanalbehandlung verbessert werden kann.

## Einleitung

Erste Angaben zum Verlauf und zur Anzahl der Wurzelkanäle menschlicher Zähne wurden 1844 von *Carabelli* dokumentiert<sup>11</sup>. Anhand histologischer Präparate und makroskopischer Darstellungen des angefärbten Wurzelkanalsystems am transparenten Zahnpräparat wurde die Anatomie menschlicher Zähne in der Folgezeit hinsichtlich der Form des Wurzelkanalsystems genauestens analysiert<sup>6,8,9,14,17,26,28</sup>.

Zur Darstellung der anatomischen Strukturen und der Morphologie des Wurzelkanalsystems werden destruktive und nondestruktive Verfahren angewendet. Zu den destruktiven Verfahren zählen u. a. die Ausgussmethode<sup>43</sup>, die Korrosionsmethode<sup>38</sup>, die Transparenzmethode<sup>51</sup>, histologische Schnitte und die Herstellung von Hartgewebe-Schliffpräparaten. Zu den nondestruktiven Verfahren gehören alle Röntgenaufnahmetechniken



**Michael Arnold**  
Dipl.-Stom.

Praxis für Endodontie und Zahnerhaltung  
Königstraße 9  
01097 Dresden  
E-Mail: endo.arnold@web.de

## ■ ENDODONTIE

Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne

und die Magnetresonanztomographie (MRT)<sup>7</sup>. Aktuell stehen moderne Verfahren in Form der Computertomographie (CT) zur Verfügung. Während die dentale Volumentomographie (DVT) in der zahnärztlichen Diagnostik zunehmend an Bedeutung gewinnt<sup>1,13,16,27,33</sup>, werden experimentelle In-vitro-Untersuchungen mit Hilfe hochauflösender Geräte (Mikro-CT, Nano-CT) durchgeführt<sup>31,32,35</sup>.

Mit der chemomechanischen Aufbereitung von Wurzelkanalsystemen wird das Ziel verfolgt, Pulpagewebe vollständig zu entfernen und die Grundlage für eine wirkungsvolle Desinfektion und Reinigung zu schaffen. Schließlich werden mit der mechanischen Erweiterung und konischen Ausformung der aufbereiteten Wurzelkanäle die Voraussetzungen für einen dichten Verschluss des Wurzelkanalsystems geschaffen<sup>21</sup>.

Es besteht jedoch ein Unterschied zwischen den Bezeichnungen Wurzelkanalsystem und Wurzelkanal. Häufig werden diese Begriffe inhaltlich verwechselt, was eine zu stark vereinfachende Betrachtung bezüglich des komplexen Wurzelkanalsystems sowie der daraus resultierenden Diagnostik und Therapie zur Folge haben kann. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, wesentliche und praktisch relevante Unterschiede darzustellen und auf Besonderheiten in der anatomischen Vielfalt aufmerksam zu machen, damit geeignete Strategien zur dauerhaften Erhaltung natürlicher Zähne entwickelt werden können.



**Abb. 1** In der Folge der chemomechanischen Aufbereitung und thermoplastischen Wurzelkanalfüllung sind am Zahn 36 pulpodesmodontale Kanäle (Pfeile) und apikale Ramifikationen erkennbar

## Begriffsbestimmung

### Wurzelkanalsystem

Der Begriff Wurzelkanalsystem bezeichnet einen komplexen endodontischen Hohlraum, der sich im Ergebnis der lebenslangen Dentinbildung durch die Pulpa immer weiter verengt und morphologisch differenziert. Die ursprüngliche Form des Zahnes und seine Wurzelanzahl werden durch primäre und sekundäre Schmelzknoten sowie deren Expression von Signalmolekülen induziert<sup>53,54</sup>. Die Anzahl und die Form der Wurzeln nehmen zum Zeitpunkt der weiteren Differenzierung von innerem und äußerem Schmelzepithel im Glockenstadium mit der Herausbildung der so genannten *Hertwig'schen* Wurzelscheide Gestalt an. Mit dem Einsprossen von Blutgefäßen und Nerven in die ektomesenchymale Zahnpapille werden diese Gefäß-Nerven-Stränge von der Dentinbildung umschlossen, so dass sich im Ergebnis pulpodesmodontale Seitenkanäle und apikale Ramifikationen herausbilden<sup>39</sup> (Abb. 1).

Bei dem zum Zeitpunkt einer Wurzelkanalbehandlung vorgefundenen Wurzelkanalsystem handelt es sich um eine Momentaufnahme zum jeweiligen Entwicklungsstand des Zahnes. Je zeitiger eine Pulpa nekrotisch wird oder extirpiert werden muss, desto weiträumiger und undifferenzierter gestaltet sich das Wurzelkanalsystem<sup>17</sup>. Je älter der Zahn ist und je mehr chemische, mechanische oder mikrobielle Reize auf einen vitalen Zahn einwirken, desto weiter schreitet die Produktion von Sekundär- und Tertiärdentin fort<sup>44</sup>. Die Folgen sind nicht nur Verengungen oder partielle Obliterationen, sondern auch Separationen von vielfältigen Wurzelkanalstrukturen<sup>17,34,56</sup>.

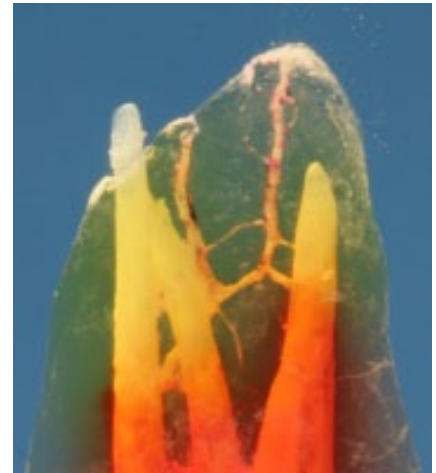
Seit der wissenschaftlichen Erforschung des Endodonts wird der Versuch unternommen, Wurzelkanalsysteme zu kategorisieren, um Häufigkeiten und typische Merkmale analysieren zu können und Konsequenzen für die Therapie zu bestimmen. Eine der am meisten verwendeten Klassifikationen ist die nach *Vertucci*<sup>57,59</sup> aus dem Jahr 1974, wonach acht verschiedene Grundarten von Wurzelkanalverläufen unterschieden werden. *Sert* und *Bayirli*<sup>49</sup> setzten diese Klassifikation in der Systematik fort und stellten insgesamt 23 mögliche Verlaufsformen vor.



**Abb. 2** Auf der distalexzentrischen Ansicht des transparenten Präparates Zahn 16 offenbart sich ein komplexes Wurzelkanalsystem. Anastomosen zwischen den teilweise separat verlaufenden fünf Wurzelkanälen sind erkennbar



**Abb. 3a** Transparentes Präparat vom Zahn 16 nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung und Wurzelkanalfüllung mit fünf postoperativen Wurzelkanälen in der typischen orthoradialen Ansicht



**Abb. 3b** Auf der vergrößerten Ansicht der mesiobukkalen Wurzelspitze in distaler Projektion ist eine Abweichung vom originalen Wurzelkanalverlauf erkennbar. Die mechanisch unbehandelten Anteile des Wurzelkanalsystems sind mit Sealer gefüllt

Mit der Darstellung des Wurzelkanalsystems wurde deutlich, dass es unmöglich gelingen kann, das gesamte endodontische Hohlraumssystem mechanisch mit klassischen Wurzelkanalinstrumenten zu erweitern (Abb. 2). Vielmehr scheint es darauf anzukommen, den jeweiligen Querschnitt des Wurzelkanals rechtzeitig zu erkennen und vollständig darzustellen, damit dieser mit geeigneten mechanischen Hilfsmitteln für eine wirkungsvolle Desinfektion und Reinigung sowie den nachfolgenden Verschluss vorbereitet werden kann.

### Wurzelkanal

Traditionell werden zur Darstellung der Wurzelkanäle menschlicher Zähne zweidimensionale Röntgenbilder mit kontrastgebenden Füllungsmaterialien genutzt. Da-

durch entsteht mitunter der Eindruck, dass die Anzahl und die Form gefüllter Wurzelkanäle mit der tatsächlichen Anatomie des Wurzelkanalsystems identisch sind (Abb. 3a und b). Teilweise basieren sogar anatomische Studien zur Ermittlung der Anzahl von Wurzelkanälen auf der Auswertung von Röntgenaufnahmen mit oder ohne eingelegte kontrastgebende Hilfsmittel als Nachweis für die tatsächliche Anzahl und Form der Wurzelkanäle, so dass mit einer hohen methodenbedingten Fehlerquote gerechnet werden muss<sup>29,36</sup>.

Als Wurzelkanal werden grundsätzlich zwei verschiedene Arten endodontischer Hohlräume bezeichnet. Diese sollten aus diagnostischen und therapeutischen Gründen in präoperative und postoperative Wurzelkanäle unterschieden werden. So ist es häufig erforderlich, sehr breite ovale Wurzelkanalsysteme von der jeweils

## ■ ENDODONTIE

Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne

äußersten Begrenzung aus mechanisch zu erweitern. Im Ergebnis entstehen zwei postoperative Wurzelkanäle, die eine breitflächige Reinigung und Desinfektion des ovalen Wurzelkanalsystems erlauben. Demgegenüber ist es auch möglich, dass vor dem Eingriff zwei getrennte Wurzelkanäle vorliegen, die aufbereitungsbedingt zu einem Wurzelkanal vereinigt werden können. Der postoperative Wurzelkanal entspricht insbesondere bei präparationsbedingten Fehlern (Stufen, Via falsa, Perforationen) nicht mehr dem präoperativen Wurzelkanalverlauf. Zusätzlich können in einem Wurzelkanalsystem pulpodesmodontale Seitenkanäle, akzessorische Wurzelkanäle, Isthmen, Anastomosen und apikale Ramifikationen auftreten. Eine Besonderheit der pulpodesmodontalen Seitenkanäle stellen die am Boden der Pulpakammer in Richtung Furkation verlaufenden Furkationskanäle dar<sup>12</sup>.

Abweichungen von der häufig vorkommenden Anatomie der äußeren Form menschlicher Zähne werden als Anomalien bezeichnet. Hierbei unterscheidet man zwischen Makrodontie, Mikrodontie, Zahnkeimpaarung (Gemination), Zwillingsbildung (Schizodontie), Zahnverschmelzung (Synodontie, Fusion), Zahnverwachsung sowie Dens evaginatus und invaginatus. Abweichungen in der Wurzelform werden als Wurzelfurchen und Wurzelteilungen beschrieben<sup>23,44,45</sup>. Mit der Abweichung in der äußeren Form können auch Abweichungen in der Form und dem Verlauf des Wurzelkanalsystems beobachtet werden.

### Klinische und röntgenographische Darstellung von Variationen

#### Oberkiefer

##### Schneide- und Eckzähne

Die Schneide- und Eckzähne des Oberkiefers weisen mit großer Häufigkeit eine Wurzel und jeweils nur ein Wurzelkanalsystem auf. Sie gelten deshalb auch oft als endodontisch einfach zu behandelnde Zähne. Im Widerspruch dazu steht die Häufigkeit von postendodontischen Erkrankungen und von Wurzelspitzenresektionen. Übersehene anatomische Besonderheiten können die Misserfolgsquote begünstigen (Abb. 4a und b).

Erste Hinweise auf Formabweichungen gibt die äußere Form und Gestalt der klinischen Zahnkrone. Insbesondere auf der palatinalen Fläche sind bei einem ausgeprägten Tuberculum dentis oder einem Foramen caecum weitergehende diagnostische Untersuchungen nötig, um rechtzeitig Form- und Strukturveränderungen der Zähne erkennen zu können<sup>4</sup>.

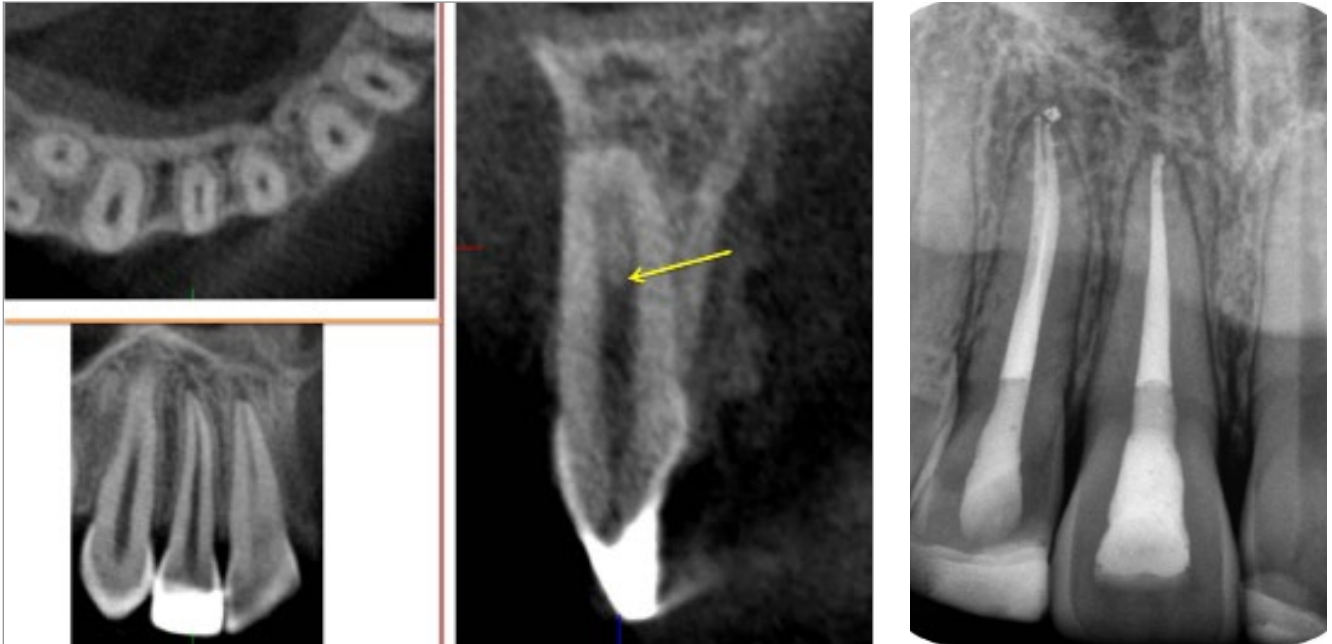
Während bei mittleren Schneidezähnen das häufig zu beobachtende weite apikale Foramen und die Gefahr der Überpressung von Debris unterschätzt werden, sind es bei seitlichen Schneidezähnen und Eckzähnen starke nach distal oder palatinal gerichtete apikale Krümmungen, die eine vollständige Erweiterung und Desinfektion erschweren. Vor allem bei einem ausgeprägten Foramen caecum sollten zwei anatomisch-morphologische Besonderheiten in die Differenzialdiagnostik einbezogen werden:

1. Einstülpungen des Schmelzepithels können in unterschiedlicher Ausprägung so genannte Invaginationen hervorrufen (Abb. 5a und b).
2. In Verlängerung des Tuberculum dentis ist nicht selten auf der palatinalen Fläche der Zahnkrone eine Fissur zu erkennen, die sich über die Schmelz-Zement-Grenze hinaus auf der Wurzeloberfläche fortsetzen kann. Je nach Ausprägung können diese Wurzelfurchen auch die Grenze von Wurzelseparationen darstellen. Im Ergebnis lässt sich in seltenen Fällen eine rudimentäre oder vollständig ausgebildete Wurzel beobachten.

Der stark ovale Wurzelkanalquerschnitt oberer Eckzähne wird mitunter in seiner Bedeutung unterschätzt, da er auf zweidimensionalen Röntgenaufnahmen auch in exzentrischer Projektion nicht sicher zu erkennen ist (Abb. 6a und b).

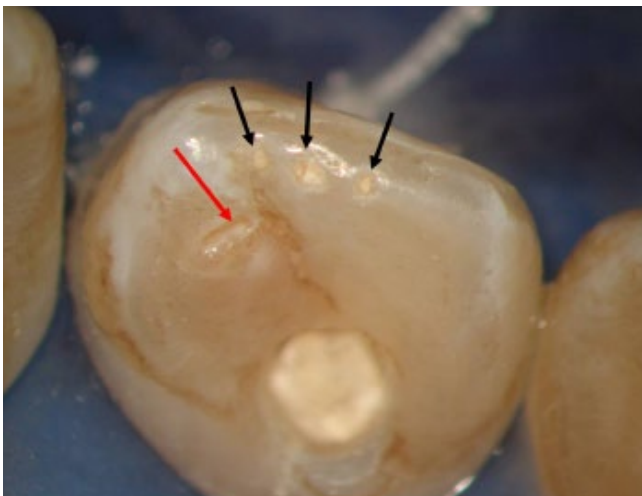
##### Prämolaren

Häufig sind an oberen ersten Prämolaren zwei und an oberen zweiten Prämolaren eine Wurzel zu beobachten. Einerseits variiert die Anzahl der Wurzeln sehr stark, und andererseits können sich Wurzelkanäle auch an einwurzeligen oberen Prämolaren im mittleren und apikalen Wurzeldrittel separieren, so dass mit einer Prävalenz

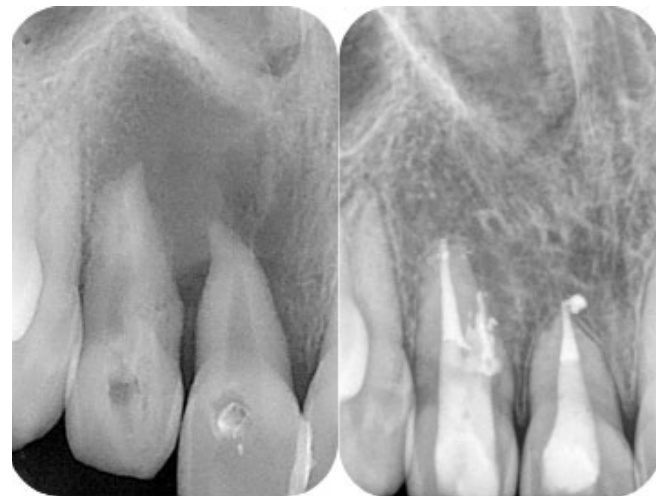


**Abb. 4a** Auf der vor dem Eingriff angefertigten, 4 x 4 cm großen DVT-Aufnahme ist in der axialen Darstellung am Zahn 12 eine apikale Aufteilung des Wurzelkanalsystems erkennbar (Pfeil)

**Abb. 4b** Mit dem Wissen um die anatomische Besonderheit am Zahn 12 gelangen eine vollständige Aufbereitung und der thermoplastische Verschluss mit zwei apikalen Wurzelkanälen



**Abb. 5a** Am trepanierten und provisorisch verschlossenen Zahn 12 sind inzisal und palatinal Schmelzdysplasien erkennbar (Pfeile). Sie können ein Anzeichen für eine Invagination sein und stellen die mikrobielle Eintrittspforte für eine Infektion am kariesfreien Zahn dar



**Abb. 5b** Der Vergleich zwischen Röntgenausgangs- und -kontrollaufnahme zeigt, dass die periapikale Aufhellung am Zahn 12 mit einem Dens invaginatus vom Typ III nach *Oehlers* sich 1 Jahr post operationem vollständig zurückgebildet hat

## ■ ENDODONTIE

Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne



**Abb. 6a** Auf der Röntgenausgangsaufnahme am Zahn 23 wird der Verlauf eines Fistelkanals mit einem kontrastgebenden Guttaperchastift dargestellt. Die Wurzelspitze wurde reseziert und ein retrogrades Verschlussmaterial appliziert. Eine Wurzelschraube scheint den gesamten Wurzelkanal vollständig auszufüllen



**Abb. 6b** Nach orthograde Entfernung der Aufbaufüllungsmaterialien ist ein stark ovaler und zum großen Teil unbehandelter Wurzelkanal erkennbar. Das retrograde Füllungsmaterial dichtet nur unvollständig ab, so dass die intrakanaläre mikrobielle Infektion nicht vom Substratzugang isoliert werden konnte



**Abb. 7** Die Röntgenkontrollaufnahme zeigt, dass am Zahn 24 drei Wurzeln in drei separaten Wurzeln thermoplastisch gefüllt wurden. Gleichzeitig sind drei pulpodesmodontale Seitenkanäle erkennbar

von maximal 9 % bis zu drei Wurzelkanäle aufgefunden werden können<sup>20</sup> (Abb. 7). Die Aufteilung der bukkalen Wurzelkanäle liegt etwa 3 bis 5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze<sup>60</sup>. Im Fall der Ausbildung einer Trifurkation lässt sich oft bukkal eine Einziehung unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze sondieren<sup>50,52</sup>.

Bedeutsam ist, dass bei einwurzeligen Prämolaren die Wurzelform in orovestibulärer Richtung stets oval gestaltet ist und damit das Wurzelkanalsystem im koronalen Wurzel Drittel eine stark ovale Form hat. Eine Separation in zwei oder auch in drei Wurzelkanäle erfolgt in solchen Fällen erst unterhalb des mittleren Wurzel Drittels (Abb. 8a und b).

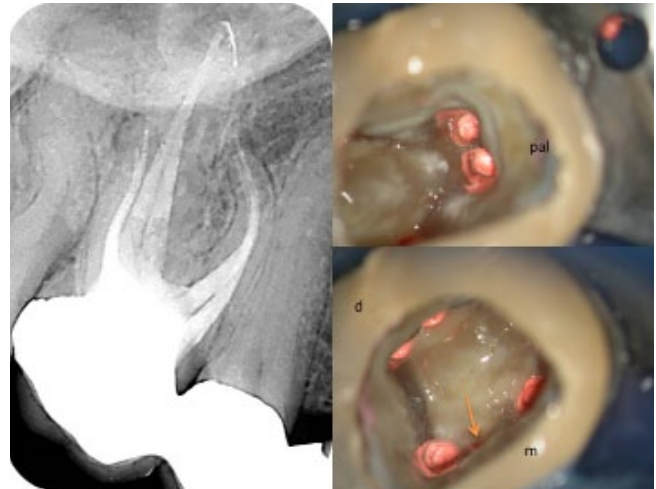


**Abb. 8a** Nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung am Zahn 14 fiel eine atypische laterale Auspressung von Wurzelkanalfüllungsmaterial auf (Pfeil)



**Abb. 8b** Im Anschluss an eine Teilrevision der bukkalen Wurzelkanalfüllung wurde etwa 5 mm unterhalb des Wurzelkanaleingangs eine Separation mit vitaler Pulpa aufgefunden. Nach einer ovalen Erweiterung mittels Ultraschall gelangte die vollständige Aufbereitung und Wurzelkanalfüllung

**Abb. 9** Am Zahn 16 wurden sechs vor dem Eingriff aufgefundene Wurzelkanäle sowie ein akzessorischer Wurzelkanal (Pfeil) in der mesiobukkalen Wurzel aufbereitet und thermoplastisch gefüllt. Auf der Röntgenkontrollaufnahme sind jeweils separate apikale Foramina erkennbar

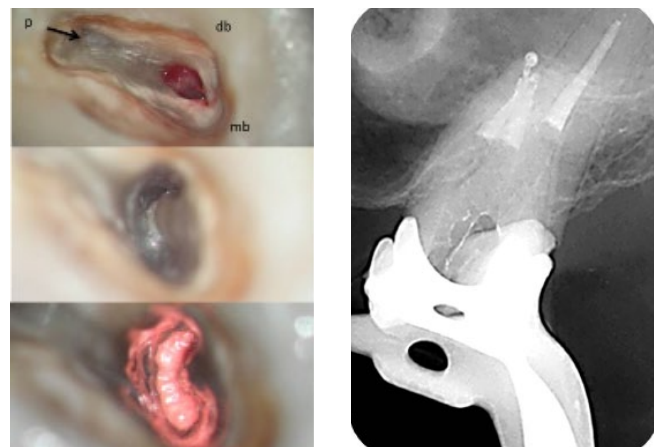


### Molaren

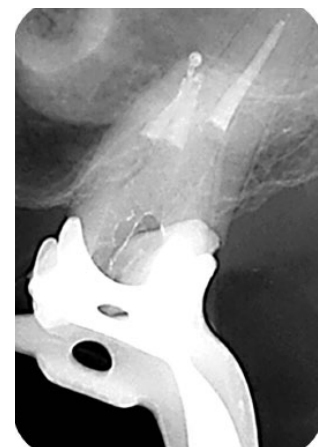
Während in anatomischen Studien je nach Studiendesign an mehr als 90 % der oberen ersten Molaren vier und mehr Wurzelkanäle nachzuweisen sind<sup>10,24,26</sup>, gelingt es ohne spezielle Hilfsmittel in den meisten zahnärztlichen Praxen nicht, den zweiten Anteil des mesiobukkalen Wurzelkanalsystems systematisch und reproduzierbar darzustellen und mechanisch zu erweitern. Infolgedessen wird dann von einem seltenen Behandlungsfall ausgegangen, wenn ein vierter Wurzelkanal mechanisch vollständig zu erweitern ist. Tatsächlich handelt es sich jedoch um das Ergebnis mangelnder Vergrößerung und unzureichender Ausleuchtung<sup>10</sup>. Der seltene Fall ist vielmehr das Auftreten von weniger oder mehr als vier Wurzelkanälen in einem dreiwurzeligen oberen ersten Molaren.

Abweichend von der typischen Wurzelform eines dreiwurzeligen Molaren lassen sich auch ein-, zwei-, vier- oder fünfwurzelige Molaren beobachten. Bedingt durch die Produktion von Sekundär- und Reizdentin, können weitere akzessorische Wurzelkanäle sowohl in der mesiobukkalen als auch in der distobukkalen oder palatinalen Wurzel vorkommen (Abb. 9).

Im Fall eines einwurzeligen oberen ersten bzw. zweiten Molaren tritt häufig ein so genanntes c-förmiges Wurzelkanalsystem auf. Diese als Ergebnis einer unvollständigen Wurzelteilung entstandenen Strukturen können sich von bukkal nach palatinal erstrecken oder nur bukkal begrenzt vorliegen (Abb. 10a und b). Eine



**Abb. 10a** Oben: In der klinischen Ansicht der Zugangskavität am Zahn 27 sind nur zwei Wurzelkanaleingänge palatinal (Pfeil) und bukkal erkennbar. Mitte: Mit Hilfe einer minimal-invasiven sonoabrasiven Präparation gelingt es, die c-förmige Wurzelkanalstruktur der bukkalen Wurzel darzustellen. Unten: Das bukkale Wurzelkanalsystem hat bis in das apikale Wurzelkanaldrittel einen c-förmigen Querschnitt



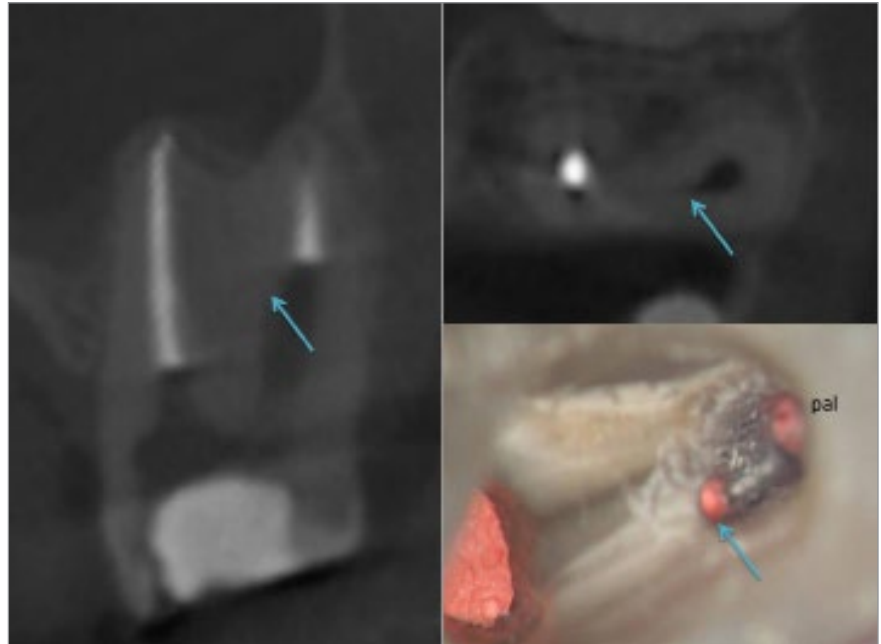
**Abb. 10b** Auf der Röntgenaufnahme ist am Zahn 27 das Fehlen der bukkalen Aufteilung in zwei separate Wurzeln erst nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung sicher erkennbar

## ■ ENDODONTIE

Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne



**Abb. 11a** Am Zahn 17 können lediglich zwei Wurzelkanäle dargestellt werden. Während der Wurzelkanalfüllung palatinal fällt ein 5 mm unterhalb des Wurzelkanaleingangs befindlicher Hohlraum auf



**Abb. 11b** Links: Ausschnitt einer DVT-Aufnahme vom Zahn 17. Die palatinale und die bukkale Wurzel sind bis nahe dem Apex nicht getrennt. Oben: In der horizontalen Darstellung des Wurzelquerschnitts scheint von bukkal nach palatinal eine Verbindung zu bestehen. Unten: Nach einer sonoabrasiven Präparation gelingt es, von palatinal einen selbstständig verlaufenden Wurzelkanalanteil mechanisch zu erweitern und zu verschließen (Pfeil)



**Abb. 11c** Auf der zwei-dimensionalen Röntgenkontrollaufnahme lässt sich die komplexe Struktur des gefüllten Wurzelkanalsystems aufgrund der projektionsbedingten Überlagerungen nicht darstellen

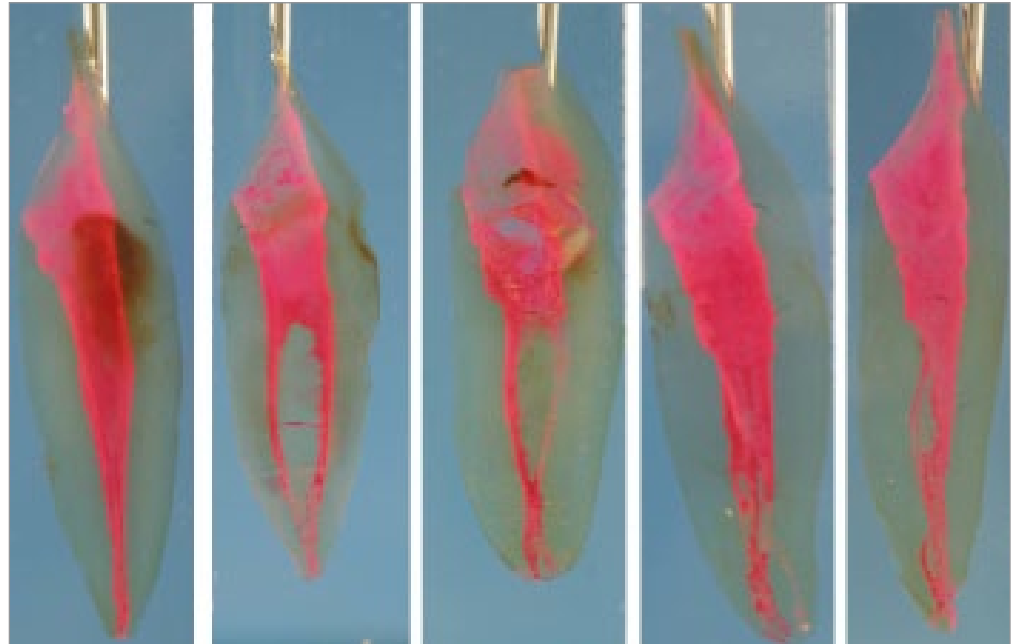
DVT-Aufnahme zur genauen Lokalisation der c-förmigen Wurzelkanalstruktur erleichtert das Erfassen der tatsächlichen Dimension sowie die Planung einer adäquaten und substanzschonenden mechanischen Erweiterung (Abb. 11a bis c).

### Unterkiefer

#### Schneidezähne

Unterkieferschneidezähne besitzen eine Wurzel, die typischerweise mesial und distal diskrete Einziehungen entlang der Wurzellänge aufweist<sup>18</sup>. Mit fortschreitender Produktion von Sekundärdentin verkleinert sich das Pulpakavum auch im Querschnitt. Die Kronenpulpa erfährt Veränderungen in der Form und Ausdehnung, wobei sich der Wurzelkanal von einer ovalen Form in bukkolingualer Ausdehnung in eine nadelförmige Kontur wandelt und mit zunehmendem Alter von koronal





**Abb. 12** Typische Formvariationen des Wurzelkanalsystems unterer mittlerer und seitlicher Schneidezähne. Transparente Präparate einer In-vitro-Studie nach Präparation einer endodontischen Zugangskavität und einer initialen maschinellen Aufbereitung unter Sicht mit dem Dentalmikroskop

nach apikal obliterieren kann<sup>5,17</sup>. Im Verlauf der Einnengung des Pulpakavums können Isthmen auftreten, die sich häufig am Übergang vom koronalen zum mittleren Wurzel Drittel und im apikalen Wurzel Drittel finden<sup>25</sup>. Während der lebenslangen Produktion von Sekundär-dentin ist das Wurzelkanalsystem in der Lage, sich in zwei oder auch mehrere teilweise voneinander getrennte Wurzelkanäle zu separieren<sup>3,17</sup> (Abb. 12).

### Eckzähne

An unteren Eckzähnen werden drei verschiedene Grundformen des Wurzelkanalsystems beobachtet. Der gewöhnlich einwurzelige Zahn kann analog dem unteren Schneidezahn Unterteilungen durch eine Dentinscheidewand oder sogar eine Wurzelteilung in eine labiale und eine linguale Wurzel aufweisen. Beim Eckzahn finden sich ein, zwei oder in sehr seltenen Fällen auch drei Wurzelkanäle (Abb. 13). Je größer die bukkolinguale



**Abb. 13** Auf der mesial-exzentrischen Röntgenaufnahme des Zahnes 43 sind drei gefüllte Wurzelkanäle mit zwei pulpo-desmodontalen Seitenkanälen erkennbar

## ■ ENDODONTIE

Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne



**Abb. 14a** Auf der mesialexzentrischen Röntgenaufnahme ist sowohl am Zahn 44 als auch am Zahn 45 eine Bifurkation als Hinweis auf eine Aufteilung des Wurzelkanalsystems erkennbar. Zusätzlich zu dem mit einem Messinstrument dargestellten Wurzelkanal lassen sich am Zahn 45 drei weitere Wurzelkanäle aufbereiten



**Abb. 14b** 1 Jahr nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung am Zahn 45 mit vier Wurzelkanälen ist die apikale Aufhellung deutlich verkleinert

Ausdehnung der klinischen Zahnkrone ist, desto höher fällt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von zwei und mehr Wurzelkanälen aus.

### Prämolaren

Prämolaren des Unterkiefers haben nur zu etwa 80 % eine Wurzel. Auf den meisten Wurzeloberflächen lassen sich approximal Wurzeleinziehungen erkennen, die charakteristisch für ovale Wurzelkanalquerschnitte sind. Das Wurzelkanalsystem unterer erster Prämolaren differenziert sich häufiger als das unterer zweiter Prämolaren. In Einzelfällen sind bis zu vier Wurzelkanäle auffindbar (Abb. 14a und b). Die Prävalenz für zwei Wurzelkanäle variiert je nach Untersuchungsmethode zwischen 1 und 29 %<sup>36,49,58</sup>. Eine Separation des Wurzelkanalsystems in zwei oder mehr Wurzelkanäle erfolgt erst 5 bis 7 mm unterhalb des Wurzelkanaleingangs in linguale Richtung. Zur Instrumentierung des linguale Wurzelkanals erfordert dies eine starke ovale Gestaltung der endodontischen Zugangskavität und einen linguale Substanzabtrag mittels sonoabrasiver Präparation<sup>19,40,41</sup>.

### Molaren

Die häufigste Wurzelform unterer Molaren ist zweiwurzellig. Abweichend lassen sich auch einwurzellige Molaren mit c-förmigen Wurzelkanalsystemen beobachten (Abb. 15). Zusätzliche separate Wurzeln können

distolingual als Radix entomolaris oder mesiolingual als Radix paramolaris vorkommen<sup>55</sup> (Abb. 16). Sehr breite mesiale oder distale Wurzeln verfügen oft über mehr als nur zwei separate Wurzelkanäle. Insbesondere in mesialen Wurzeln gelingt es, ein oder zwei akzessorische Wurzelkanäle aufzufinden. Typisch sind so genannte mesiozentrale Wurzelkanäle<sup>22</sup> (Abb. 17a und b), deren Prävalenz je nach Untersuchungsmethode zwischen 1 und 12 % liegt<sup>37,59</sup>.

Immer dann, wenn mesial oder distal ein kreisrunder Wurzelkanaleingang erkennbar ist, sollte die Eingangserweiterung weiter in bukkolingualer Richtung erfolgen. Hintergrund ist die typische ampullenförmige Erweiterung des Wurzelkanalsystems etwa 4 mm unterhalb des Pulpakammerbodens. Unterbleibt eine solche Erweiterung, gelingen die vollständige laterale Erweiterung und Reinigung bzw. das Auffinden einer möglichen Aufteilung in zwei separate Wurzelkanäle nicht<sup>42,62</sup>.

## Diskussion

Die Erkenntnisse über die tatsächliche Anzahl der Wurzelkanäle menschlicher Zähne und die Formenvielfalt des Wurzelkanalsystems liegen bereits 100 bis 150 Jahre zurück<sup>8,9,11,14,18</sup>, sind aber immer noch aktuell. Im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung vor knapp 150 Jahren gab es jedoch nicht annähernd die Möglichkeiten zur



**Abb. 15** Bei unteren zweiten Molaren mit einer so genannten Pfahlwurzel kann der Verlauf der Wurzelkanäle stark variieren. Links: ein sehr breites Wurzelkanalsystem mit starker apikaler Aufteilung. Mitte: Das initial c-förmige Wurzelkanalsystem unterteilt sich in einen mesialen und einen distalen bandförmigen Anteil, die sich im apikalen Drittel wieder breitflächig c-förmig zu verbinden. Rechts: Das initial c-förmige Wurzelkanalsystem unterteilt sich in zwei mesiale und einen distalen Wurzelkanal, die sich ab dem mittleren Wurzel Drittel wieder vereinigen



**Abb. 16** Am Zahn 36 ist eine vollständig ausgebildete und im apikalen Anteil stark gekrümmte Radix entomolaris nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung gut erkennbar. Je nach Projektion kann die unbehandelte, grazile Wurzel auf einer zweidimensionalen Röntgenaufnahme bedingt durch Überlagerungseffekte übersehen werden



**Abb. 17a** Am Zahn 36 fanden sich in der mesialen Wurzel vier bis in das apikale Wurzel Drittel separat verlaufende Wurzelkanäle. Am Apex sind mehrere getrennte apikale Foramina zu erkennen



**Abb. 17b** Analog zum mesiozentralen Wurzelkanal lassen sich ebenso in der distalen Wurzel tiefe Aufteilungen bei ovalen Wurzelkanälen darstellen

## ■ ENDODONTIE

Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne

Nutzung der heute verfügbaren technischen Hilfsmittel, so dass vereinfachte mechanische Aufbereitungskonzepte und umso intensivere chemische Desinfektionsprotokolle entwickelt wurden, die sich zum Teil bis in unsere Zeit erhalten haben.

Das Wurzelkanalsystem als Teil des Endodonts ist die kleinste Struktur in der Mundhöhle, die einer bewussten, zielgerichteten mechanischen und chemischen Therapie unterzogen wird. Mit dem Wissen, dass es sich lediglich um Dimensionen im Mikrometerbereich handelt, ist der Einsatz optischer Hilfsmittel und zusätzlicher koaxialer Lichtzufuhr aus heutiger Erkenntnis unverzichtbar. Wird das Dentalmikroskop zur Darstellung der Wurzelkanäle genutzt, so gelingt bereits das Auffinden mit deutlich größerem Erfolg<sup>2,46</sup>.

Obwohl in nahezu jeder Zahnarztpraxis Wurzelkanalbehandlungen durchgeführt werden, unterbleibt noch immer die routinemäßige Nutzung von optischen Hilfsmitteln sowohl in der Lehre als auch in der Praxis<sup>47</sup>. Dieser kognitiven Dissonanz in der Endodontie<sup>15,48</sup> wird zur Entlastung das möglicherweise wiederholte individuelle Erlebnis gegenübergestellt, dass selbst im Fall einer offensichtlich unvollständigen Wurzelkanalbehandlung eine apikale Parodontitis ausheilen kann. Folglich erscheint es nicht mehr notwendig, an oberen Molaren vier Wurzelkanäle aufzusuchen und Hilfsmittel zu nutzen, die das Auffinden ermöglichen. Die physiologische Anatomie wird reduziert auf die aktuell praktikable Anatomie.

Bleiben Wurzelkanäle oder große Anteile des Wurzelkanalsystems jedoch unbehandelt, so besteht das Risiko postendodontischer oder persistierender periradikulärer Erkrankungen, die symptomatisch oder asymptomatisch verlaufen können. Entscheidend dabei sind die Menge, die Pathogenität und die Virulenz der zurückgelassenen, möglicherweise in einem Biofilm or-

ganisierten Mikroorganismen<sup>30</sup>. Im Rahmen einer retrospektiven klinischen Studie konnte in einem 5-jährigen Beobachtungszeitraum an 5.616 oberen Molaren gezeigt werden, dass sich mit dem Auffinden des zweiten mesio-bukkalen Wurzelkanals die Langzeitprognose verbessern lässt<sup>61</sup>. Als Ursache für fortbestehende mikrobielle Infektionen werden Anastomosen zwischen den benachbarten Wurzelkanälen und Seitenkanäle mit separatem Kontakt zum Parodontium angenommen.

Die Auseinandersetzung mit der Anatomie des Wurzelkanalsystems verfolgt keinen Selbstzweck. Die dreidimensionale Darstellung des Wurzelkanalsystems mit Hilfe der CT führt zu einem besseren Verständnis der komplexen anatomischen Struktur<sup>1,13</sup>. Angaben zur Prävalenz geben eine Orientierung hinsichtlich der Möglichkeit einer Abweichung von der so genannten Norm. Die Ermittlung der tatsächlichen Anatomie mit bewährten Methoden der klinischen Diagnostik und modernen Möglichkeiten wie z. B. der DVT und der Arbeit mit dem Dentalmikroskop bietet neue Chancen, natürliche Zähne langfristig zu erhalten<sup>2</sup>. Erst mit einer genauen Kenntnis über das zu behandelnde Wurzelkanalsystem kann eine adäquat dimensionierte endodontische Zugangskavität präpariert werden. Informationen über Abweichungen von gewöhnlichen Formen des Wurzelkanalverlaufs und die Beziehung zu angrenzenden anatomischen und pathologischen Strukturen erlauben eine exakte Beurteilung und Therapieplanung.

### Danksagung

Für die Herstellung und fotografische Dokumentation der transparenten Präparate der Abbildungen 2, 3 und 12 gebührt Herrn Dr. *Holm Reuver* aus Neustadt ein herzlicher Dank.



## Literatur

1. American Association of Endodontists; American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. Use of cone-beam computed tomography in endodontics. Joint Position Statement of the American Association of Endodontists and the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;111:234-237.
2. Arnold M. Das Dentalmikroskop – Grundlage für bewährte und neue Verfahren bei der Wurzelkanalbehandlung. *Endodontie* 2007; 16:105-114.
3. Arnold M. Die Differenzierung einkanaler und mehrkanaliger Unterkieferfrontzähne mit Hilfe des Dentalmikroskops. *Endodontie* 2010;19:153-163.
4. Arnold M, Paqué F. Der seitliche Oberkiefer-schneidezahn – Anatomie, Anomalien und seltene Fälle. *Endodontie* 2010;19:419-429.
5. Artal N, Gani O. Endodontic anatomy of the root canals of lower incisors. *Acta Odontol Latinoam* 2000;13:39-49.
6. Barrett MT. The internal anatomy of the teeth with special reference to the pulp with its branches. *Dent Cosmos* 1925;67:581-592.
7. Baumann M. Die räumliche Darstellung des Endodonts. München: Hanser, 1995.
8. Baume R. Lehrbuch der Zahnheilkunde. 3. Aufl. Leipzig: Verlag von Arthur Felix, 1890.
9. Black GV. Descriptive anatomy of the human teeth. 4. ed. Philadelphia: S. S. White Dental Manufacturing, 1902.
10. Buhrey LJ, Barrows MJ, BeGole EA, Wenckus CS. Effect of magnification on locating the MB2 canal in maxillary molars. *J Endod* 2002;28:324-327.
11. Carabelli G. Systematisches Handbuch der Zahnheilkunde. Wien: Baumüller und Seidel, 1844.
12. Dammaschke T, Witt M, Ott K, Schäfer E. Scanning electron microscopic investigation of incidence, location, and size of accessory foramina in primary and permanent molars. *Quintessence Int* 2004;35:699-705.
13. Dentale Volumetomographie (DVT). Leitlinie der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 2009;64:490-496.
14. Fischer G. Über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne. *Dtsch Monatsschr Zahnheilkd* 1907;25:544-552.
15. Gutmann JL. Clinical, radiographic, and histologic perspectives on success and failure in endodontics. *Dent Clin North Am* 1992;36:379-392.
16. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;95:371-377.
17. Hess W. Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale. *Schweiz Vierteljahrsschr Zahnheilkd* 1917;27:1-53.
18. Holländer LH. Anatomie der Zähne des Menschen und der Wirbelthiere sowie deren Histologie. Berlin: Verlag von August Hirschwald, 1877.
19. Hülsmann M. Mandibular first premolar with three root canals. *Endod Dent Traumatol* 1990;6:189-191.
20. Hülsmann M. Prämolaren mit drei Wurzelkanälen: Inzidenz, Diagnostik und Therapie. *Endodontie* 1994;3:277-288.
21. Hülsmann M, Schäfer E. „Good clinical practice“: Die Wurzelkanalbehandlung. Stellungnahme der DGZ und der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60:418-423.
22. Hülsmann M, Tulus G. Dritter mesialer Wurzelkanal in Unterkiefermolaren. *Endodontie* 2010;19:123-131.
23. Klimm W. Endodontologie: Grundlagen und Praxis. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, 2003.
24. Kulild JC, Peters DD. Incidence and configuration of canal systems in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars. *J Endod* 1990;16:311-317.
25. Mauger MJ, Schindler WG, Walker WA. An evaluation of canal morphology at different levels of root resection in mandibular incisors. *J Endod* 1998;24: 607-609.
26. Moral H. Ueber das Vorkommen eines vierten Kanals in oberen Molaren. *Österr Ungar Vierteljahrsschr Zahnheilkd* 1915;3: 313-325.
27. Michetti J, Maret D, Mallet JP, Diemer F. Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod* 2010;36:1187-1190.
28. Mühlreiter E. Anatomie des menschlichen Gebisses mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Zahnersatzkunde. 2. Aufl. Leipzig: Arthur Felix, 1891.
29. Naoum HJ, Love RM, Chandler NP, Herbison P. Effect of X-ray beam angulation and intraradicular contrast medium on radiographic interpretation of lower first molar root canal anatomy. *Int Endod J* 2003;36:12-19.
30. Ørstavik D, Pitt Ford TR. Apical periodontitis: microbial infection and host responses. In: Ørstavik D, Pitt Ford TR (eds). *Essential endodontology*. Oxford: Blackwell Munksgaard, 2008:1-9.
31. Paqué F, Boessler C, Zehnder M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J* 2011; 44:148-153.
32. Parkinson CR, Sasov A. High-resolution non-destructive 3D interrogation of dentin using X-ray nanotomography. *Dent Mater* 2008;24:773-777.
33. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2009;42: 463-475.
34. Peiris HR, Pitakotuwage TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. *Int Endod J* 2008; 41:828-835.
35. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod* 2001;27: 1-6.
36. Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7.275 root canals. *Oral Surg* 1972;33: 101-110.
37. Pomeranz HH, Eidelmann DL, Goldberg MG. Treatment considerations of the middle mesial canal of mandibular first and second molars. *J Endod* 1981;7: 565-568.
38. Preiswerk G. Lehrbuch und Atlas der konservierenden Zahnheilkunde. München: J. F. Lehmann, 1903.
39. Radlanski RJ. Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie. Quintessenz, Berlin 2011.
40. Reuver H. Problematik der Wurzelkanalbehandlung unterer Prämolaren (Teil I). *Endodontie* 2002;11:217-229.
41. Reuver H. Problematik der Wurzelkanalbehandlung unterer Prämolaren (Teil II). *Endodontie* 2002;11:317-328.
42. Rödiger T, Hülsmann M, Mühge M, Schäfers F. Quality of preparation of oval distal root canals in mandibular molars using nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 2002;35: 919-928.
43. Rosenstiel E. Transparent model teeth with pulps. *Dent Digest* 1957;63:154-157.
44. Schroeder HE. Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Aufl. Basel: Karger, 1997.
45. Schulze C. Anomalien und Mißbildungen der menschlichen Zähne. Berlin: Quintessenz, 1987.
46. Schwarze T, Baethge C, Stecher T, Geurtsen W. Identification of second canals in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars using magnifying loupes or an operating microscope. *Aust Endod J* 2002;28:57-60.
47. Selden HS. The dental-operating microscope and its slow acceptance. *J Endod* 2002;28: 206-207.
48. Seltzer S, Bender IB. Cognitive dissonance in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;20:505-516.
49. Sert S, Bayirli GS. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. *J Endod* 2004;30: 391-398.

## ■ ENDODONTIE

### Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne

50. Soares JA, Leonardo RT. Root canal treatment of three-rooted maxillary first and second premolars-a case report. *Int Endod J* 2003;36:705-710.
51. Spalteholz W. Über das Durchsichtigmachen von menschlichen und tierischen Präparaten. Leipzig: Verlag von S. Hirzel, 1911.
52. Stöckl G, Hülsmann M. Diagnostik und Therapie von Oberkieferprämolaren mit drei Wurzelkanälen – Eine Fallserie. *Endodontie* 2010;19:143-152.
53. Thesleff I. Genetic basis of tooth development and dental defects. *Acta Odontol Scand* 2000;58:191-194.
54. Thesleff I, Keränen S, Jernvall J. Enamel knots as signaling centers linking tooth morphogenesis and odontoblast differentiation. *Adv Dent Res* 2001;15:14-18.
55. Thiessen D, Schröder J, Kaaden Ch. Die Anatomie von Unterkiefermolaren. *Endodontie* 2010;19:133-140.
56. Thomas RP, Moule AJ, Bryant R. Root canal morphology of maxillary permanent first molar teeth at various ages. *Int Endod J* 1993;26:257-267.
57. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the mandibular anterior teeth. *J Am Dent Assoc* 1974;89:369-371.
58. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg* 1984; 58:589-599.
59. Vertucci FJ, Williams RG. Root canal anatomy of the mandibular first molar. *J NY Dent Assoc* 1974;48:27-28.
60. Vier-Pelisser FV, Dummer PM, Bryant S, Marca C, Só MV, Figueiredo JA. The anatomy of the root canal system of three-rooted maxillary premolars analysed using high-resolution computed tomography. *Int Endod J* 2010;43:1122-1131.
61. Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S, Meyers J. A 5 yr clinical investigation of second mesiobuccal canals in endodontically treated and retreated maxillary molars. *J Endod* 2005;31: 262-264.
62. Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. The capability of two hand instrumentation techniques to remove the inner layer of dentine in oval canals. *Int Endod J* 2003; 36:218-224.