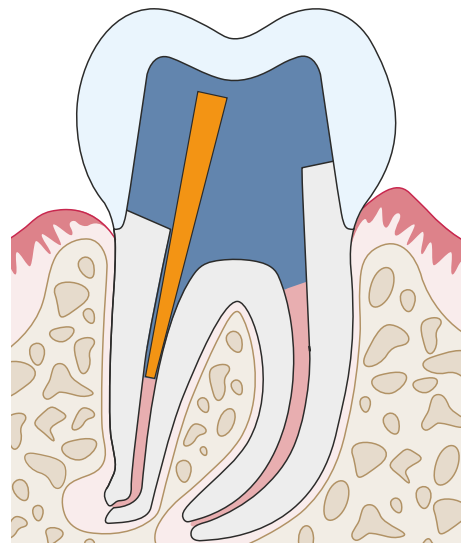
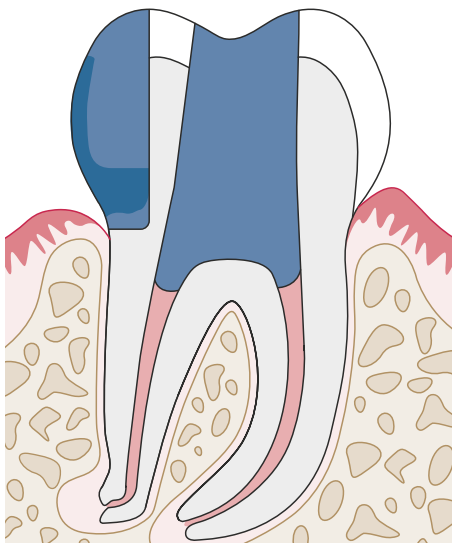
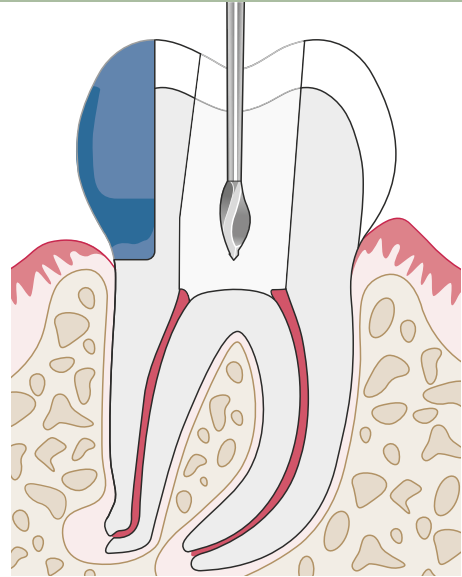
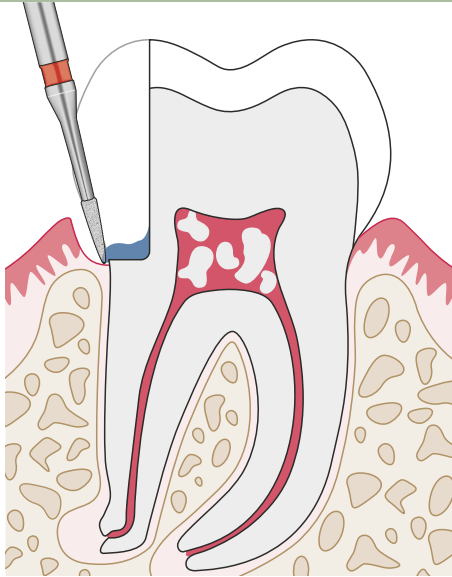


David Sonntag und Michael Hülsmann (Hrsg.)

copyright by  
not for publication  
Quintessenz

# DAS KLEINE 1 × 1 DER ENDODONTIE



David Sonntag und Michael Hülsmann (Hrsg.)



# DAS KLEINE 1×1 DER ENDODONTIE

## Mit Beiträgen von:

Michael Arnold, Johannes Bantleon, Clemens Bargholz, Jan Behring,  
Sebastian Bürklein, Martin Brüsehaber, Thomas Connert,  
Johannes Cujé, Till Dammaschke, David Donnermeyer, Andreas Filippi,  
Christian Gernhardt, Carolin Sabine Harms-Ludwigs, Hanjo Hecker,  
Hans-Willi Herrmann, Matthias Holly, Magdalena Ibing, Christoph Kaaden,  
Peer Wolfgang Kämmerer, Johannes Klimscha, Gabriel Krastl,  
Ralf Krug, Christian Krupp, Sumin Lee, Silvio Lottanti, Eva Magni,  
Lena Katharina Müller-Heupt, Anh Duc Nguyen, Frank Paqué,  
Christine I. Peters, Ove A. Peters, Natalie Pütz, Edgar Schäfer,  
Tom Schloss, Jörg Schröder, Frank C. Setzer, Bijan Vahedi,  
Roland Weiger, Matthias Zehnder, Christoph Zirkel

 **QUINTESSENCE PUBLISHING**

Berlin | Chicago | Tokio  
Barcelona | London | Mailand | Mexiko Stadt | Paris | Prag | Seoul | Warschau  
*Istanbul | Peking | Sao Paulo | Zagreb*



Ein Buch – ein Baum: Für jedes verkaufte Buch pflanzt Quintessenz gemeinsam mit der Organisation „One Tree Planted“ einen Baum, um damit die weltweite Wiederaufforstung zu unterstützen (<https://onetreepanted.org/>).



#### Zusatzmaterial

Zum Umfang dieses Buches gehören zahlreiche Videos, die den Inhalt veranschaulichen und die Leseerfahrung bereichern. Diese können einfach per QR-Code mit dem Smartphone oder Tablet abgespielt werden.

#### Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://dnb.ddb.de> abrufbar.



Postfach 42 04 52; D-12064 Berlin  
Ifenpfad 2-4, D-12107 Berlin  
[www.quintessence-publishing.com](http://www.quintessence-publishing.com)  
© 2024 Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Grafiken: Christine Rose, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin  
Lektorat, Herstellung und Reproduktion: Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin

ISBN 978-3-86867-611-2  
Printed in Croatia by GZH

## Vorwort

Dieses Buch ist weder ein klassisches Lehrbuch für die universitäre Ausbildung noch ein umfassender Endodontie-Atlas, und auch kein endgültiges Endodontie-Nachschlagewerk. Es ist nach dem Vorbild des *Kleinen 1x1 der Oralchirurgie* von Andreas Filippi et al. entstanden, dessen Erscheinen die Initialzündung zum Schreiben dieses Buches war. Die inhaltliche Gestaltung und Schwerpunktlegung basiert auf der Erfahrung der Autoren in zahlreichen Fortbildungsveranstaltungen und Endodontie-Curricula: Die Teilnehmenden dieser Veranstaltungen werden rasant jünger, nicht wenige kommen bereits nahezu unmittelbar nach bestandenen Staatsexamen – und das liegt keinesfalls nur an der Pflicht, Fortbildungspunkte zu sammeln. Es scheint eher der Tatsache geschuldet zu sein, dass sich die zeitlichen, personellen und infrastrukturellen Möglichkeiten der universitären Wissensvermittlung gegenläufig zu endodontischen Fortschritten in Forschung und klinischen Umsetzungsmöglichkeiten entwickeln.

So erscheint es wenig erstaunlich, dass die Diagnostik und das Management von Schmerzfällen Zahnärztinnen und Zahnärzte mit geringer Berufserfahrung schnell an die Grenzen bringen. Speziell diesen jungen Kolleginnen und Kollegen möchten wir mit dem Buch Wissen und Werkzeug an die Hand geben, um sich schnell, aber kompetent auf klinische Situationen und Anforderungen einzustellen. Wir haben uns bemüht, die Texte kurz und kompakt zu halten, Sachverhalte informativ zu illustrieren

und stets die klinische Umsetzung in den Mittelpunkt zu stellen, ohne dabei wissenschaftliche Grundlagen außer Acht zu lassen. Zahlreiche hochengagierte Kolleginnen und Kollegen aus Praxis und Universität, darunter viele renommierte Endodontie-Spezialistinnen und -Spezialisten, haben ihr Fachwissen und ihre Erfahrung beigesteuert: Aus der Praxis – für die Praxis, das ist der Leitfaden dieses Buches!

In diesem Buch werden Sie auch widersprüchliche Meinungen und Ratschläge finden, und nicht alle Aussagen decken sich mit den Meinungen der Herausgeber. Das spiegelt folgerichtig die gängige Pluralität der Lehrmeinungen. Und genau so ist auch die Endodontie: Wie auf einer mehrspurigen Autobahn muss sich jede/r überlegen, welche die für sie oder ihn passende Fahrspur ist; ein Spurwechsel ist aber jederzeit möglich. Solange der durchgezogene Mittelstreifen nicht überfahren und der Kontakt mit der Leitplanke vermieden wird, ist alles okay! Um Sachverhalte noch verständlicher darzustellen, finden sich per QR-Code im Buch viele kurze Videosequenzen, die das klinische Vorgehen anschaulich demonstrieren und vermutlich manchmal mehr helfen als seitenlange Texte.

Natürlich fehlt auch Einiges. Aber dies ist nun mal das *Kleine 1x1 der Endodontie*!

David Sonntag und Michael Hülsmann  
im März 2024

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir im Buch auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und weiterer Geschlechterformen verzichtet. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung der jeweils anderen Geschlechter. Personen- und Berufsbezeichnungen sind daher in der Regel als geschlechtsneutral zu verstehen.

## Herausgeber und Autorinnen und Autoren

### Herausgeber:



Prof. Dr. David Sonntag  
Poliklinik für Zahnerhaltungskunde  
Universitätsklinikum Düsseldorf  
Moorenstr. 5  
40225 Düsseldorf  
sowie  
Zentrum der Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde (Carolinum)  
Poliklinik für Zahnerhaltung  
Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Theodor-Stern-Kai 7  
60596 Frankfurt am Main



Prof. Dr. Michael Hülsmann  
Klinik für Zahnerhaltung und  
Präventivzahnmedizin  
Universität Zürich  
Plattenstr. 11  
8032 Zürich  
Schweiz



Dr. Jan Behring  
Hamburger Zentrum für Zahnrettung  
Praxis Dr. Behring und Partner  
Wandsbeker Chaussee 44  
22089 Hamburg



Prof. Dr. Sebastian Bürklein  
Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz (ZIA)  
Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde  
Universitätsklinikum Münster  
Waldeyerstraße 30  
48149 Münster



Dr. Martin Brüsehaber  
Praxis für Endodontie  
Rothenbaumchaussee 125  
20149 Hamburg

### Autorinnen und Autoren:



Dipl.-Stom. Michael Arnold  
Praxis für Endodontie und Zahn-  
erhaltung  
Königstr. 9  
01097 Dresden



PD Dr. Thomas Connert  
Klinik für Parodontologie,  
Endodontologie und Kariologie  
Universitäres Zentrum für Zahn-  
medizin Basel UZB  
Mattenstr. 40  
4058 Basel  
Schweiz



Johannes Bantleon  
Ordination für Zahnerhaltung  
Dorotheergasse 12/Top 15  
1010 Wien  
Österreich



Dr. Johannes Cujé  
Hamburger Zentrum für Zahnrettung  
Praxis Dr. Behring und Partner  
Wandsbeker Chaussee 44  
22089 Hamburg



Dr. Clemens Bargholz  
Privatpraxis für Endodontie  
Rothenbaumchaussee 125  
20149 Hamburg



Prof. Dr. Till Dammaschke  
Poliklinik für Parodontologie und  
Zahnerhaltung  
Universitätsklinikum Münster  
Waldeyerstraße 30  
48149 Münster





PD Dr. David Donnermeyer  
Poliklinik für Parodontologie und  
Zahnerhaltung  
Universitätsklinikum Münster  
Waldeyerstraße 30  
48149 Münster



Matthias Holly  
Ordination für Zahnerhaltung  
Dorotheergasse 12/Top 13A  
1010 Wien  
Österreich



Prof. Dr. Andreas Filippi  
Klinik für Oralchirurgie  
Universitäres Zentrum für Zahn-  
medizin UZB  
Universität Basel  
Mattenstr. 40  
4058 Basel  
Schweiz



Dr. Magdalena Ibing  
Poliklinik für Parodontologie und  
Zahnerhaltung  
Universitätsklinikum Münster  
Waldeyerstr. 30  
48149 Münster



Prof. Dr. Christian Gernhardt  
Universitätsmedizin Halle  
Universität Halle-Wittenberg  
Universitätspoliklinik für Zahnerhal-  
tungskunde und Parodontologie  
Magdeburger Str. 16  
06112 Halle (Saale)



Dr. Christoph Kaaden  
Brienner Str. 5  
80333 München



Dr. Carolin Sabine Harms-Ludwigs  
Zahnarztpraxis Harms  
Hindenburgstr. 10  
26122 Oldenburg



Univ.-Prof. Dr. Dr.  
Peer Wolfgang Kämmerer  
Klinik und Poliklinik für Mund-,  
Kiefer-, Gesichtschirurgie,  
plastische Operationen  
Universitätsmedizin Mainz  
Augustusplatz 2  
55131 Mainz



Dr. Hanjo Hecker  
Praxis für Endodontologie Basel  
Steinenring 3  
4051 Basel  
Schweiz



Johannes Klimscha  
Ordination für Zahnerhaltung  
Dorotheergasse 12/Top 13A  
1010 Wien  
Österreich



Dr. Hans-Willi Herrmann  
Praxis für Endodontie  
Mannheimer Str. 6  
55545 Bad Kreuznach



Prof. Dr. Gabriel Krastl  
Poliklinik für Zahnerhaltung und  
Parodontologie  
Universitätsklinikum Würzburg  
Pleicherwall 2  
97070 Würzburg





PD Dr. Ralf Krug  
Poliklinik für Zahnerhaltung und  
Parodontologie  
Universitätsklinikum Würzburg  
Pleicherwall 2  
97070 Würzburg



Anh Duc Nguyen  
Universitätsmedizin Halle  
Universität Halle-Wittenberg  
Universitätspoliklinik für Zahnerhal-  
tungskunde und Parodontologie  
Magdeburger Straße 16  
06112 Halle (Saale)



Dr. Christian Krupp  
Privatpraxis für Endodontie  
Rothenbaumchaussee 125  
20149 Hamburg



Dr. Frank Paqué  
Praxis für Endodontologie  
Rennweg 58  
8001 Zürich  
Schweiz



Dr. Sumin Lee  
Department of Endodontics,  
School of Dental Medicine  
University of Pennsylvania  
240 S 40th St  
Philadelphia, PA, 19104  
USA



Dr. Christine I. Peters  
The University of Queensland  
School of Dentistry,  
Oral Health Centre  
288 Herston Road  
Brisbane, QLD 4006  
Australien



Dr. Silvio Lottanti  
Praxis für Endodontologie  
Dres. Marending & Lottanti  
Witikonstr. 15  
8032 Zürich  
Schweiz



Prof. Dr. Ove A. Peters  
The University of Queensland  
School of Dentistry,  
Oral Health Centre  
288 Herston Road  
Brisbane, QLD 4006  
Australien



Dr. Eva Magni  
Klinik für Parodontologie,  
Endodontologie und Kariologie  
Universitäres Zentrum für Zahn-  
medizin Basel UZB  
Mattenstr. 40  
4058 Basel  
Schweiz



Dr. Natalie Pütz  
Universitätsmedizin Halle  
Universität Halle-Wittenberg  
Universitätspoliklinik für Zahnerhal-  
tungskunde und Parodontologie  
Magdeburger Straße 16  
06112 Halle (Saale)



Dr. Dr. Lena Katharina Müller-Heupt  
Poliklinik für Parodontologie und  
Zahnerhaltung  
Universitätsmedizin Mainz  
Augustusplatz 2  
55131 Mainz



Prof. Dr. Edgar Schäfer  
Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz (ZIA)  
Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde  
Universitätsklinikum Münster  
Waldeyerstr. 30  
48149 Münster



Dr. (UMF Temeschburg) Tom Schloss  
Kornmarkt 8  
90402 Nürnberg



Prof. Dr. Roland Weiger  
Klinik für Parodontologie,  
Endodontologie und Kariologie  
Universitäres Zentrum für Zahn-  
medizin Basel UZB  
Mattenstr. 40  
4058 Basel  
Schweiz



Dr. Jörg Schröder  
7 Keronal  
22140 Brévidy  
Frankreich



Prof. Dr. Matthias Zehnder  
Klinik für Zahnerhaltung und  
Präventivzahnmedizin  
Zentrum für Zahnmedizin  
Universität Zürich  
Plattenstr. 11  
8032 Zürich  
Schweiz



Dr. Frank C. Setzer  
Department of Endodontics  
School of Dental Medicine  
University of Pennsylvania  
240 S 40th St  
Philadelphia, PA, 19104  
USA



Dr. Christoph Zirkel  
Praxis für Endodontologie  
Gyrhofstr. 22–24  
50931 Köln



Dr. Bijan Vahedi  
Praxis für Endodontie  
Philippine-Welser-Str. 19  
86150 Augsburg



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Anatomie des Endodonts</b>	<b>1</b>
	Michael Arnold, Frank Paqué	
<b>2</b>	<b>Erkrankungen der Pulpa und des apikalen Parodonts</b>	<b>19</b>
	Magdalena Ibing, Edgar Schäfer	
<b>3</b>	<b>Anamnese und endodontische Diagnostik</b>	<b>33</b>
	Michael Arnold, Michael Hülsmann	
<b>4</b>	<b>Radiologie in der Endodontie</b>	<b>55</b>
	Frank C. Setzer, Tom Schloss, Sumin Lee	
<b>5</b>	<b>Behandlungsplanung: Schwierigkeitsgrad und Prognose</b>	<b>71</b>
	Christine I. Peters, Ove A. Peters	
<b>6</b>	<b>Der endodontische Schmerzfall</b>	<b>91</b>
	David Sonntag, Michael Hülsmann	
<b>7</b>	<b>Lokalanästhesie</b>	<b>107</b>
	Lena Katharina Müller-Heupt, Peer Wolfgang Kämmerer	
<b>8</b>	<b>Präendodontischer Aufbau</b>	<b>117</b>
	Jan Behring, Johannes Cujé	
<b>9</b>	<b>Kofferdam</b>	<b>127</b>
	Johannes Bantleon, Matthias Holly, Johannes Klimscha	





<b>10</b>	<b>Vitalerhaltung: Überkappung und Pulpotomie</b>	<b>139</b>
	Till Dammaschke, David Donnermeyer, Carolin Sabine Harms-Ludwigs, Sebastian Bürklein	
<b>11</b>	<b>Vergrößerung und Licht</b>	<b>149</b>
	Michael Arnold, Jörg Schröder	
<b>12</b>	<b>Präparation der Zugangskavitäten</b>	<b>163</b>
	Hans-Willi Herrmann, Christoph Kaaden	
<b>13</b>	<b>Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge</b>	<b>181</b>
	Michael Hülsmann, Christian Gernhardt, Anh Duc Nguyen, Hanjo Hecker	
<b>14</b>	<b>Präparation des Gleitpfads</b>	<b>195</b>
	Christoph Zirkel, Michael Hülsmann, Clemens Bargholz	
<b>15</b>	<b>Wurzelkanalpräparation</b>	<b>203</b>
	Clemens Bargholz, David Sonntag, Christoph Zirkel	
<b>16</b>	<b>Spüllösungen und temporäre Wurzelkanaleinlagen</b>	<b>225</b>
	Matthias Zehnder, Silvio Lottanti	
<b>17</b>	<b>Spülzwischenfälle</b>	<b>235</b>
	Christian Gernhardt, Natalie Pütz, Bijan Vahedi, Michael Hülsmann	
<b>18</b>	<b>Temporärer Verschluss</b>	<b>245</b>
	Ralf Krug, Gabriel Krastl	



**19**

## **Wurzelkanalfüllung**

Martin Brüsehaber

**251**

**20**

## **Postendodontische Rekonstruktion**

Gabriel Krastl, Ralf Krug

**267**

**21**

## **Erfolg und Misserfolg**

Thomas Connert, Roland Weiger, Eva Magni

**285**

**22**

## **Revisionsbehandlungen**

Christian Krupp, Clemens Bargholz, Michael Hülsmann

**295**

**23**

## **Ersttherapie nach Frontzahntrauma**

Andreas Filippi, Gabriel Krastl

**311**

**24**

## **Endodontie und Allgemeingesundheit**

Edgar Schäfer, Michael Hülsmann

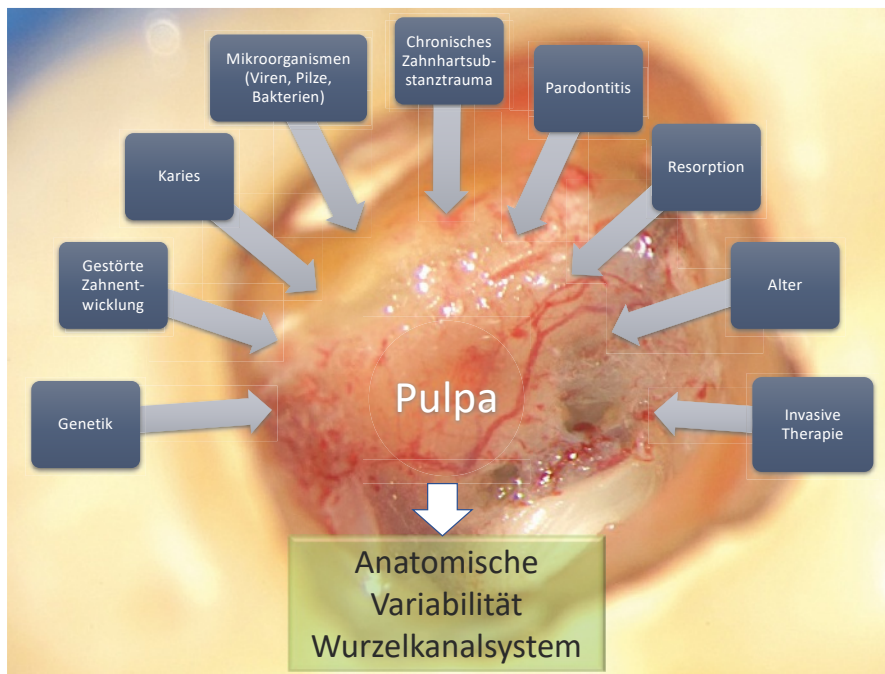
**331**



# Anatomie des Endodonts

Michael Arnold, Frank Paqué

*„Die Anatomie des Wurzelkanalsystems  
spiegelt die vitale Funktion der Pulpa wider.“*



**Abb. 1-1** Einflussfaktoren auf die Pulpa.

Die Anatomie des Wurzelskanalsystems ist das Ergebnis einer Kombination aus zwei Faktoren: einem genetisch vorherbestimmten Bauplan und den über die Mundhöhle einwirkenden externen Reizen. Die Analyse der Zahnanatomie hilft, Strategien für die Erweiterung und Füllung der Wurzelskanäle an die konkreten Bedingungen am Patienten anzupassen. Die Form des Wurzelskanalsystems und die Anzahl der Wurzelskanäle verändern sich im Lauf des Lebens.

„Normwerte“ zu Zahl und Verlauf der Wurzelskanäle haben bestenfalls einen orientierenden Charakter.

## Einflüsse der Zahnentwicklung auf die Anatomie des Wurzelskanalsystems

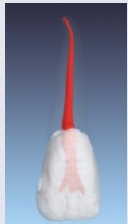
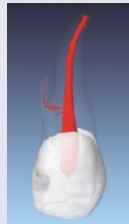
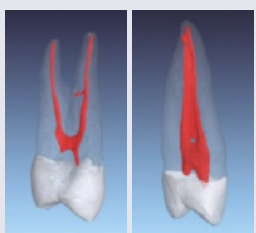

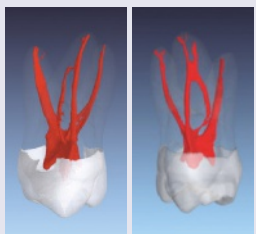

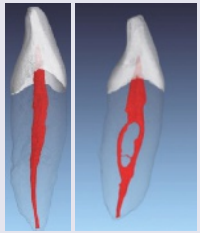
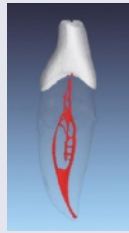

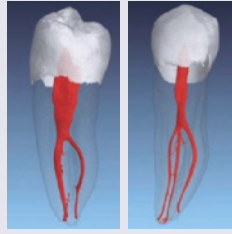
Ausgehend von der Lage und Form der Schmelzknoten orientieren sich die Odontoblasten an den

Ameloblasten, Zahnkrone und Wurzel bilden sich daran orientierend aus. Über die Hertwigsche Epithelscheide kommt es zur weiteren Differenzierung und Anordnung der Odontoblasten, die die weitere Form der Wurzel bestimmen. Genetische Defekte, Stoffwechselstörungen während der Zahnentwicklung, dentale Traumata oder Störungen des Zahnwechsels können Veränderungen der Anatomie, der Wurzeln und des Wurzelskanalsystems bewirken (Abb. 1-1).

## Wurzelskanäle und Wurzelskanalsystem

Auf Grundlage der radiologischen Diagnostik kann der Eindruck entstehen, dass innerhalb einer Wurzel einer oder mehrere röhrenförmige Wurzelskanäle vorliegen (Video 1-1 und 1-2). Transparente Präparate zeigen innerhalb einer Wurzel jedoch häufig ein Netzwerk von Wurzelskanälen in verschiedensten Formen (Tab. 1-1, Abb. 1-2, Video 1-3). Solange die Pulpa vital ist und die Odontoblasten erhalten geblieben sind, wird Dentinmatrix produziert und mineralisiert.

**Tab. 1-1** Häufigkeitsverteilungen der Anzahl von Wurzelkanälen und Variationen. Es ist sinnvoll, den Patienten die Anatomie des endodontischen Systems anhand solcher Abbildungen zu demonstrieren. So lässt sich das Verständnis für den Schwierigkeitsgrad und die Dauer der Behandlung verbessern.

Zahngruppe	Häufig		Selten		Mögliche Abweichungen
OK-Frontzahn	1		2		Mesiodens Invagination Evagination Gemination Furche Dilazeration
OK-Prämolar	1 bis 2		3		Invagination Evagination
OK-Molar	4		1 bis 7		Pfahlwurzel c-förmiger Kanalquerschnitt
UK-Frontzahn	1 bis 2		3		Dilazeration
UK-Prämolar	1		2 bis 3		Evagination Furche c-förmig





**Tab. 1-1 (Fortsetzung)** Häufigkeitsverteilungen der Anzahl von Wurzelkanälen und Variationen. Es ist sinnvoll, den Patienten die Anatomie des endodontischen Systems anhand solcher Abbildungen zu demonstrieren. So lässt sich das Verständnis für den Schwierigkeitsgrad und die Dauer der Behandlung verbessern.

Zahngruppe	Häufig		Selten		Mögliche Abweichungen
UK-Molar	3 bis 4		1 bis 6		Radix ento- oder paramo- laris Pfahlwurzel c-förmiger Kanalquerschnitt

OK: Oberkiefer, UK: Unterkiefer.



**Abb. 1-2** Transparentes Präparat des Zahnes 16 mit angefärbtem, stark verzweigtem Wurzelkanalsystem (Bild: Holm Reuver).



**Video 1-1** 3-D-Animation eines Oberkiefermolaren (Ove Peters).



**Video 1-2** 3-D-Darstellung des Wurzelkanalsystems (Frank Paqué).

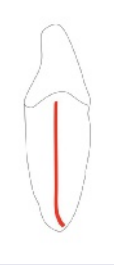
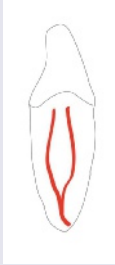
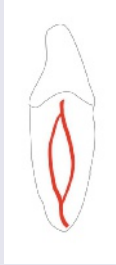







**Video 1-3** 3-D-Darstellung eines transparenten Zahnes (Holm Reuver).

Mit der fortschreitenden Bildung von Dentin verengen sich die Pulpakammer und das Wurzelkanalsystem, primär von koronal nach apikal.

Die Sensibilitätsprüfung kann bei der fortschreitenden Produktion von Sekundär- und Tertiärdentin

**Tab. 1-2** Einteilung des Wurzelkanalverlaufs nach Vertucci

Typ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Verlauf	1-1	2-1	1-2-1	2-2	1-2	2-1-2	1-2-1-2	3-3
								

ein negatives Testergebnis erbringen, wenn der Reiz aufgrund zu dicker Dentinschichten die Pulpa nicht mehr erreicht. Es können jedoch trotz fehlender Sensibilität im mittleren und apikalen Wurzeldrittel Anteile der vitalen Pulpa – und damit auch von Wurzelkanälen – erhalten bleiben.

Innerhalb der Pulpa können sich zusätzlich mineralisierte, dentinähnliche Gewebe bilden, die Pulpasteine oder Dentikel. Diese tragen ebenfalls zur Einengung der Pulpakammer und der Wurzelkanäle bei.

Mit dem Verlust der Pulpavitalität durch Trauma oder irreversible Entzündung endet die Differenzierung des Wurzelkanalsystems.

## Klassifikation

Um unterschiedliche Wurzelkanalsysteme zu vergleichen und Therapiestrategien zu entwickeln, wurden verschiedene Klassifikationen vorgeschlagen.

Eine einfache und sehr verbreitete Klassifikation nach Vertucci unterscheidet prinzipiell acht Arten von Wurzelkanalverläufen, sodass eine schnelle Orientierung gelingt (Tab. 1-2).

Mit dieser Klassifikation lassen sich jedoch viele anatomische Formvarianten nicht hinreichend dokumentieren. Die neuere Klassifikation nach Ahmed et al. ermöglicht die Beschreibung einer größeren Variabilität in der Anatomie sowie morphologischer Besonderheiten.

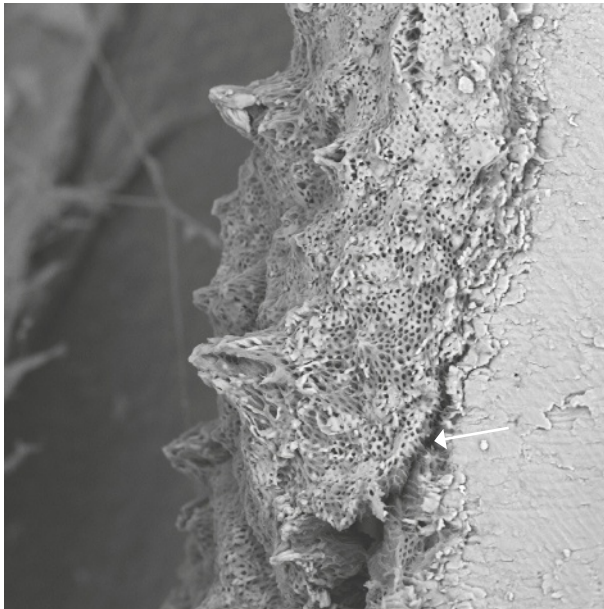
## Dentinarten

### Primär- und Sekundärdentin

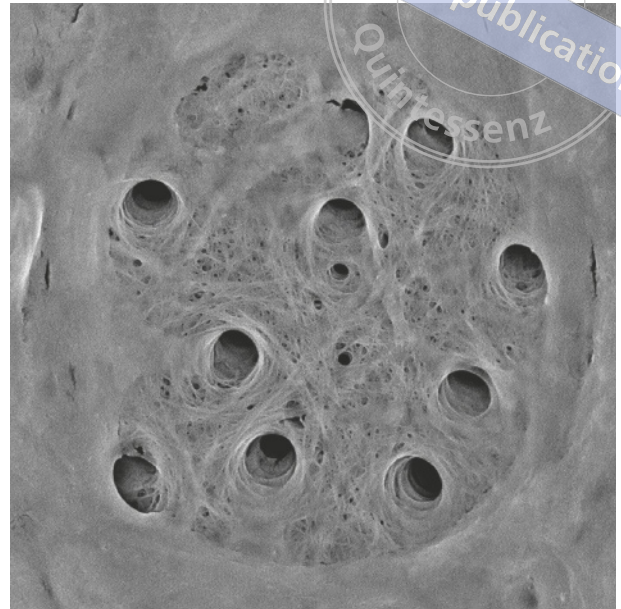
Die Dentinmatrix im Prädentin besteht zu großen Anteilen aus Kollagen Typ I, das zunehmend mineralisiert wird (Abb. 1-3). Die Odontoblasten verfügen über einen bis zu 5 mm langen zytoplasmatischen Fortsatz mit einem Durchmesser von etwa 3 bis 5  $\mu\text{m}$  (Abb. 1-4). Mit der zunehmenden Dentinbildung und Alterung ziehen sich die Fortsätze zurück und es bleiben teilweise mineralisierte und größtenteils offene Tubuli zurück, die von Mikroorganismen penetriert werden können. Als Ergebnis der Dentinproduktion werden die Pulpakammer und die Wurzelkanäle verengt.

Innerhalb einer Wurzel finden sich häufig mehrere Wurzelkanäle mit unterschiedlichen Verlaufsrichtungen. Wurzeleinziehungen scheinen hier eine wesentliche Grundlage für die interne Differenzierung von einem zu mehreren Wurzelkanälen zu sein. Mit der Annäherung der gegenüberliegenden Odontoblasten kommt es unter Mitwirkung von Fibroblasten zur Ausbildung von Dentinbrücken.

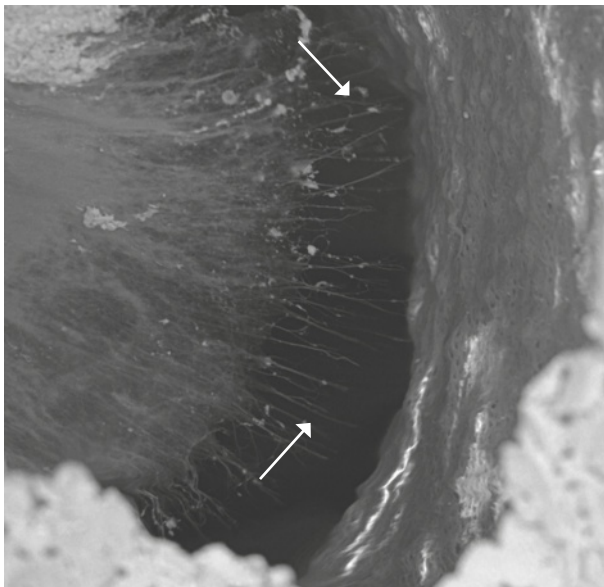
Mehrere in einer Wurzel befindliche Kanäle haben in der Regel Verbindungen und Anastomo-



**Abb. 1-3a** Übergang vom Prädentin zum Dentin (Pfeil). Das Prädentin ist gering mineralisiert, weist einen höheren Anteil organischer Bestandteile auf und kann von Bakterien für den Stoffwechsel genutzt werden. REM-Aufnahme, 940-fach vergrößert.



**Abb. 1-3b** Prädentin mit zahlreichen Kollagenfasern, REM-Aufnahme, 7000-fach vergrößert.

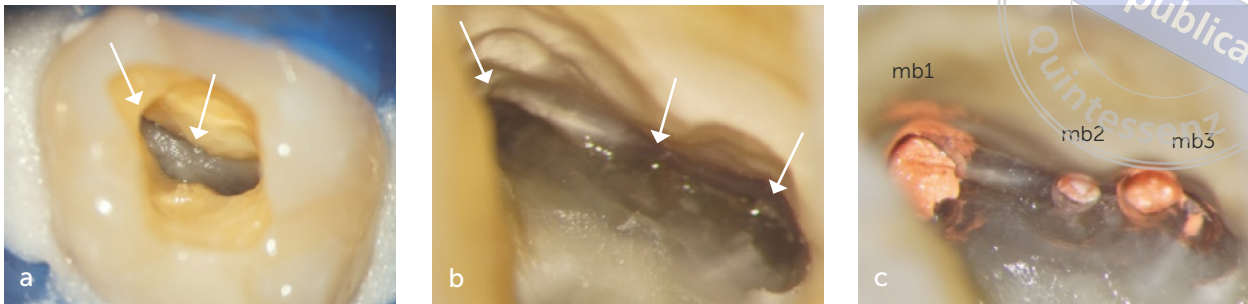


**Abb. 1-4** Durch Trocknungsverfahren gelingt es, die Pulpa so zu schrumpfen, dass die Odontoblastenfortsätze aus den Dentintubuli gezogen werden (Pfeile).

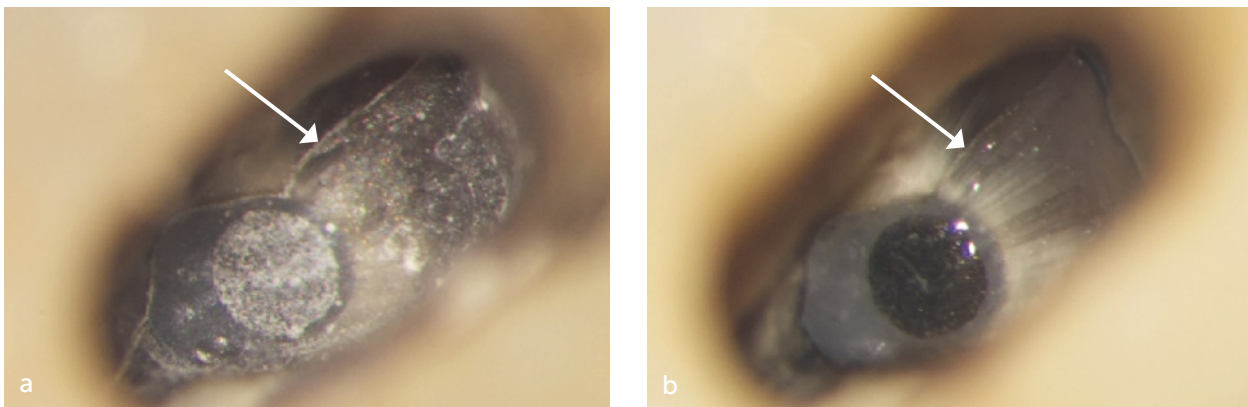
sen, sie sollten daher immer als ein Kanalsystem betrachtet werden.

Sowohl Dentinkanälchen als auch das zirkumpulpare Dentin werden mit zunehmendem Alter stärker mineralisiert und dabei teilweise mit kristallinen Ablagerungen verschlossen. Dieses Dentin verliert zusehends an Flexibilität und wird bei Überlastung fraktur anfällig.

Mit der zunehmenden Mineralisation entstehen für Mikroorganismen undurchdringliche Areale sklerotischen, transparenten Dentins. Der Prozess der Sklerosierung beginnt koronal und an der Peripherie des Wurzel dentins und schreitet in Richtung Pulpa fort. Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul unterliegen damit einer kontinuierlichen Veränderung.



**Abb. 1-5** (a) Primäre Zugangskavität am Zahn 26. Sekundärdentin überlagert die Wurzelkanaleingänge (Pfeile). (b) Nach dem minimalinvasiven Abtrag des Sekundärdentins werden mesiobukkal und distobukkal mehrere Wurzelkanäle sichtbar (Pfeile). (c) Proportional zur Ausgangsgröße adäquate Erweiterung und Verschluss der mesiobukkalen Wurzelkanäle mb1–mb3.



**Abb. 1-6** In der Gegenüberstellung von trockenem (a) und feuchtem (b) Dentin lässt sich der Verlauf von Dentinkanälen deutlich besser erkennen. Ein Dentinriss (Pfeil) lässt sich in Richtung Wurzelkanal differenzieren.

Nach dem Zahndurchbruch wird die Pulpa-kammer durch die Produktion von Sekundärdentin vor allem in mesio-distaler Richtung eingeengt, wobei die ursprünglichen Kanäleingänge von Dentin überwachsen werden. Dieses Sekundärdentin erschwert das Auffinden der Wurzelkanaleingänge und muss unter starker Vergrößerung kontrolliert abgetragen werden, bis alle Eingänge dargestellt sind (Abb. 1-5).

### Tertiärdentin oder irreguläres Sekundärdentin

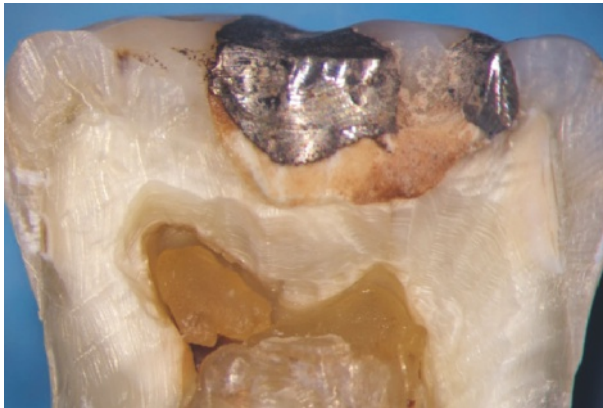
Mit dem Begriff „Tertiärdentin“ werden verschiedene Hartgewebeneubildungen bezeichnet. Es handelt sich dabei um ein Gewebe, das als Folge eines exter-

nen Reizes, wie z. B. Karies oder eines chronischen oder akuten Zahnhartsubstanztraumas, gebildet werden kann. Während der Reizeinwirkung kann die Funktion der Odontoblasten gestört werden, sodass unterschiedlich mineralisierte Gewebeschichten entstehen.

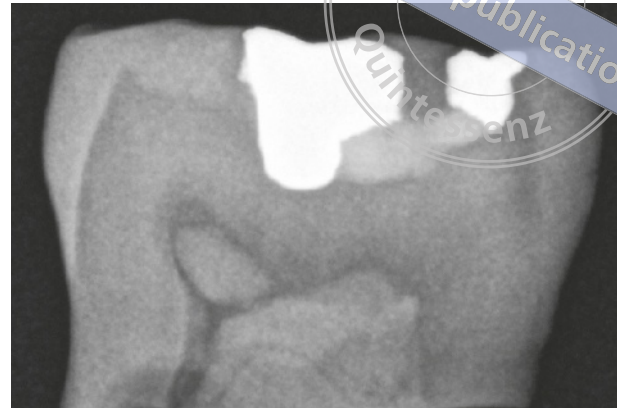
Wurzelkanäle können teilweise homogen durch transparentes, atubuläres Hartgewebe verengt oder sogar verschlossen sein.

Die exakte Lage kalzifizierter Wurzelkanäle zu identifizieren, gelingt im Wechsel von getrocknetem zu feuchtem Dentin, sodass die Umrisse und teilweise auch der Verlauf der Dentinkanälen durch unterschiedliche Lichtreflexion gut zu erkennen sind (Abb. 1-6).





**Abb. 1-7a** Schliffpräparat eines Unterkiefermolaren mit freigelegten Dentikeln, die nahezu die gesamte Pulpakammer ausfüllen.



**Abb. 1-7b** Auf der Röntgenaufnahme erscheinen die Dentikel als kalzifizierte Strukturen.

Die streifenartig erscheinenden Dentintubuli, die sich von der äußersten Begrenzung der Wurzel bis zum Kanal ziehen, weisen den Weg zum Kanal (Abb. 1-6).

## Dentikel

Als Pulpasteine bzw. Dentikel werden Hartgewebestrukturen bezeichnet, die unterschiedlich dimensioniert, kalzifiziert, frei innerhalb der Pulpa lokalisiert oder adhärent mit der Wurzelkanalwand oder dem Pulpakammerboden verbunden sind. Sie erscheinen meist bernsteinfarben und leicht transluzent (Abb. 1-7). Mit fortschreitender Größe werden die Dentikel radiologisch besser nachweisbar, da ihr Volumen bei vitaler Pulpa stetig zunimmt.

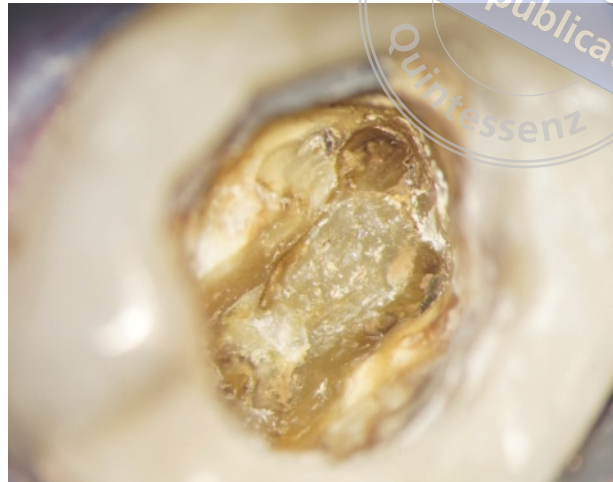
Die meist von Pulpagewebe umgebenen Dentikel lassen sich unter Vergrößerung und Licht sehr gut vom Sekundärdentin differenzieren.

Ihre Farbe, die inhomogene Struktur und der Spalt zum Sekundärdentin ermöglichen es, die Dentikel vollständig zu entfernen, sodass überlagerte Wurzelkanaleingänge auffindbar sind (Abb. 1-8). Dentikel verfügen häufig über eine etwas geringere Härte als reguläres Dentin, was während der Entfernung mitunter hilfreich sein kann. Eine vollständige Entfernung empfiehlt sich immer, da der Anlass für eine Wurzelkanalbehandlung in der Regel eine Infektion sämtlicher Hohlräume des Endodonts ist. Auch kleinste Anteile nekrotischen Pulpagewebes unterhalb und neben Dentikeln können pathogene Mikroorganismen als Substrat für ihren Stoffwechsel nutzen (Abb. 1-9 bis 1-11).

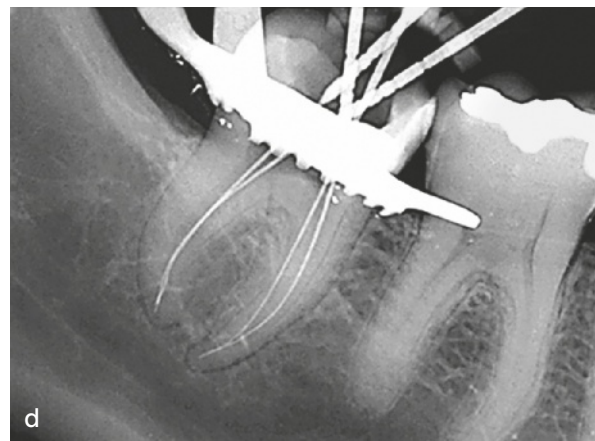
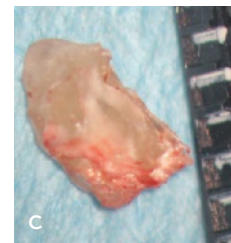
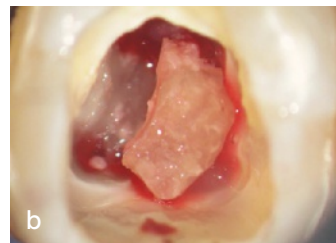
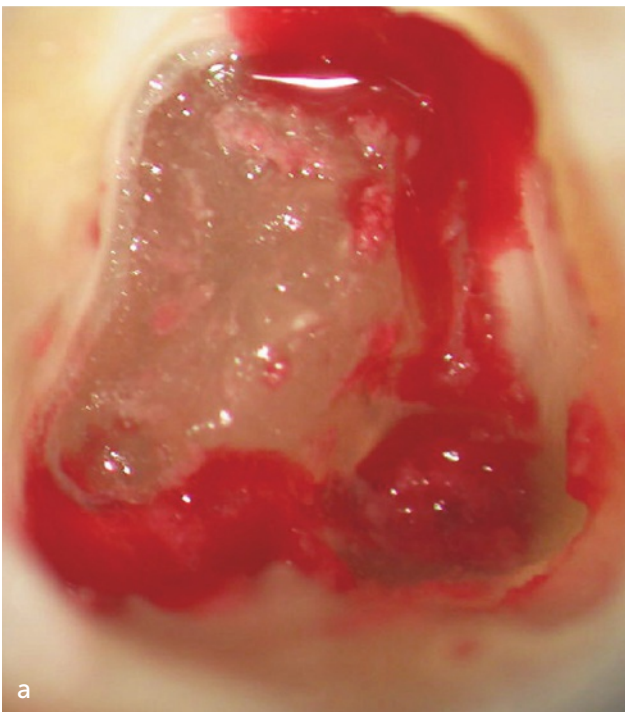
Auch nach der vollständigen Entfernung von freien oder adhären Dentikeln bleibt die Stabilität des endodontisch behandelten Zahnes erhalten.



**Abb. 1-8a** Endodontische Zugangskavität am Zahn 26 mit amorphem dystrophischem Hartgewebe am Pulpakammerboden. Gewebeeinschlüsse am Rand markieren bereits die Begrenzung.

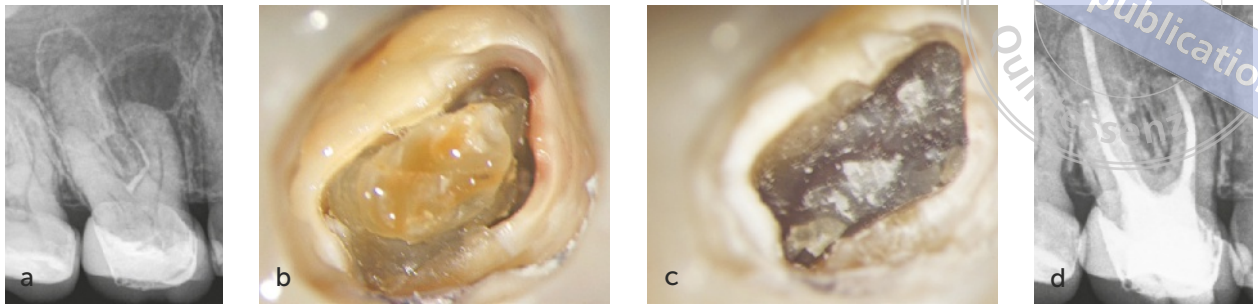


**Abb. 1-8b** Die Präparation erfolgt von außen und beginnt damit, die Dentinflächen zu glätten, um die Differenzierung zu erleichtern. Gewebeeinschlüsse markieren Wurzelkanaleingänge und Isthmen: mb1: tropfenförmig, mb2: bandförmig, db: sichelförmig, palatinal: rundlich.

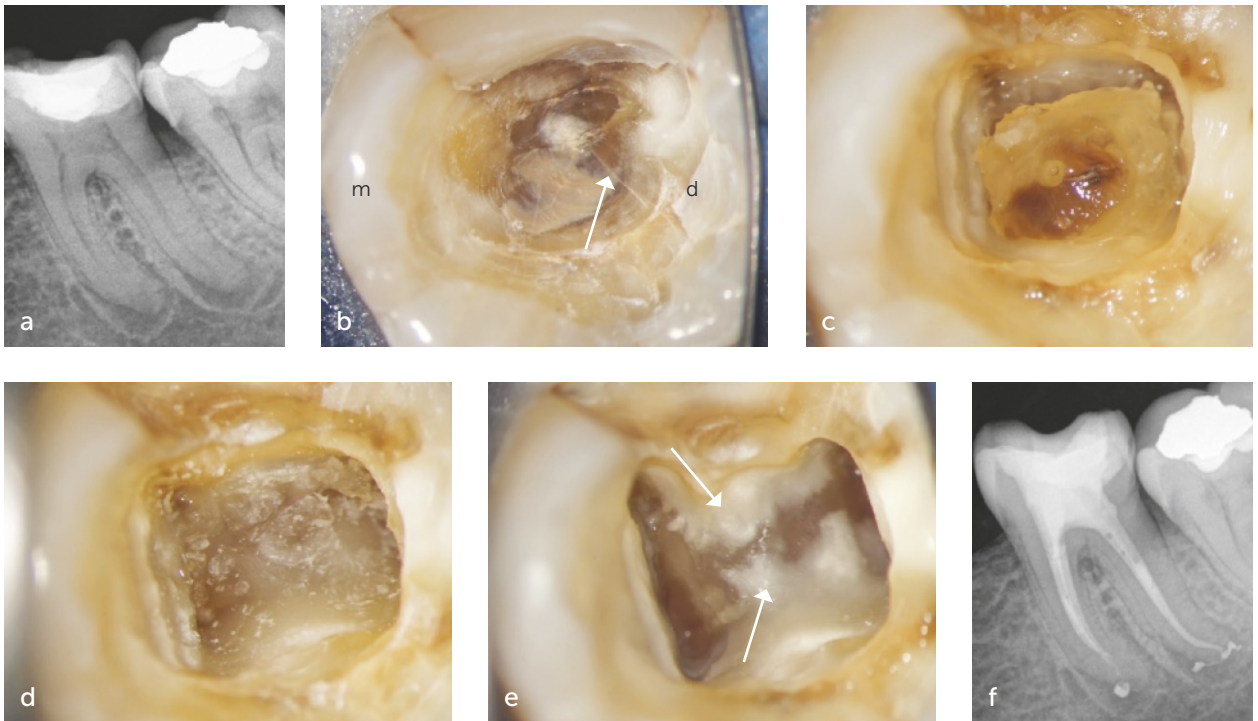


**Abb. 1-9** Beim Versuch der Vitalexstirpation blockiert ein Dentikel den Zugang zum Wurzelkanalsystem. **(a)** Das bernsteinfarbene Hartgewebe wird umschlossen von blutendem Pulpagewebe. **(b)** Nach Freilegung und Luxation wird der dunkle Pulpakammerboden sichtbar. **(c)** Am entfernten Dentikel haften Weichgewebereste an. **(d)** Nach der vollständigen Entfernung des Dentikels gelingt die Darstellung von vier Wurzelkanälen mit einer Röntgenmessaufnahme.

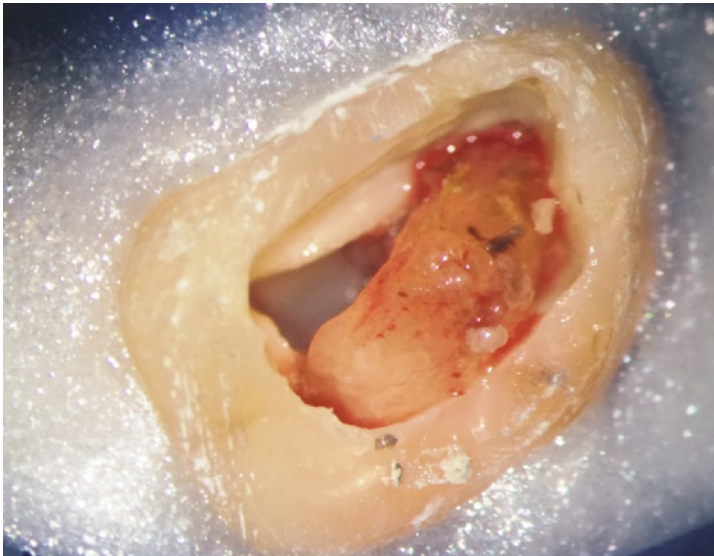




**Abb. 1-10** (a) Die Pulpakammer am Zahn 16 ist nur noch in der Umrissform zu erkennen. Die Kammer selbst ist mit dentindichtem Gewebe gefüllt. (b) Mit einem diamantierten Utrashallansatz gelingt es, den Spalt zwischen Sekundärdentin und Dentikel zu erweitern, um das Hartgewebe zu luxieren. (c) Nach der Entfernung des Dentikels ist der Pulpakammerboden mit dem transparenten Dentin und einzelnen restlichen Gewebeauflagerungen zu erkennen. (d) 6 Monate nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung. Die apikalen Aufhellungen sind bereits deutlich verkleinert.



**Abb. 1-11** (a) Die Pulpakammer am Zahn 36 mit apikaler Aufhellung ist mit einem dentindichten Gewebe gefüllt. (b) Nach Entfernung der Füllungsmaterialien werden Dentinrisse (Pfeil) bis in die Pulpakammer sichtbar (m: mesial, d: distal). (c) Die zirkumferente Freilegung des bernsteinfarbenen Dentikels ermöglicht das Luxieren mit einem Scaler. (d) Verbliebene Gewebereste am Pulpakammerboden werden mit einem Langschaft-Rosenbohrer abgetragen. (e) Nach der vertiefenden Präparation der mesialen und distalen Wurzelkanaleingänge und einer ultraschallaktivierten Reinigung und Desinfektion ist der Pulpakammerboden mit lateralen Anteilen des Sekundärdentins (Pfeile) gut zu erkennen. (f) Röntgenkontrolle nach abgeschlossener Behandlung.



**Abb. 1-12a** In der Pulpakammer ist ein kompaktes, teilweise von Pulpagewebe eingeschlossenes mineralisiertes Gewebe mit der palatinal fibrosierten Pulpa vorhanden.



**Abb. 1-12b** Das in weiten Teilen fibrosierte Gewebe konnte in einem Stück entfernt werden.

## Kalzifikationen und Reparaturgewebe der Pulpa

Kalzifikationen können dann auftreten, wenn Pulpagewebe verletzt wird und Odontoblasten durch Apoptose oder mechanische Verletzungen zerstört werden. Kalzifikationen der Pulpa können als Folge eines dentalen Traumas, einer chemischen Irritation, einer mikrobiellen Penetration des Dentins nach Karies oder marginaler Parodontitis entstehen. Die traumatische Schädigung der Pulpa kann zu einer farblich dem Dentin ähnlichen amorphen Hartgewebekonstruktion führen, die den Wurzelkanal zunehmend von koronal nach apikal verschließen kann (Abb. 1-12).

Klinisch lässt sich das Hartgewebe immer durch eine Farbdifferenzierung zwischen Sekundärdentin und reparativem Hartgewebe erkennen. Mit einem Rosenbohrer unter vergrößerter Sicht kann es bei trockener Präparation sicher entfernt werden. Um die einzelnen Dentinstrukturen zu differenzieren und Wurzelkanaleingänge aufzufinden, sollten unterschiedliche Feuchtigkeitszustände, variable Vergrößerungen und gute Ausleuchtung genutzt werden.

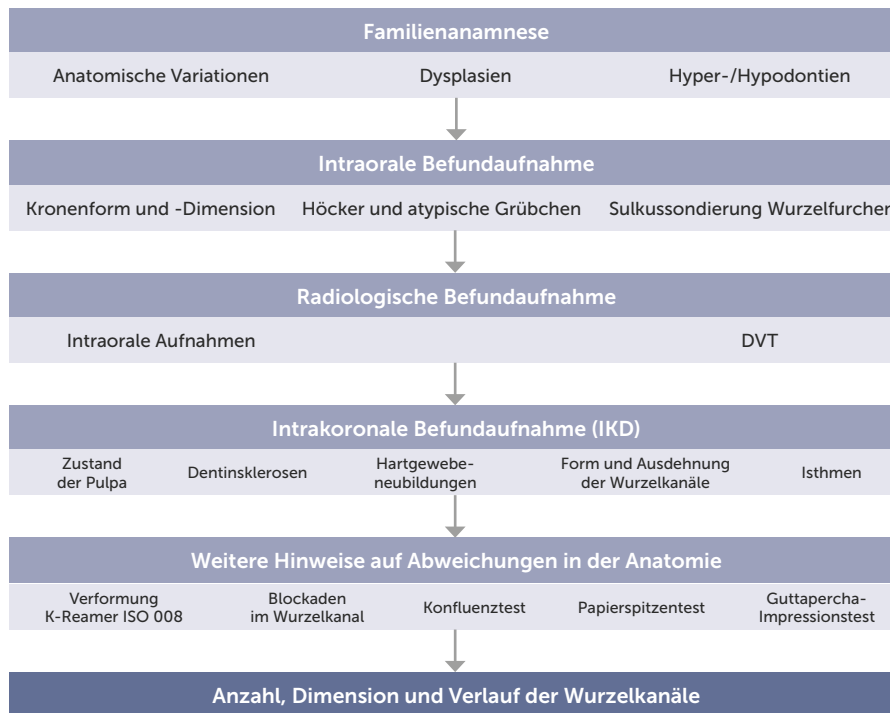
## Systematische Analyse der Anatomie des Wurzelkanalsystems

Vor Beginn einer Wurzelkanalbehandlung empfiehlt es sich, den zu behandelnden Zahn genau zu analysieren, das Problem zu identifizieren und eine Strategie zur Lösung zu erarbeiten (Flussdiagramm 1-1).

### Erkunden von Form und Umriss der Zahnkrone

Die äußere Kronenform auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze entspricht der Umrissform der Pulpakammer. Das präoperative zirkuläre Ausasten der Wurzelform mit einer Parodontalsonde kann wichtige Hinweise auf die zu erwartende Wurzelform geben.

Tiefe Grübchen und Fissuren an Oberkiefer-Schneidezähnen können erste äußere Zeichen für eine



**Abb. 1-13a** Grübchen oder Fissuren sind Hinweise auf eine mögliche Invagination des äußeren Schmelzepithels (Pfeile).



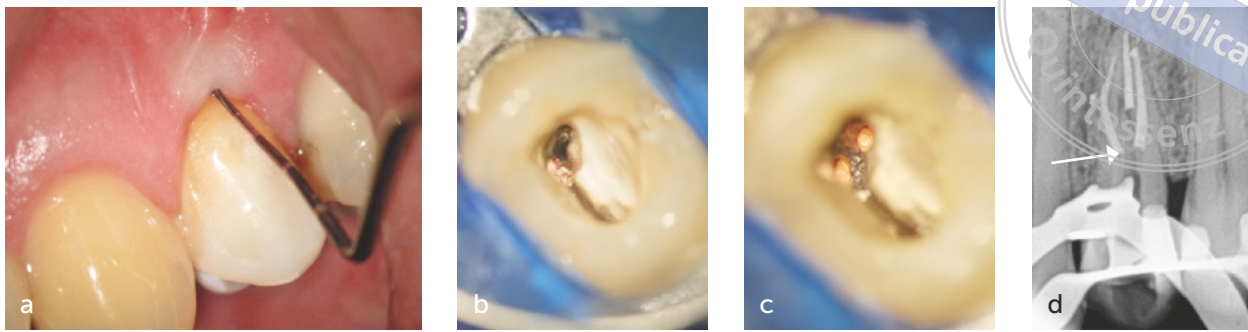
**Abb. 1-13b** Die für Bakterien offene Passage am Foramen caecum ermöglicht eine Infektion der Pulpa allein durch die räumliche Nähe der infizierten Invagination.

Invagination oder Furchenbildung mit oder ohne Wurzelteilung sein (Abb. 1-13).

Eine leicht subgingivale bukkale Einziehung bei oberen Prämolaren ist häufig ein Zeichen für eine Wurzel mit drei Wurzelkanälen (Abb. 1-14).

Bei ersten oder zweiten Oberkiefermolaren mit einer verkürzten mesio-distalen Distanz der Krone (Abflachung) finden sich häufiger Fusionen zwischen der mesiobukkalen und palatinalen Wurzel oder der distobukkalen und palatinalen Wurzel. In diesen im



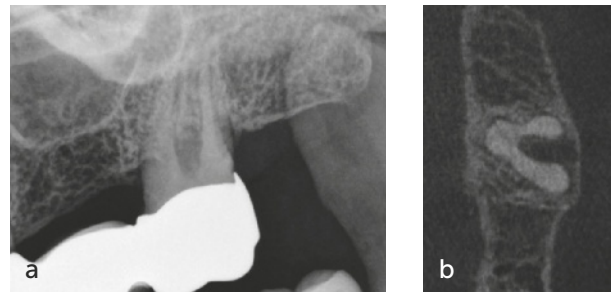


**Abb. 1-14** (a) Am Zahn 24 besteht der Verdacht auf eine unvollständige Wurzelkanalbehandlung. (b) Mit der Parodontalsonde lässt sich eine Einziehung auf der bukkalen Wurzeloberfläche am Zahn 24 sondieren. (c) Bei der intrakoronären Diagnostik wird um die bukkale Wurzelfüllung ein amorphes Hartgewebe sichtbar, der Pulpakammerboden wurde noch nicht erreicht. (d) Die Aufteilung der bukkalen Wurzelkanäle liegt 4 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze (Pfeil). Der Seitenkanal korrespondiert mit der lateralen Aufhellung (POE).

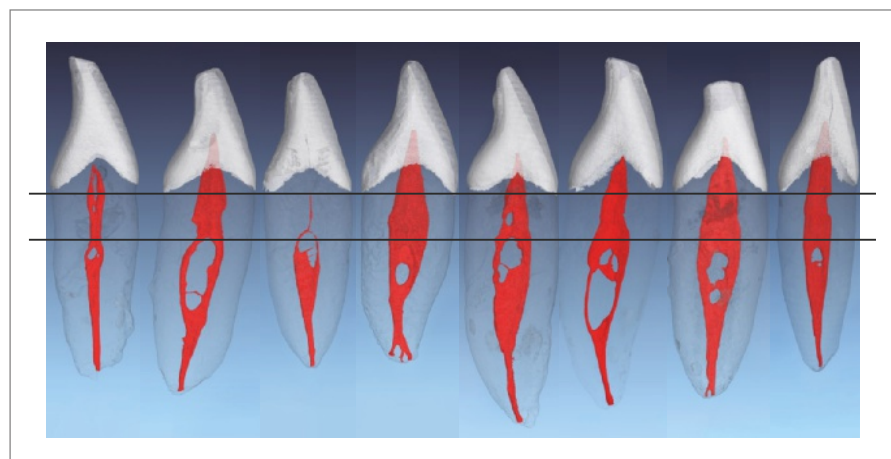
Querschnitt länglichen Wurzeln finden sich meist drei oder vier grazile Wurzelkanäle, oft verbunden durch feine horizontale Strukturen (Abb. 1-15).

Zwei Wurzelkanäle sind bei Unterkiefer-Schneidezähnen häufig und bei Unterkiefer-Eckzähnen selten zu erwarten. Die Aufteilung in zwei Kanäle lässt sich jedoch erst 3 bis 4 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze sondieren, sodass die lingualen Wurzelkanäle häufig nicht aufgefunden werden (Abb. 1-16).

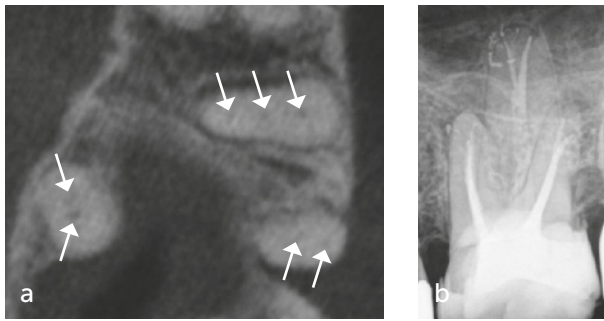
Mit der Überkronung der Zähne gehen wichtige Informationen zur Position und Dimension verloren.



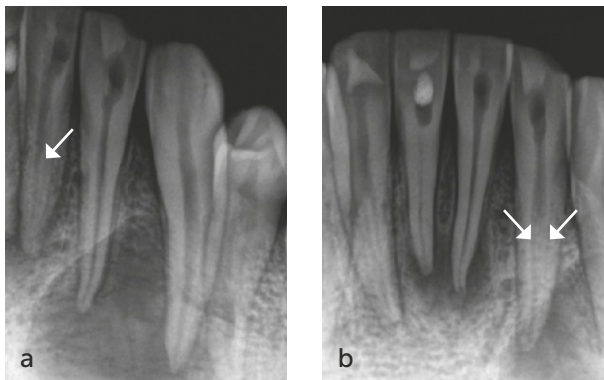
**Abb. 1-15** (a) Die intraorale Röntgenaufnahme des Zahnes 27 lässt einen dreiwurzeligen Molaren vermuten. (b) In der axialen Rekonstruktion einer DVT-Aufnahme ist eine Fusion der Wurzeln mit dünnen, frakturanfälligen Wurzelbändern zu erkennen.



**Abb. 1-16** Eine Auswahl unterschiedlich dimensionierter Unterkiefer-Schneidezähne verschiedenen Alters ermöglicht nach Micro-CT-Aufnahme und farblicher Markierung die Analyse der tiefen Aufteilungen.



**Abb. 1-17** (a) Die komplexe Anatomie des Zahnes 26 ließ sich in der axialen Ebene der DVT-Aufnahme rechtzeitig erkennen. Sieben zum Teil stark verengte, aber infizierte Wurzelkanäle konnten differenziert werden. (b) Ohne erhöhten Substanzabtrag gelang es, alle Wurzelkanäle vollständig zu verschließen.



**Abb. 1-18** (a) Distalexzentrische Projektion. Am Zahn 31 kann ein unbehandelter zweiter Wurzelkanal vermutet werden (Pfeil). Am Zahn 32 entsteht der Eindruck, dass lediglich ein Wurzelkanal vorliegt. (b) In veränderter mesialer Projektion gelingt es am Zahn 32, eine tiefe Wurzelkanalaufteilung nachzuweisen (Pfeile).

## Radiologische Diagnostik

Die radiologische Diagnostik mit der digitalen Volumentomografie (DVT) ermöglicht es, anatomische Besonderheiten frühzeitig zu erkennen. So können in der axialen und frontalen Rekonstruktionsebene aus der äußeren Umrissform der Wurzel auch kleinste Wurzelkanäle und ihr Verlauf ermittelt werden. In Bezug auf die Zahnanatomie liegt die Bedeutung der DVT-Aufnahme vor allem darin, dass sie das Auffinden tief abzweigender Wurzelkanäle ermöglicht (Abb. 1-17).

Ist die Anfertigung einer DVT-Aufnahme nicht indiziert oder nicht möglich, können exzentrische Röntgenaufnahmen besser als eine orthoradiale Aufnahme wichtige anatomische Details wiedergeben (Abb. 1-18).

## Intrakoronale und intrakanaläre Befundaufnahme und Diagnostik (IKD)

Nach der Präparation der primären endodontischen Zugangskavität folgen die Darstellung von Wurzelkanaleingängen und die Freilegung von Isthmen (sekundäre Zugangskavität). Damit lassen sich während der Präparation noch vor Beginn der Wurzelkanalinstrumentierung weitere wichtige Informationen zur tatsächlichen Anatomie ermitteln. Dabei erfolgt die Freilegung der häufig unter Sekundärdentin verdeckt liegenden Wurzelkanäle in trockener Präparation mit speziellen, überlangen Rosenbohrern in absteigender Größe von ISO 012 bis 005.

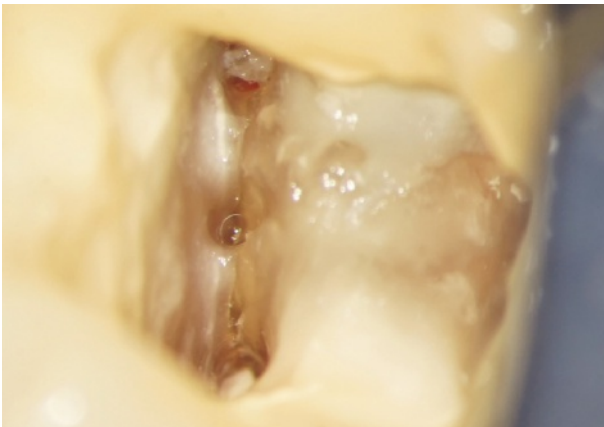
Bei ausreichender Sicht kann der Pulpakammerboden von Kalzifikationen der Pulpa und Dentikeln differenziert werden. Sekundärdentinüberhänge lassen sich erkennen und bei Bedarf abtragen.

Nach Abschluss der Präparation können die genaue Anzahl der Wurzelkanäle, Isthmen und auch pathologische Befunde einfacher und genauer ermittelt werden (Abb. 1-19).

## Weitere Möglichkeiten zur Ermittlung der Anatomie

### Wurzelkanalkrümmungen: Winkel und Radian

Nach einer initialen Desinfektion der Zugangskavität mit NaOCl-Lösung können die freigelegten Wurzelkanäle im feuchten Milieu mit einer K-Feile oder einem K-Reamer in der Größe ISO 008 in 90°-Rechts-links-Bewegung sondiert werden. Er tasten und Sondieren liefern zusätzliche Informationen zur Krümmung der Wurzelkanäle und zu intrakanalären Blockaden oder tiefen Aufzweigungen. Die plastische Verformung des Instrumentes zeichnet den Wurzelkanalverlauf nach und lässt Rückschlüs-



**Abb. 1-19** Die Anatomie erster Unterkiefermolaren lässt häufig mesial zwei Wurzelkanäle erwarten. Im Verlauf der intrakoronaren Diagnostik (IKD) wurden im Zahn 36 mesial drei Wurzelkanäle dargestellt.



**Abb. 1-20** (a) Am Zahn 15 wurden zwei Wurzelkanäle gefüllt. Die Blockade im mittleren Wurzeldrittel des palatinalen Wurzelkanals lässt auf eine abrupte Kanalkrümmung schließen. Die Breite der Wurzel und die Lage des bukkalen Wurzelkanals erhärten den Verdacht auf einen Kanalabzweig, der unbehandelt geblieben ist. (b) Nach einer Teilentfernung der bukkalen Wurzelfüllung gelingt es, die Aufteilung mit vorgebogenen Instrumenten zu erschließen und schließlich zu füllen.


se auf die Lage einer starken Krümmung, den Krümmungsradius oder auch Mehrfachkrümmungen zu.

Plötzliche Blockaden im Wurzelkanal können auf eine Aufteilung, eine starke Krümmung mit engem Radius oder auch auf einen Dentikel oder eine artifizielle Stufenpräparation hinweisen (Abb. 1-20).

### Isthmen und konfluierende Kanäle

Wurzelkanäle, die sich im apikalen Verlauf wieder vereinigen (Typ II nach Vertucci), erhöhen das Frakturrisiko für Wurzelkanalinstrumente. Hilfreich ist die Nutzung einer Mikroabsaugung bzw. die Aspiration von NaOCl mit der Spülkanüle. Auf diese Weise kann mit der Absaugung der Spülflüssigkeit in einem Kanal der gleichzeitige Abfluss im zweiten Wurzelkanal beobachtet werden (Video 1-4). Ein Zusammenlaufen der Kanäle ist in solch einem Fall sehr wahrscheinlich, wenngleich bei freigespülten Isthmen der gleiche Effekt auftritt.

Nach einer Wurzelkanalerweiterung bis ISO 25.04 kann die genaue Lage der Konfluenz ermittelt werden. Dazu wird in den einen Wurzelkanal ein Guttaperchastift eingelegt und über den angrenzenden



**Video 1-4** Konfluenz.

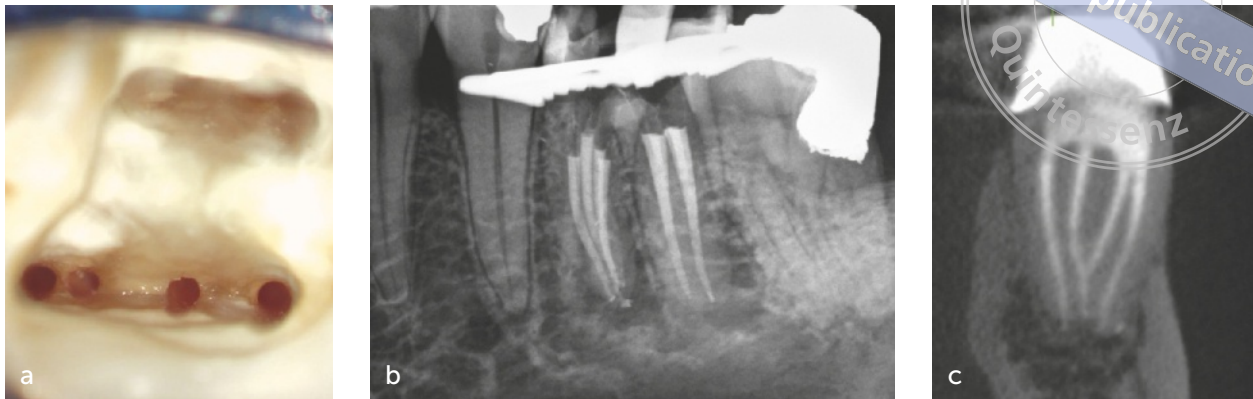
Wurzelkanal ein Handinstrument so weit vorgeschoben, bis der Guttaperchastift eine Einprägung aufweist. Anhand der Längenmarkierung vom koronalen Referenzpunkt aus kann dann die genaue Lage der Konfluenz gemessen werden.

Vereinigen sich innerhalb einer Wurzel zwei Wurzelkanäle bereits im mittleren Wurzeldrittel, besteht die Möglichkeit einer erneuten, weiter apikal lokalisierten Aufteilung vom Typ VI nach Vertucci.

### Abzweigungen und Aufteilungen

Abzweigungen vom Hauptkanal können meist erst nach vollständiger Erweiterung erkannt werden, da die Instrumente immer dem geradlinigen Weg folgen und eine Sicht in den Wurzelkanal zu Beginn





**Abb. 1-21** (a) Variable, von der häufigen Anatomie abweichende Verläufe von vier Wurzelkanälen innerhalb der mesialen Wurzel des Zahnes 36. Ansicht der vier minimalinvasiv erweiterten Wurzelkanäle in der mesialen Wurzel. (b) Röntgenkontrolle mit insgesamt sechs gefüllten Wurzelkanälen. (c) DVT-Ausschnitt der mesialen Wurzel in frontaler Rekonstruktionsebene.

der Behandlung selten möglich ist. Nach der Erweiterung, Reinigung und Desinfektion werden die Wurzelkanalwände in Richtung der größten Ausdehnung mit einem Micro-Opener abgetastet. Laterale Blutungspunkte nach Vitalexstirpation oder seitlicher Feuchtigkeitsaustritt, der sich auf einer Papierspitze abbildet, sind häufig Hinweise auf einen Abzweig vom Typ V nach Vertucci.

Von einem Seitenkanal ausgehende Blutungspunkte auf einer Papierspitze erfordern meist keine zwingende mechanische Erweiterung, da sie in diesem Fall als nicht infiziert gelten. Große Seitenkanäle im infizierten Wurzelkanalsystem können jedoch aufgrund eines Biofilms die Ursache für eine fortbestehende endodontische Infektion sein.

Innerhalb einer Wurzel können sich Kanäle mehrfach teilen. Sie entsprechen den Vertucci-Klassifikationen III, VI und VII. Die Aufteilungen sind besonders häufig in mesiobukkalen Wurzeln von Oberkiefermolaren, zweiten Oberkieferprämolaren, Unterkiefer-Schneide- und -Eckzähnen, ersten Unterkieferprämolaren und ersten Unterkiefermolaren zu finden (Abb. 1-21). Verdächtig sind hier auffallend kräftige Wurzeln mit ungewöhnlich kleinen Wurzelkanaleingängen. Mit der vertiefenden Präparation in Richtung der größten Wurzel ausdehnung in bucco-oraler Richtung können etwa 2 bis 3 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze die meisten Aufteilungen

mit einem leicht vorgebogenen Micro-Opener sondiert werden.

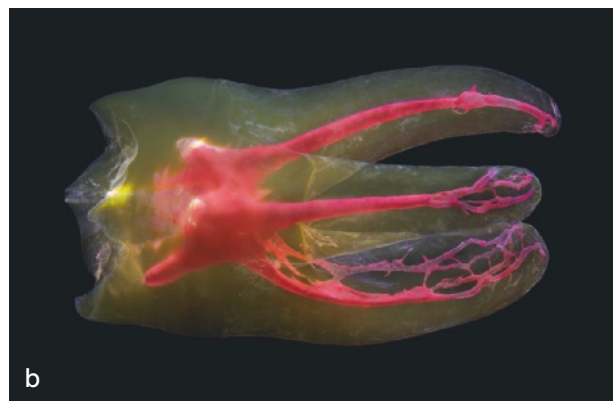
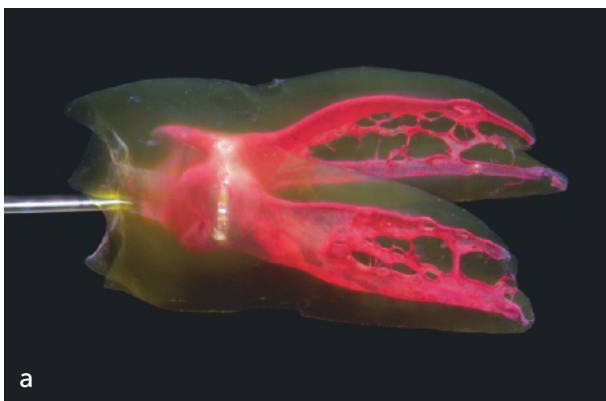
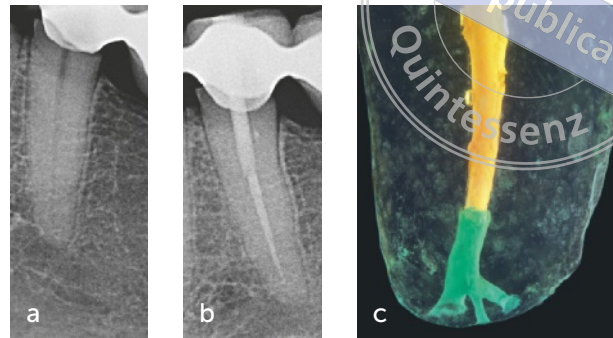
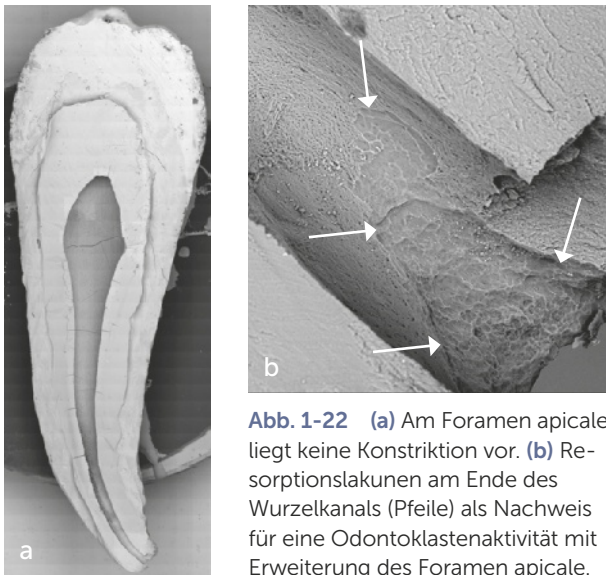
### Apikale Dimension und apikale Ramifikationen

Der größte Durchmesser des apikalen Wurzelkanals hat für die endodontische Therapie eine große Bedeutung, die zumeist erheblich unterschätzt wird.

Der kleinste Durchmesser der ovalen apikalen Foramina kann genutzt werden, um die Weite der mechanischen Präparation festzulegen sowie um auszuwählen, welches Wurzelfüllmaterial in welcher Art vorhersagbar eingebracht werden kann.

Nur selten kann histologisch eine apikale Konstriktion nachgewiesen werden, daher hat der Begriff keine Bedeutung für eine klinische Therapiemaßnahme.

Die apikale Kanalanatomie verändert sich zudem durch eine alters- und reizbedingte zunehmende Zementapposition und kann durch Osteoklasten im Verlauf einer mikrobiellen Infektion auch wieder resorptiv erweitert werden.



**Abb. 1-24** Transparente, mit roter Tusche eingefärbte Kanalsysteme, die Isthmen, konfluierende Bereiche und laterale Kanäle aufweisen (Bilder: Holm Reuver).

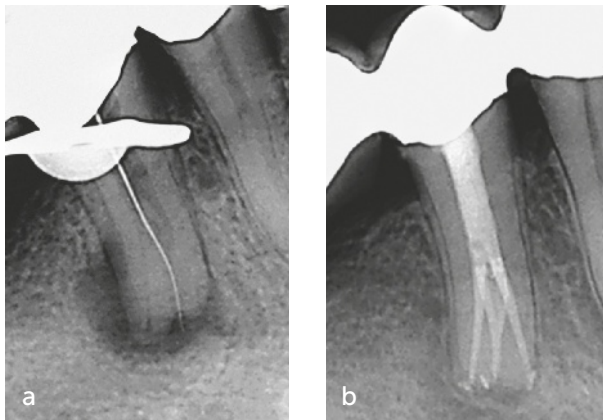
Mit apikalen Resorptionen, die auch das physiologische Foramen verändern, muss bei einer Parodontitis apicalis immer gerechnet werden (Abb. 1-22).

Im Verlauf der Wurzelbildung werden die in die Pulpa führenden Gefäße von den Odontoblasten umschlossen. Nach der vollständigen Ausbildung der Wurzelspitze bestehen daher häufig mehrere apikale Foramina und Ramifikationen (Abb. 1-23 und 1-24).

Apikale Ramifikationen wurden in der Vergangenheit häufig als die entscheidende Ursache für

endodontische Misserfolge ausgemacht. Nach dieser irrtümlichen Einschätzung wurde nicht selten bei Vorliegen einer apikalen Aufhellung eine Wurzelspitzenresektion (WSR) indiziert. Ramifikationen werden während der Alterung durch Zementanlagerungen und Gefäßverengungen und -verkalkungen verkleinert.

Im Verlauf einer mikrobiellen Infektion des Wurzelkanalsystems können mitunter laterale Aufhellungen auf Röntgenbildern beobachtet werden, die mit dem Parodont korrespondierende Ramifikationen markieren. Sie werden als Ports of Entry/Exit (POE) bezeichnet. Ähnlich wie bei apikalen Foramina handelt es sich bei POE um immunologisch aktive Orte



**Abb. 1-25 (a)** Die unterschiedlich dimensionierten und lokalisierten apikalen Aufhellungen lassen weitere apikale Foramina und Wurzelkanäle vermuten. **(b)** 2 Jahre nach Verschluss der vier Wurzelkanäle sind die POE noch durch diskrete Sealerüberpressungen markiert. Die apikalen Aufhellungen haben sich vollständig zurückgebildet.

der zellulären Abwehr, die nur in seltenen Fällen eine chemomechanische Reinigung oder eine resektive Therapie benötigen. Sie können aber helfen, Wurzel- und Seitenkanäle aufzufinden (Abb. 1-25).

## Zusammenfassung

- Die Anatomie des Wurzelkanalsystems ist genetisch determiniert, unterliegt jedoch einer ständigen Veränderung, solange die Pulpa vital ist.
- Die Anzahl der Wurzelkanäle nimmt unter dem Einfluss externer und interner Reize auf die vitale Pulpa zu.
- Klassifikationen von Wurzelkanalsystemen sind vereinfachte Modelle.
- Aus dem Querschnitt der Wurzel können Rückschlüsse auf die mögliche Anzahl von Wurzelkanälen gezogen werden.

- Der Querschnitt eines Wurzelkanals ändert sich über den Kanalverlauf von koronal nach apikal.
- Die intrakoronale Befundaufnahme erhöht die Zuverlässigkeit bei der Ermittlung der Anzahl von Wurzelkanälen.
- Die intrakoronale Unterscheidung zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiärdentin ist für die Therapie wichtig. Die unterschiedlichen Hartgewebe können nur mit starker Vergrößerung und koaxialem Licht erkannt und differenziert werden.
- Die Bildung von tubulärem Dentin und Tertiärdentin führt zur kontinuierlichen Einengung der Pulpakammer und Wurzelkanäle.
- Wurzelkanäle kalzifizieren von koronal nach apikal.
- Das Wurzelndentin sklerosiert von peripher nach zentral. Die Zugfestigkeit des Wurzelndentins nimmt mit zunehmendem Alter ab.

## Literatur

- Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PMH. A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J* 2017;50: 761-770.
- Arnold M. Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne. *Quintessenz* 2011;62:1273-1286.
- Hess W. Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale. *Schweizer Wochenschrift Zahnheilkunde* 1917;27:33-34.
- Radlanski RJ. *Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie*. Berlin: Quintessenz, 2011.
- Reuver H. Transparentmachen von Zähnen zur Analyse von Wurzelkanalbehandlungen. In: Hülsmann M, Schäfer E (Hrsg.). *Probleme in der Endodontie. Prävention, Identifikation und Management*. 2. Aufl. Berlin: Quintessenz, 2019.
- Schroeder HE. *Pathobiologie oraler Strukturen*. 3. Aufl. Basel: Karger, 1997.
- Vertucci FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endod Topics* 2005;10:3-29.

Die Endodontie hat sich in den letzten Jahrzehnten rasant entwickelt – sowohl im Verständnis der biologischen Grundlagen als auch im Hinblick auf die Materialien und instrumentellen Möglichkeiten. Es ist daher tatsächlich schwer, in Gegenwart zahlreicher technischer Innovationen die wirklich wesentlichen, klinisch relevanten Punkte der endodontischen Therapie zu erkennen und umzusetzen.

Das vorliegende Buch wurde von zahlreichen renommierten Endodontologinnen und Endodontologen geschrieben, die ihre Strategien für die Kernprobleme der endodontischen Therapie auf Basis jahrzehntelanger Erfahrung präsentieren. „Das kleine 1 x 1 der Endodontie“ widmet sich den vermeintlich „kleinen“ täglichen Problemen in der endodontischen Praxis. In 24 Kapiteln werden Konzepte für eine technisch-biologisch sinnvolle und erfolgreiche endodontische Therapie vorgestellt. Der Fokus liegt hierbei auf praktischen Aspekten und Vorgehensweisen, die durch 792 Fotos und Illustrationen sowie 99 durch QR-Codes verlinkte Videos veranschaulicht werden.

Das Buch bietet vor allem denjenigen klinische Hilfestellung, die endodontisch (noch) nicht so versiert sind. Für Studierende im klinischen Abschnitt soll es eine praktisch-visuelle Unterstützung bei den Herausforderungen der Patientenbehandlung sein, für Zahnärztinnen und Zahnärzte, die sich intensiver mit der Endodontie beschäftigen möchten, ist es ein nützliches Hilfsmittel bei der täglichen Arbeit, das neue Ideen und mehr Sicherheit vermittelt, um eine klinisch effiziente eigene Behandlungssystematik zu entwickeln.



Prof. Dr. med. dent. David Sonntag

David Sonntag ist Spezialist für Endodontie und leitet seit 2010 den Masterstudiengang Endodontology an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Er ist privat Zahnärztlich als Endodontologe tätig und berät Firmen in der Entwicklung von NiTi-Instrumenten. Im In- und Ausland referiert er auf dem Gebiet der Endodontologie und publiziert hierzu seit über 20 Jahren.



Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann

Michael Hülsmann war von 1983 bis 2021 an der Universität Göttingen tätig, ist Gastdozent an der Universität Zürich und arbeitet in Teilzeit in einer Zahnarztpraxis. Er ist Chefredakteur der Zeitschrift ENDODONTIE und Autor zahlreicher Bücher und wissenschaftlicher Publikationen zu endodontischen Themen.

ISBN 978-3-86867-611-2



9 783868 676112

[www.quintessence-publishing.com](http://www.quintessence-publishing.com)