

Zahnmedizin *up2date*

4 · 2019

Endodontologie 1

# Pulpa: Beurteilung von Vitalität und Sensibilität

*Sebastian Bürklein  
Martin Sabandal  
Till Dammaschke*

DOI: 10.1055/a-0928-7435  
Zahnmedizin up2date 2019; 13 (4): 355–369  
ISSN 1865-0457  
© 2019 Georg Thieme Verlag KG

## Unter dieser Rubrik sind bereits erschienen:

### Aktivierete Wurzelkanalspülung – Nutzen oder Fiktion?

B. Bengs Heft 2/2019

### Endodontische Schmerzbehandlung

I. Wroblewska,  
C. R. Gernhardt Heft 1/2019

### Revision von Wurzelkanalfüllungen – Was, wie, womit?

M. Brüsehauer Heft 6/2018

### Autotransplantation in der Oralchirurgie

I. Mollen, A. Filippi  
Heft 4/2018

### Endodontologie beim älteren Patienten – Möglichkeiten und Grenzen

M. Jung Heft 4/2018

### Reziprok rotierende Wurzelkanalinstrumente – Sinn und Unsinn

P. Kiefner Heft 3/2018

### Vitalerhaltung der Pulpa – Update

M. Amato, H. Hecker,  
F. Eggmann, R. Weiger Heft 6/2017

### Laseranwendungen in der Endodontologie

M. Frentzen,  
J. Meister Heft 6/2017

### Diagnostik in der Endodontie

B. Vahedi Heft 4/2017

### Die Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne

R. Krug,  
S. Soliman, G. Krastl Heft 2/2017

### Die medikamentöse Einlage

A. Roth Heft 5/2016

### Die digitale Volumetomografie (DVT) in der Endodontologie

K. Dula, F. Kissling-Jeger, K. Neuhaus Heft 4/2016

### Wurzelkanalfüllung: Alternativen zur lateralen Kondensation

T. Connert, M. Amato, R. Weiger Heft 3/2016

### Interne Resorptionen – Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik und Therapie

M. Arnold Heft 6/2015

### Aktuelle Entwicklungen der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung

M. Roggendorf, J. Ebert, R. Frankenberger  
Heft 5/2015

### Die vertikale Wurzelfraktur – eine klinische Herausforderung und ein pathogenetisches Phänomen

C. Löst Heft 2/2015

### Die Revision endodontischer Misserfolge

M. Arnold  
Heft 4/2014

### Möglichkeiten und Grenzen der Pulparegeneration

K. Galler  
Heft 6/2013

### Ultraschall in der Endodontie

M. Amato, H. Hecker Heft 5/2013

### Entfernung frakturierter Instrumente aus dem Wurzelkanal

C. Bargholz, J. Cujé Heft 6/2012

### Endometrie – elektrische Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge

A. ElAyouti, C. Löst Heft 3/2012

### Mineral Trioxide Aggregate (MTA): Möglichkeiten und Grenzen

J. Mente, D. Panagidis, T. Pfefferle Heft 2/2012

### Einmal- vs. Mehrfachgebrauch endodontischer Instrumente

D. Sonntag, A. Klocke Heft 6/2011

### Spezielle Anatomie und Behandlung der Wurzelkanäle von Molaren

C. Koçkapan Heft 4/2011

### Einzeitige versus zweizeitige Wurzelkanalbehandlung

S. Bürklein, E. Schäfer Heft 3/2011

### Die endodontale-parodontale bzw. parodontale-endodontale Läsion

A. Fuchß, H. Jentsch Heft 2/2011

### Der obliterierte Wurzelkanal

P. Kiefner Heft 6/2010

### Vitalerhaltung der Pulpa

H. Hecker, M. Amato, G. Krastl,  
R. Weiger Heft 5/2010

### Postendodontische Versorgung

M. Naumann Heft 4/2010

### Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

T. Schwarze  
Heft 2/2010

### Wurzelkanalbehandlung versus Implantation

N. Zitzmann,  
R. Weiger Heft 4/2009

#### ALLES ONLINE LESEN



Mit der eRef lesen Sie Ihre Zeitschrift: online wie offline, am PC und mobil, alle bereits erschienenen Artikel. Für Abonnenten kostenlos!  
<https://eref.thieme.de/zahn-u2d>

#### JETZT FREISCHALTEN



Sie haben Ihre Zeitschrift noch nicht freigeschaltet? Ein Klick genügt:  
[www.thieme.de/eref-registrierung](http://www.thieme.de/eref-registrierung)

# Pulpa: Beurteilung von Vitalität und Sensibilität

Sebastian Bürklein, Martin Sabandal, Till Dammaschke



Die korrekte Diagnose des Status der Pulpa vor vitalerhaltenden Maßnahmen spielt eine wichtige Rolle für den Therapieerfolg, sodass eine Beurteilung ihres Infektions- und Entzündungsgrads erforderlich ist. Im klinischen Alltag werden Sensibilitätstests genutzt, die einen Rückschluss auf die Vitalität des untersuchten Zahns zulassen. Nur mit angemessenem Kenntnisstand, Fähigkeiten und Materialien können die Zähne möglichst lange erhalten werden.

## Einführung

Zahnschmerzen gelten nach wie vor als eine der Hauptursachen dafür, dass Patienten zahnärztliche Notdienste aufsuchen. Allerdings ist die Differenzierung zwischen einer vitalen und lediglich reversibel erkrankten Pulpa und einer vitalen, aber irreversibel erkrankten Pulpa klinisch nicht immer eindeutig möglich. Die Diagnostik in der Zahnmedizin stellt einen Prozess dar, bei dem die Ergebnisse aus der Anamneseerhebung (allgemein und speziell) sowie der klinischen Untersuchung letztlich dazu dienen, Abweichungen von der vermeintlichen Norm zu erkennen.

### Merke

**Die Diagnose des Pulpastatus sollte also stets eine Synthese aus Anamnese, klinischer Untersuchung, erweiterten Tests und radiologischer Untersuchung sein und nicht nur als Ergebnis eines bestimmten Tests angesehen werden.**

Die Histologie stellt den Goldstandard zur Bestimmung des Entzündungszustandes von Pulpagewebe dar [1,2], kann als ein invasives Verfahren jedoch nicht als Mittel der Wahl gelten.

Die klinische Unterscheidung erfolgt zwischen *asymptomatischer* und *symptomatischer* Pulpitis, womit das Leitsymptom „Schmerz“ im Vordergrund steht. Des Weiteren kann man zwischen *reversibler* und *irreversibler* Pulpitis differenzieren, womit die potenzielle Heilung als diagnostischer Parameter dient. Während man bei der reversiblen Pulpitis erwartet, dass sich die Pulpa nach Entfernung des verursachenden Reizes erholt, ist im Gegensatz dazu bei einer irreversiblen Entzündung *keine* Heilung zu erwarten.

Folgende Pulpazustände sind klinisch relevant:

- gesunde Pulpa
- reversibel entzündete Pulpa
- irreversibel entzündete Pulpa
- Nekrose

Alle verfügbaren Diagnoseverfahren, das Entzündungsstadium der Pulpa zuverlässig zu identifizieren, korrelieren wenig mit dem histologischen Zustand [3]. Eine bessere Korrelation wäre wünschenswert, da die Entscheidungsfindung in der Therapie zwischen Vitalerhaltung und Wurzelkanalbehandlung ganz entscheidend von einer genauen Pulpadiagnose abhängt.

### Merke

**Nach wie vor ist die Sensibilitätsprüfung ein wichtiges Hilfsmittel bei der Diagnose von pulpalen Erkrankungen und apikalen Parodontitiden. In der Begrifflichkeit werden Sensibilität und Vitalität häufig als Synonyme gebraucht, jedoch gibt es Unterschiede.**

### DEFINITION

Sensibilität = nervale Versorgung der Pulpa  
Vitalität = Versorgung der Pulpa mit Blut und Blutgefäßen (= Durchblutung)

Der ideale Pulpatest sollte eine einfache, objektive, standardisierte, reproduzierbare, nicht schmerzhaft, verletzungsfreie, genaue und kostengünstige Methode zur Beurteilung des Zustands der Pulpa sein. In der Endodontie werden meist thermische Sensibilitätstests, z.B. Kälte-tests (Kältespray, ► **Abb. 3**), CO<sub>2</sub>-Schnee (► **Abb. 4**), Wärmetests (erwärmtes Wasser, warme Guttaperchastange; ► **Abb. 5**) oder elektrische Pulpatestgeräte (EPT; ► **Abb. 6, Abb. 7**) eingesetzt, die letztlich beurteilen, ob es eine Reaktion auf einen entsprechenden Stimulus gibt

oder nicht. Wenn Pulpanervenfasern eine Reizweiterleitung generieren, kann die Pulpa als überlebensfähig beurteilt werden.

Für die Vitalerhaltung ist die Blutversorgung der Pulpa elementar, und sie wird auch benötigt, um die Nervenfasern am Leben und funktionstüchtig zu halten. Wenn folglich die Sensibilitätsprobe positiv ausfällt, ist mit einer hohen Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass auch die Vitalität der Pulpa gegeben ist, wobei im Idealfall eine Kombination aus verschiedenen Pulpatests verwendet werden sollte, sodass die Ergebnisse einer Prüfung die Ergebnisse der anderen Prüfung bestätigen können.

### Merke

**Die Durchblutung ist das genaueste Kriterium zur Bestimmung der Pulpavitalität, da sie Auskunft darüber gibt, ob das Pulpagewebe vital oder nekrotisch ist [4].**

Eine direkte Bewertung der Durchblutung des Zahnes ist mit der Laser- oder Ultraschall-gestützten Durchflussmessung – beruhend auf dem Doppler-Effekt – oder mit der Pulsoxymetrie prinzipiell denkbar.

## Pulpazellen und Innervation

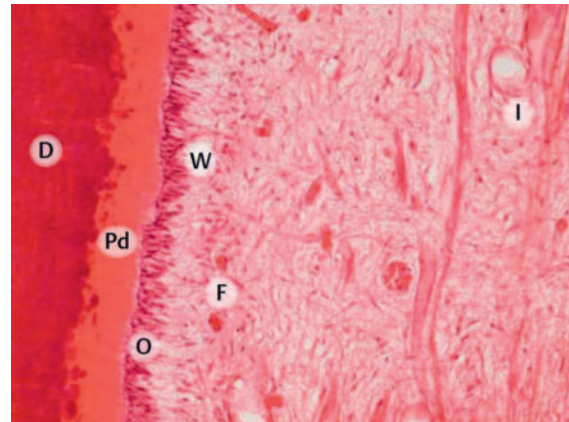
Odontoblasten, Fibroblasten, undifferenzierte mesenchymale Zellen sowie neutrophile Granulozyten, dendritische Zellen und gelegentlich Makrophagen machen den zellulären Part der Pulpa aus (► **Abb. 1**). Um allerdings die Mechanismen zu verstehen, wie die Testergebnisse zum Pulpastatus zustande kommen, ist es erforderlich, ein Verständnis von der pulpalen Innervation zu haben. Innerhalb der koronalen Pulpa divergieren die Nervenbündel. Sie verzweigen sich zur Pulpa-Dentin-Grenze hin und bilden dort ein Netzwerk (Rashkow-Plexus), aus dem die Endaxone nach der Passage der zellfreien Zone (Weil-Zone) teils als freie Nervenenden die Odontoblastenschicht durchlaufen und das Dentin erreichen [5–7].

### Merke

**In der Pulpa gibt es 2 Arten von sensorischen Fasern:**

- myelinisierte Fasern = A-Fasern
- nichtmyelinisierte Fasern = C-Fasern

Während sich die C-Fasern im Pulpagewebe befinden, durchdringen die A-Fasern überwiegend das Dentin und sind entsprechend ihrem Durchmesser und ihrer Leitungsgeschwindigkeiten untergliedert in A $\beta$ - und A $\delta$ -Fasern. Die A $\beta$ -Fasern gelten als empfindlicher auf Stimulationen als die A $\delta$ -Fasern, die etwa 90% der A-Fasern ausmachen [8]. A $\delta$ -Fasern vermitteln akute, starke Schmerzen und werden durch hydromechanische Ereignisse in den Dentintubuli wie Präparation oder Trocknung im Luftstrom aktiviert.



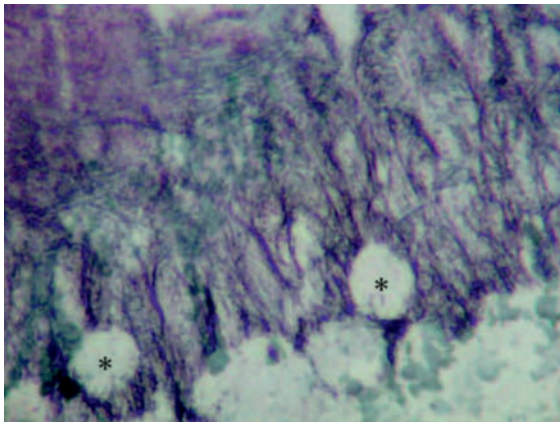
► **Abb. 1** Zahnpulpa. Die Odontoblastenkörper (O) liegen dem Prädentin (Pd) in der Pulpahöhle an. In Richtung zur Pulpamitte folgt auf die Odontoblasten die helle Weil-Zone (W) mit peripheren Fortsätzen der bipolaren Fibroblasten. Die Zone der Fibroblasten-Zellkörper (F) weist eine geringfügig höhere Zell(kern)dichte auf als das umgebende gallertige Bindegewebe. Pulpawärts folgt die Innenzone (I) der Pulpa mit den größeren Leitungsbahnen. Der subodontoblastische Gefäß- und Nervenplexus ist nicht eindeutig zu erkennen. Paraffinschnitt, HE-Färbung. D: Dentin. Vergr. 118-fach. Quelle: Steiniger B, Schwarzbach H, Stachniss V. Zahnpulpa. In: Steiniger B, Schwarzbach H, Stachniss V, Hrsg. Mikroskopische Anatomie der Zähne und des Parodonts. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010.

Die C-Fasern vermitteln eher einen stumpfen, brennenden und schlecht lokalisierbaren Schmerz und werden nur durch Reize aktiviert, die das Pulpagewebe erreichen. C-Fasern haben einen höheren Schwellenwert im Vergleich zu den A-Fasern und sind in der Regel mit Gewebeschäden verbunden [8]. Die Reaktion auf einen bestimmten Stimulus ist dort am größten, wo die neuronale Dichte am höchsten ist – das ist im Bereich der Pulpahörner der Fall (► **Abb. 2**) [8].

## Sensibilitätstests

Derzeit beurteilen die meisten Tests primär die Integrität der A $\delta$ -Nervenfasern im Dentin-Pulpa-Komplex durch einen kurzen Stimulus auf die Außenfläche des Zahnes. Wenn die A $\delta$ -Nervenfasern erfolgreich stimuliert werden, reagiert der Patient – und nicht der Zahn – mit der Bestätigung, einen Reiz am Zahn gespürt zu haben. Eine positive Reaktion weist zunächst auf eine (bis zu einem gewissen Grad) bestehende Funktion der Nervenfasern hin, gibt aber keinen Hinweis auf die pulpale Durchblutung.

Eine fehlende Durchblutung/Gefäßversorgung der Pulpa führt schnell zur Hypoxie, und die A $\delta$ -Fasern funktionieren nicht mehr. Es ist jedoch zu beachten, dass es Fälle geben kann wie nach einem Zahntrauma, in denen zwar ein Blutfluss zur Pulpa stattfindet, die A $\delta$ -Nervenfasern aber nicht mehr funktionieren.



► **Abb. 2** Nerven und Pulpazellen. Neurofibrillenfärbung des Nervenplexus um die Odontoblasten mit ungefärbten Zelleibern der Odontoblasten (\*). Quelle: Arnold W. Kronenpulpa. In: Baumann M, Beer R, Hrsg. Farbatlanten der Zahnmedizin – Endodontologie. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2007.



► **Abb. 3** Sensibilitätstestung mit einem Kältespray über die Applikation von einem Schaumstoffpellet.

## Thermische Tests

Diese Tests beinhalten die Anwendung von Kälte- und Wärmereizen auf einen Zahn, um die Empfindlichkeit gegenüber thermischen Veränderungen zu bestimmen.

### Kältetests

Ein Kältetest bewirkt letztlich eine Kontraktion des Dentinliquors in den Dentintubuli, wodurch ein schneller Abfluss Zellflüssigkeit induziert wird. Diese schnelle Bewegung des Dentinliquors führt zu „hydrodynamischen Kräften“ auf die A $\delta$ -Nervenfasern im Pulpa-Dentin-Komplex, was im Falle einer gesunden Pulpa mit einem Reiz für die Dauer des thermischen Tests assoziiert ist.

### Cave

**Bei der Untersuchung von mehrwurzeligen Zähnen ist Vorsicht geboten, da sie positiv auf die Tests reagieren können, obwohl nur noch ein Wurzelkanal tatsächlich vitales Pulpagewebe enthält.**

Klinisch relevant ist prinzipiell nur die Unterscheidung zwischen reversibler und irreversibler Pulpitis, da die Therapieansätze differieren. Hat die Reizapplikation eine anhaltende, reizüberdauernde Wirkung oder lässt der Schmerz nach dem Entfernen des Reizes vom Zahn sofort nach? Ein anhaltender Schmerz, auch nach Entfernung des Kältereizes, steht für die Diagnose einer irreversiblen Pulpitis. Falls der Schmerz unmittelbar nach der Reizentfernung nachlässt, ist die Diagnose einer reversiblen Pulpitis wahrscheinlicher. Andere Faktoren, wie eine Vorgeschichte von Schmerzen beim Liegen, Nachtschmerz oder Spontanschmerz, und die Dauer der Schmerzen sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

### Merke

**Ein anhaltender Schmerz, auch nach Entfernung des Kältereizes, steht für die Diagnose einer irreversiblen Pulpitis. Falls der Schmerz unmittelbar nach der Reizentfernung nachlässt, ist die Diagnose einer reversiblen Pulpitis wahrscheinlicher.**

Grundsätzlich sind diese Tests am vermutlich erkrankten Zahn sowie möglichst an einem gesunden Kontrollzahn (Nachbarzahn oder kontralateraler Zahn) durchzuführen, um aus den unterschiedlichen Reaktionen des Patienten eine zuverlässige Verdachtsdiagnose schließen zu können.

Ethylchlorid (entstehende Verdunstungskälte  $-41^{\circ}\text{C}$ ) und Propan-Butan-Gemische (entstehende Verdunstungskälte  $-25^{\circ}\text{C}$ ; ► **Abb. 3**) sind komprimierte Kältemittelsprays, die weit verbreitet sind.

Ein weiterer effektiver Kältereiz ist „Kohlendioxid-Schnee“ ( $\text{CO}_2$ -Schnee; entstehende Verdunstungskälte  $-72^{\circ}\text{C}$ ). Bei der Testung wird ein festes Stück  $\text{CO}_2$ -Schnee in einem Kunststoffzylinder auf die bukkale Oberfläche des Zahnes appliziert (► **Abb. 4**). Eine schädigende Wirkung, selbst bei längerer Applikation, ist für den Zahn (Schmelz und Pulpa) nicht dokumentiert [9]. Andererseits kann  $\text{CO}_2$ -Schnee bei keramischen Restaurationen bereits ab 5 s einen Lochfraß auf der Oberfläche bewirken [10].

Die Applikationsdauer der Kältetests erfolgt bis zu einer definitiven Reaktion des Patienten, wobei eine maximale Dauer 15 s nicht übersteigen sollte.





► **Abb. 4** Applikation von CO<sub>2</sub>-Schnee auf die Zahnoberfläche.



► **Abb. 5** Wärmetest (Guttaperchastange) an dem mit Vaseline beschichteten Zahn 23.

### Merke

**Je niedriger die Temperatur des Kältemittels ist, desto besser korrelieren Sensibilität und vermutliche Vitalität des Zahnes, d. h. desto zuverlässiger ist der Test [11].**

### Wärmetests

Eine erhöhte Empfindlichkeit auf Wärme ist insbesondere ein Indikator für pulpale oder periapikale Pathologien. Dieser Test wird hauptsächlich zur Verifizierung purulenter Prozesse genutzt.

Die Testung kann leicht mit einer erwärmten Guttaperchastange oder ebensolchem Wasser durchgeführt werden. Eine Guttaperchastange wird erwärmt, bis sie weich wird und leicht glänzt, und auf die vaselinbeschichtete Oberfläche (erleichtert die Entfernbarkeit der klebrigen Guttapercha) des Testzahns gehalten. Guttapercha erweicht bei etwa 65 °C, kann aber deutlich mehr erwärmt werden (► **Abb. 5**).

Eine übermäßige Erwärmung kann allerdings zu Pulpaschäden führen – das stellt einen immanenten Nachteil der Methode dar [12]. Die Reizantwort bei zu langer Applikation läuft dann über eine 2-phasige Stimulation: zunächst die A $\delta$ -Fasern, gefolgt von den C-Fasern [13]. Falls letztere aktiviert werden, sind anhaltende Schmerzen vorprogrammiert, daher sollten Wärmetests für nicht mehr als 5 s angewendet werden. Allerdings kann eine unzureichende Erwärmung der Guttapercha mit einer fehlenden Reizantwort vergesellschaftet sein [14], weil die Reizschwelle nicht erreicht wurde.

### Cave

**Wärmetests sollten für nicht länger als 5 s angewendet werden.**

Warmes Wasser bei Kofferdamisolation und Reibungswärme (Frikionswärme eines Polierkelchs auf der bukkalen Zahnoberfläche mit langsam steigender Umdrehungszahl) können ebenfalls zum Einsatz kommen.

### Merke

**Bei korrekter Nutzung von Wärmetests sind Pulpaschäden unwahrscheinlich [15].**

### Elektrische Pulpatester (EPT)

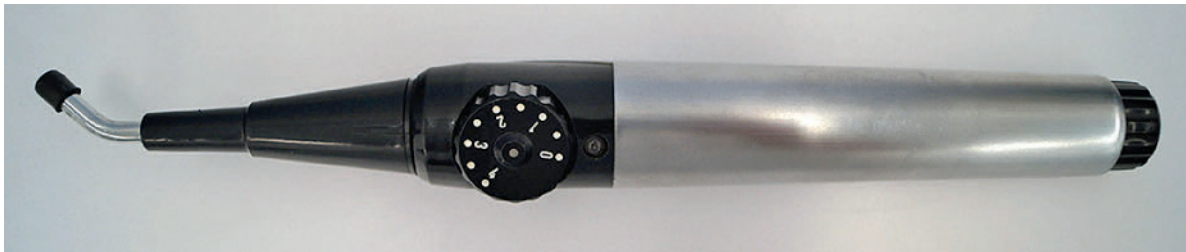
Ziel elektrischer Pulpatester (EPT) ist es, intakte A $\delta$ -Nerven im Pulpa-Dentin-Komplex durch Anlegen eines elektrischen Stroms an die Zahnoberfläche zu stimulieren. Ein positives Ergebnis ergibt sich aus einer Ionenverschiebung innerhalb der Dentinflüssigkeit der Tubuli, diese führen zu einer lokalen Depolarisation und nachfolgenden Erzeugung eines Aktionspotenzials aus intakten A $\delta$ -Nerven [16].

Der elektrische Pulpatester ist ein batteriebetriebenes Gerät, das mit einer Sonde verbunden ist, die auf den zu untersuchenden Zahn aufgebracht wird (► **Abb. 6**, **Abb. 7**). Die Intensität des elektrischen Reizes wird dann langsam erhöht und die Anzeige auf der Digitalanzeige notiert, sobald der Patient ein warmes oder prickelndes Gefühl bestätigt.

### Merke

**Die Anzeige des elektrischen Pulpatesters ist keine quantitative Messung der Pulpagesundheit, sondern liefert lediglich den Nachweis, dass die A $\delta$ -Fasern auf den elektrischen Reiz ansprechen.**

Das Trocknen des Schmelzes, das Anbringen eines interproximalen Kunststoffstreifens und/oder die Verwendung eines Kofferdam können die Übertragung von elektrischen Impulsen auf benachbarte Zähne oder die Gingiva verhindern (► **Abb. 7**) [17].



► **Abb. 6** Elektrischer Pulpatester (Siemens, München).



► **Abb. 7** Klinische Anwendung eines elektrischen Pulpatesters mit Isolation der Nachbarzähne mit Kunststoffmatrizen.

Die Leitfähigkeit metallischer Restaurationen impliziert, dass elektrische Pulpatester hier nicht verwendet werden sollen, da das umliegende Gewebe automatisch ebenfalls gereizt wird. Um sicherzustellen, dass dennoch der maximale Strom von der Elektrode zur Zahnoberfläche gelangt, kann ggf. ein leitfähiges Medium (z. B. Zahnpasta) verwendet werden [18].

#### — Cave

**Gerade durchgebrochene Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum haben u. U. ein noch nicht vollständig ausgebildetes pulpaes Nervengeflecht, weshalb die EPT falsch negativ ausfallen kann.**

Andererseits könnten auch durch die Stimulation der Nachbarzähne oder des Parodontiums falsch positive Ergebnisse bei der EPT resultieren [19].

#### — Merke

**Grundsätzlich stehen Orte hoher neuronaler Dichte in der Regel für eine schnelle und starke Reaktion auf einen Reiz und sollten deshalb getestet werden.**

Bei Inzisivi gelten die Schneidekanten als idealer Applikationsort, weil der Schmelz dort am dünnsten ist, während sich bei den übrigen Zähnen die Applikation in der Nähe der Pulpahörner empfiehlt.

### Probetrepation

Dieser Test kann als letzte Option bei der Sensibilitätsprüfung dienen. Er wird nur dann durchgeführt, wenn sich die Ergebnisse aller anderen Tests als nicht eindeutig erwiesen haben. Dazu wird an dem *nicht* anästhesierten Zahn eine Testkavität mit einem kleinen, kugelförmigen diamantierten Schleifkörper unter ausreichender Wasserkühlung bis in das Dentin präpariert – am besten unter Kofferdam-Isolation.

Der Patient wird gebeten, ein Zeichen zu geben, wenn während der Präparation Schmerzen auftreten. Wenn der Patient nach dem Kontakt des Schleifkörpers mit dem gesunden Dentin Schmerzen verspürt, wird der Eingriff beendet und die Kavität mit einer definitiven Füllung verschlossen. Der Zahn ist vermutlich vital. Anderenfalls muss eine Wurzelkanalbehandlung eingeleitet werden.

### Selektive Lokalanästhesie

Wenn die Symptome nicht eindeutig zu lokalisieren sind und die Sensibilitätstestung ein unklares Ergebnis zeigt, ist eine genaue Diagnose äußerst schwierig. In solchen Fällen kann eine selektive Anästhesie hilfreich sein. Mit einer Infiltrationsanästhesie oder einer intraligamentären Injektion kann im Verdachtsbereich der Schmerzzursache zunächst der am weitesten distal gelegene Zahn betäubt werden. Wenn der Schmerz nach der Injektion anhält, kann man sukzessive weiter mesial gelegene Zähne in identischer Manier anästhesieren, bis die Beschwerden womöglich verschwinden. Dies lässt dann Rückschlüsse auf den Schmerz verursachenden Zahn zu.

Falls auch so die Schmerzquelle zwischen Ober- und Unterkiefer nicht lokalisierbar ist, besteht noch die Möglichkeit einer Leitungsanästhesie im Unterkiefer. Wird der Schmerz so ausgeschaltet, so ist auf die Beteiligung eines Unterkieferzahns auf der fraglichen Seite zu schließen.

► **Tab. 1** Wichtige Kriterien der gängigen klinischen Sensibilitätstests [20].

Test	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
Kältetest	0,81	0,92	0,92	0,81
elektrische Pulpatestung	0,71	0,92	0,91	0,74

NPV: negativer prädiktiver Wert; PPV: positiver prädiktiver Wert

## Limitationen der Sensibilitätstests

### ÜBERBLICK

#### Kriterien von Sensibilitätstests

Alle Tests werden prinzipiell in ihrer Aussagekraft nach den folgenden Kriterien bewertet:

- **Sensitivität:** Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Patienten mit einer Erkrankung ein bestimmter diagnostischer Test positiv ist.
- **Spezifität:** Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Patienten, der eine Erkrankung nicht hat (also gesund ist), ein bestimmter diagnostischer Test negativ ist.
- **Positiver Vorhersagewert (PPV):** Es ist der Anteil der positiven Testergebnisse, die tatsächlich positiv sind.
- **Negativer Vorhersagewert (NPV):** Es ist der Anteil der negativen Testergebnisse, die tatsächlich negativ sind.

Die Validität (Reproduzierbarkeit) eines jeden diagnostischen Tests wird am besten durch seine Sensitivität und Spezifität beschrieben, während sein klinischer Nutzen durch seinen positiven prädiktiven Wert (PPV) und seinen negativen prädiktiven Wert (NPV) erfasst wird (► **Tab. 1**).

**Falsch positive Ergebnisse** können vorkommen, wenn Nervenfasern auf den Reiz reagieren, obwohl das umgebende Pulpagewebe degeneriert ist [21]. Dieser vorübergehende Verlust der Reaktion wird in der Regel durch Verletzung, Entzündung, Druck oder Spannung an den apikalen Nervenfasern verursacht. Mitunter kann es einige Wochen dauern, bis eine Reizantwort auf einen entsprechenden Stimulus ausgelöst wird [22]. Es kann folglich sein, dass zwar vitales Gewebe vorliegt, aber eine Stimulation der Nervenfasern, die für die Sensibilität mit herkömmlichen Tests notwendig ist, noch nicht erfolgt. Aus diesem Grund kann es bei Zähnen nach Zahtrauma u. U. sinnvoll sein, eine endodontische Therapie nicht sofort einzuleiten, um vitales und regenerationsfähiges Pulpagewebe zu erhalten. Allerdings kann eine verspätete Therapie zu Komplikationen (z. B. infektionsbedingte entzündliche Resorption) führen.

Andererseits sind **falsch negative Ergebnisse** ebenfalls denkbar. Das bedeutet, dass ein vitaler Zahn nicht positiv auf Kältetests reagiert, obwohl die Blutmikrozirkulation der Zahnpulpa intakt ist. Dies kann vor allem bei kürzlich traumatisierten Zähnen auftreten, aber auch bei solchen mit unvollständiger Wurzelentwicklung oder Zähnen mit ausgeprägten physiologischen Alterungsprozessen (Mineralisierung) [22, 23]. Ein vermehrtes Auftreten von falsch negativen Ergebnissen im Vergleich zu falsch positiven Ergebnissen wurde in einer Studie festgestellt [24].

### Korrelation zur Histologie

Verfahren zur Erhaltung der Pulpavitalität können nur dann wirksam sein, wenn der Status der Pulpa korrekt bewertet wird [25]. Eine genaue Klassifizierung des Pulpazustands ist letztlich nur mit einer histologischen Untersuchung möglich [26]. Histologische Untersuchungen sind jedoch nicht mit der Vitalerhaltung vereinbar und können klinisch nicht durchgeführt werden [27].

Die Reaktion auf den Sensibilitätstest korreliert leider nur mangelhaft mit dem histologischen Befund [1, 21]. Hinter einem klinisch positiven Kältetest kann histologisch eine gesunde Pulpa, eine reversible Pulpitis oder gar eine irreversible Pulpitis stecken [28]. Allein bei der fehlenden Antwort auf einen Sensibilitätstest scheint es einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit dem Vorliegen einer vollständigen Nekrose zu geben [1, 14]. Des Weiteren scheint die traditionelle Ansicht fragwürdig, dass eine gesteigerte Sensibilität bei Hyperämie auf eine akute Pulpitis und eine reduzierte Empfindlichkeit eher auf eine chronische Pulpitis hinweise [29].

### Objektivität und Reliabilität

Inwieweit Patientenaussagen als objektiv einzustufen sind, ist fraglich, weil Schmerz immer einen individuell subjektiven Charakter hat. Deshalb empfiehlt es sich immer, einen Kontrollzahn auf der gegenüberliegenden Seite des Mundes zu testen, um die Subjektivität aus der Antwort desselben Individuums zu erfahren [30]. Allerdings ist selbst dann noch nicht bewiesen, ob der Kontrollzahn überhaupt geeignet ist, als solcher zu dienen. Zusätzlich muss eine gesteigerte Reaktionsintensität nicht zwingend mit einem pathologischen Zustand vergesellschaftet sein. Hinweise, dass es selbst in denselben Individuen zu unterschiedlichen Reaktionen an verschie-



denen Tagen kommen kann, sind ebenfalls dokumentiert [31]. Objektivität und Reproduzierbarkeit der Pulpatests sind und bleiben daher problembehaftet.

### Beeinflussende Faktoren

Schmerzstillende oder sedierende Medikamente sind in der Lage, bei einigen Patienten die Reizschwelle zu erhöhen [32]. Mit Ausnahme von neu durchgebrochenen Zähnen scheinen Alter und Geschlecht des Patienten keinen nennenswerten Einfluss auf die Schwellenwerte der Pulpatests zu haben [33, 34]. Dies ist insofern überraschend, wenn man die histologischen Ergebnisse wie Mineralisationen in der Pulpa (Sekundär- und Tertiärdentinbildung) und verminderte neuronale Dichte mit zunehmendem Alter in Betracht zieht [35].

Parodontologische Erkrankungen liefern widersprüchliche Aussagen zur Beeinflussung von Pulpatests: Einerseits wurde keine signifikante Änderung der Stimulierungsschwelle nachgewiesen [36], andererseits ein Zusammenhang von Pulpitis und Pulpadegeneration bei Parodontalerkrankungen beschrieben [37].

### Messung der Vaskularisation

Eine genauere Beurteilung der Pulpavitalität kann ebenfalls durch die Bestimmung des Vorhandenseins einer funktionierenden Blutversorgung/Durchblutung erfolgen, sodass ein etwaiges Heilungspotenzial selbst bei vorübergehenden Sensibilitäts Einschränkungen (z. B. nach Trauma) bewertet werden kann. Folgende Methoden, die allerdings in der klinischen Praxis bisher keinerlei Bedeutung erlangt haben, können grundsätzlich eingesetzt werden.

### Zahnoberflächentemperaturmessung

Die Thermografie oder Temperaturmessung ist als ein nichtinvasives Diagnoseverfahren für die Vitalitätstestung menschlicher Zähne beschrieben worden [38]. Das Grundprinzip dieses Verfahrens basiert darauf, dass Zähne mit einer intakten Blutversorgung (vital/gesund) eine wärmere Zahnoberflächentemperatur aufweisen als solche ohne Blutversorgung.

### Laser-Doppler-Flowmeter (LDF)

Die Laser-Doppler-Flowmetrie (LDF) ist eine weitere nichtinvasive Methode zur Bestimmung der Durchblutung in mikrovaskulären Systemen [39]. Das Licht eines Helium-Neon-Lasers wird auf das zu untersuchende Gewebe gerichtet. Beim Eintritt von Licht in das Gewebe wird es durch die Bewegung von roten Blutkörperchen und stationären Gewebeelementen gestreut und/oder adsorbiert. Photonen, die mit sich bewegenden roten Blutkörperchen interagieren, werden nach dem Doppler-Prinzip gestreut und meist verschoben. Photonen, die jedoch mit unbeweglichem Gewebe interagieren, werden zwar auch gestreut, sind aber nicht Doppler-versetzt. Ein

Teil des Lichts wird an den Photonendetektor zurückgegeben und erzeugt ein Signal.

Da rote Blutkörperchen die überwiegende Mehrheit der sich bewegenden Objekte innerhalb der Zahnmasse ausmachen, kann die Messung des Doppler-versetzten rückgestreuten Lichts als Index für einen pulpalen Blutfluss interpretiert werden. Die LDF kann zuverlässig zwischen gesunden und avitalen Zähnen unterscheiden und z. B. eine Revaskularisierung von Zähnen nachweisen [40]. Die Revaskularisierung der Pulpa scheint nach dieser Methode nachweislich etwa 4 Wochen nach der Zahnreplantation möglich zu sein, was viel früher ist, als es bei herkömmlichen Standard-Sensibilitätstests zu erwarten ist [40].

### Merke

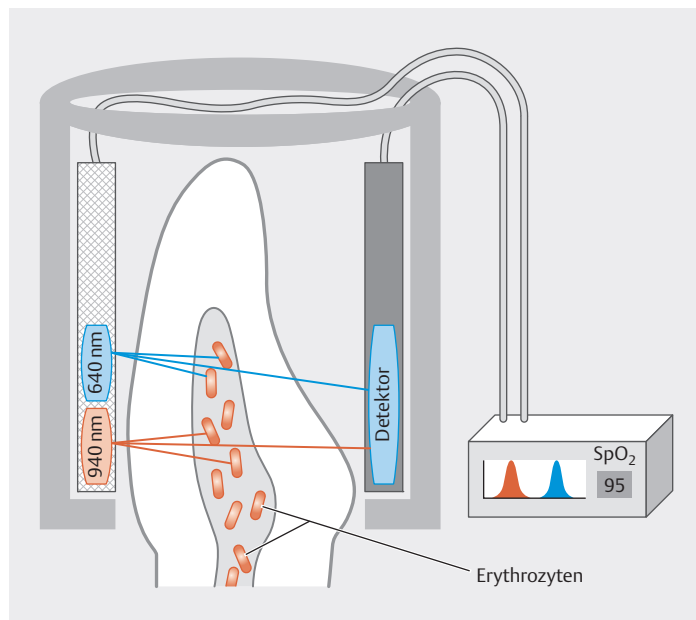
**Eine LDF-Bewertung für menschliche Zähne nach Traumata nach 4 Wochen und in regelmäßigen Abständen bis zu 3 Monaten kann hilfreiche Aufschlüsse über regenerative Prozesse geben.**

### Ultraschall-Doppler-Blutflussmessung

Bei der UFM (Ultrasonic Flowmetry) werden Ultraschallwellen mit einer definierten Frequenz ins Gewebe ausgesendet und streuen dort an zirkulierenden Erythrozyten. Aufgrund dieser Streuung gelangt ein Teil der Ultraschallwellen zurück zum Schallkopf, der somit sowohl als Sender als auch als Empfänger der Schallwellen dient. Die Erythrozyten fungieren somit als Grenzfläche, an denen die Schallwellen reflektiert werden, sodass ein Frequenzanstieg bei Entfernungsabnahme des Schallkopfs zur Grenzfläche erfolgt und bei Entfernungs Zunahme die Frequenz abfällt. Dabei erreichen die Schallwellen eine Penetrationstiefe von bis zu 0,8 cm in das Gewebe [41]. Der Einsatz und die Indikationen der UFM sind folglich vergleichbar mit der LDF. Der UFM wird eine hohe Sensitivität bei der Bestimmung der Vitalität – insbesondere bei Z. n. dentalem Trauma – attestiert [42, 43].

### Pulsoxymetrie

Die Pulsoxymetrie ist in der medizinischen Praxis ein weit verbreiteter objektiver Test zur Überwachung der Sauerstoffsättigung im Blut. Das Pulsoxymeter verfügt über einen lichtemittierenden Sensor, der mithilfe von 2 Dioden rotes Licht (640 nm) und Infrarotstrahlung (940 nm) generiert, und einen Photodetektor auf der gegenüberliegenden Seite des Gefäßbetts. Die lichtemittierende Diode überträgt Licht durch ein Organ (hier: Zahn), wobei oxygeniertes und desoxygeniertes Hämoglobin unterschiedliche Mengen an rotem/infrarotem Licht adsorbieren. Die pulsierende Veränderung des Blutvolumens generiert periodische Veränderungen in der Menge an adsorbiertem Licht am Detektor, womit das Pulsoxymeter insbesondere zur Bestimmung der Sättigung des arteriellen Blutes genutzt werden kann (► **Abb. 8**) [44].



► **Abb. 8** Schematische Darstellung der Pulsoxymetrie und Anzeige der Sauerstoffsättigung.

#### — Cave

Wenn die arterielle Durchblutung sehr niedrig ist, können Pulsoxymeter-Messungen ungenau oder bisweilen gar nicht möglich sein.

Eine geringere Spezifität wird auch in Fällen beschrieben, in denen die koronale Pulpa starke Mineralisierungen aufweist, z. B. nach Trauma, Tertiärdentinbildung nach dem Legen tiefer Füllungen oder im Rahmen physiologischer Alterungsprozesse. In solchen Fällen können falsch negative Ergebnisse entstehen.

## Immunologische Tests zur Analyse des Pulpastatus

Die Funktion von Zytokinen, Proteasen, Entzündungsmediatoren, Wachstumsfaktoren, antimikrobiellen Peptiden im Rahmen der Abwehrfunktion der Pulpa sind bekannt, sodass diese Faktoren prinzipiell als Biomarker dienen und somit den Status der Pulpa anzeigen können [45].

### Abwehrmechanismen der Pulpa

Bei einer Pulpitis laufen – gesteuert durch molekulare Faktoren – kaskadenartige, streng regulierte Abfolgen von Gefäß- und Zellereignissen ab. Zunächst findet eine rein mechanistische Reaktion mit Gefäßveränderungen statt, die durch spezielle Rezeptoren vermittelt werden und die Freisetzung von messbaren Entzündungsmediatoren (u. a. Interleukin-8, IL-6, IL-1) beinhalten [46]. Bei der Immunantwort sind insbesondere Odontoblasten,

Endothelzellen sowie Makrophagen und dendritische Zellen beteiligt. Sie sorgen u. a. für mechanische Barrieren (z. B. Odontoblasten), Reizweiterleitung (Nervenfasern) oder Differenzierung (z. B. adulte Pulpastammzellen), um Infektionen zu begrenzen, Verletzungen zu signalisieren und die Reparatur zu fördern. Allerdings ist das Pulpagewebe direkt von Zahnhartsubstanz umgeben, was die Reaktionslage beeinflusst bzw. einschränkt, im Unterschied zu anderen von Weichgewebe umgebenen Strukturen.

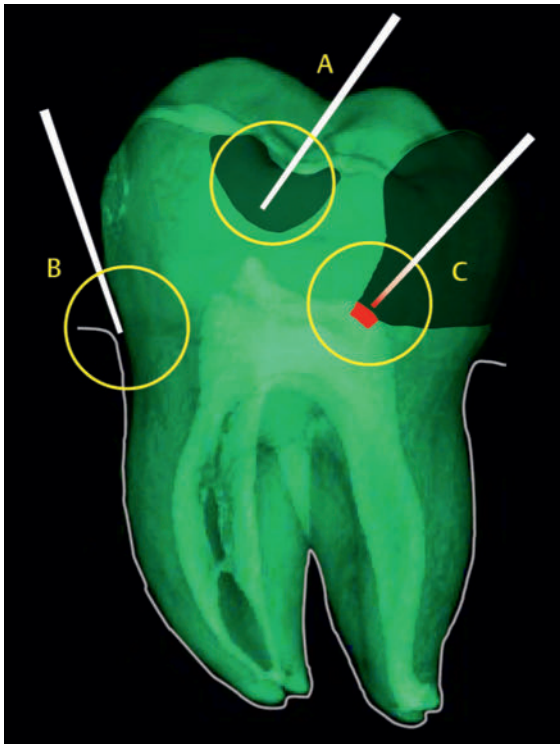
In der Parodontologie wird der Nachweis bestimmter Biomarker im Speichel oder in der gingivalen Sulcusflüssigkeit schon lange zur Bestimmung der Progredienz oder der Remission der Parodontitis eingesetzt [47]. Matrix-Metalloproteinasen (MMP) wie MMP-8 und -9 gelten als zentrale Biomarker für den Weichteilabbau im parodontalen Gewebe. Aufgrund von Gemeinsamkeiten in der parodontalen und pulpalen Entzündung – beide münden nach der mikrobiell verursachten Infektion letztlich in eine Knochenresorption (vertikaler Knochenverlust bzw. apikale Parodontitis) – wird davon ausgegangen, dass beide Pathologien dieselben Biomarker exprimieren [48].

Die Pulpa gilt als ein reaktives Gewebe, das mit dem umliegenden Gewebe interagiert. Änderungen von Proteinmarkern im Pulpablut [49], im Dentinliquor [50], im apikalen Fluid [51] und in der Sulcusflüssigkeit [52], die mit pulpatischen Symptomen korrelierten, wurden bereits nachgewiesen. Bis jetzt hat die molekulare Diagnostik allerdings bei endodontischen Fragestellungen im Hinblick auf Diagnostik und Therapieplanung noch keinen Einzug in den klinischen Alltag gehalten [53].

Diese Technik könnte möglicherweise zukünftig zu einer vielversprechenden Methode weiterentwickelt werden. Zum Beispiel könnte man bei fraglichen Zähnen Dentinliquor vor der Füllungstherapie, Pulpablut vor der direkter Überkappung oder auch Sulcusflüssigkeit (► **Abb. 9**) gewinnen und auf Entzündungsparameter untersuchen. Anhand der labortechnischen Parameter kann man dann auf den Pulpastatus schließen. Je nach Untersuchungsergebnis könnte man anschließend versuchen, Zähne vital zu erhalten, bei denen nach den klassischen Untersuchungsmethoden eine erfolgreiche Überkappung eher unwahrscheinlich erscheint oder auch anderenfalls direkt eine Wurzelkanalbehandlung einleiten. In jedem Fall wären bei einer irreversiblen Pulpitis die Risiken für eine komplette bakterielle Besiedlung des gesamten Wurzelkanalsystems und die apikale Parodontitis minimiert.

## Pulpablutung

Eine Pulpahheilung kann auch nach einer Freilegung im Kariesen erreicht werden, wenn die Entzündung den Status der reversiblen Pulpitis nicht übersteigt [54]. Die direkte Überkappung (► **Abb. 10**) der Pulpa ist bei Zähnen mit re-



► **Abb. 9** Mögliche Entnahmestellen zur immunologischen Bestimmung des Pulpastatus. A: Pulpablut; B: Dentinliquor; C: Sulcusflüssigkeit.

versibler Pulpitis nämlich mit einer hohen Erfolgsrate assoziiert [28, 55, 56]. Selbst Zähne mit diagnostizierter irreversibler Pulpitis und initialer periapikaler Beteiligung konnten erfolgreich mit einer direkten Überkappung vital erhalten werden [28].

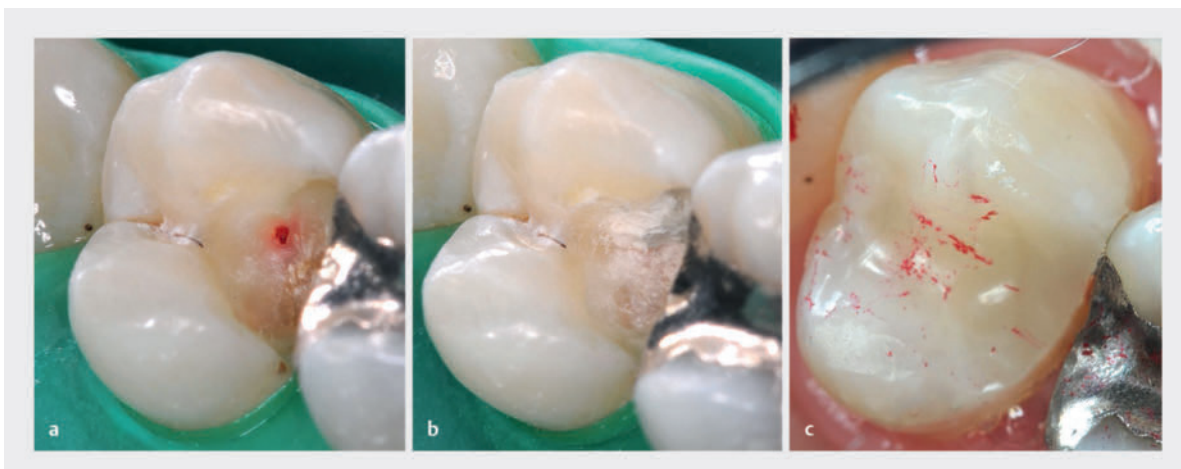
Allerdings sollte man das biologische Alter der Pulpa (= Grad der Vorschädigung durch die Summation der einwirkenden Noxen im Laufe des Lebens) mit in Betracht ziehen. Viele der Studien zur irreversiblen Pulpitis und partieller Pulpotomie respektive direkter Überkappung untersuchten zumeist junge Patienten mit Zähnen mit Primärkaries (= geringer Grad der pulpalen Vorschädigung) und wiesen daher eine gute Regenerationsfähigkeit auf. Unabhängig davon stellt das Ausmaß der Pulpablutung einen wichtigen Aspekt in der klinischen Entscheidungsfindung bei vitalerhaltenden Maßnahmen dar.

Kommt es bei der Kariesexkavation zu einer Exposition der Pulpa mit einer Blutung, so kann das Ausmaß der Blutung dazu dienen, den Zustand der Pulpa zu bewerten. Der Grad der Pulpablutung kann ein zuverlässiger Indikator sein – vor allem in Kombination mit präoperativen Sensibilitätstests, klinischen Befunden und Symptomen [57].

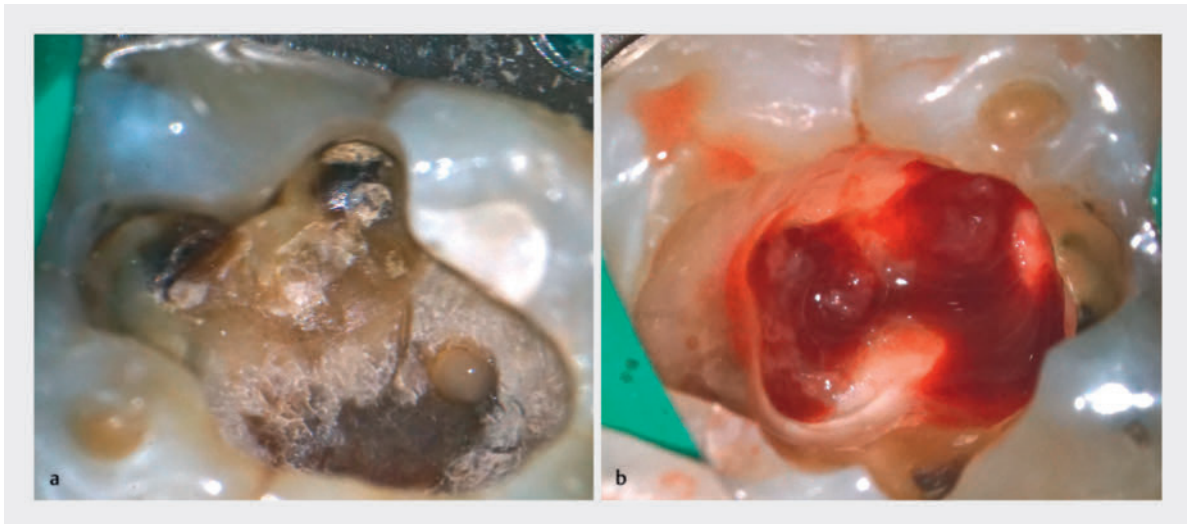
**Merke**

**Die Stärke der Blutung beim Freilegen des Pulpagewebes kann den Grad der Entzündung der Pulpa widerspiegeln (► Abb. 11).**

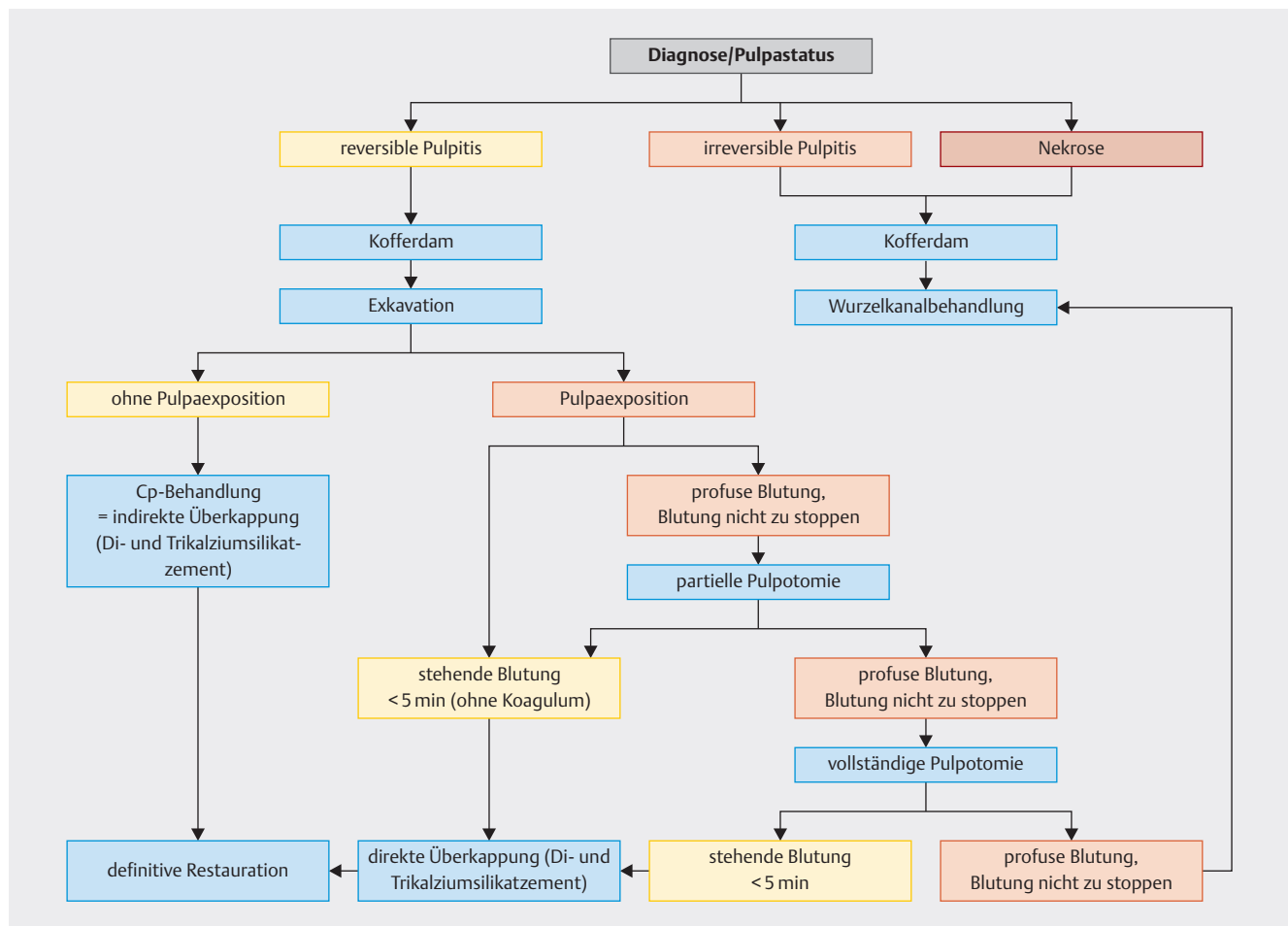
Eine übermäßige Blutung des Gewebes deutet in der Regel auf eine Pulpa mit geringer oder gar keiner Chance auf Heilung hin [58]. Mit zunehmender Blutung bei Exposition steigt die Wahrscheinlichkeit einer irreversiblen Entzündung [57]. Pulpagewebe mit starken und anhaltenden Blutungen weisen deutlich schlechtere Heilungsprognosen auf als solche mit geringer oder nur kurzzeitigen Blutungen [57].



► **Abb. 10** Im Rahmen der Exkavation exponierte Pulpa an Zahn 24.  
 a Stehende Blutung der Pulpa. Foto: Dr. M. Sabandal, Münster.  
 b Zustand nach direkter Überkappung mit einem Di- und Trikalziumsilikat-Zement (Biodentin, Septodont, Saint-Maur-des-Fossés Cedex, Frankreich). Foto: Dr. M. Sabandal, Münster.  
 c Zahn nach definitiver Füllung bei der Okklusionskontrolle. Foto: Dr. M. Sabandal, Münster.



► **Abb. 11** Zahn 47 mit akzidenteller Pulpaeröffnung.  
 a Spontane Pusentleerung (Bildung eines Eitertropfens) bei einem beschwerdefreien Zahn (Sensibilität = positiv; Perkussion = negativ).  
 b Persistierende profuse Blutung mehr als 5 min nach vollständiger Pulpotomie; Indikation zur Wurzelkanalbehandlung.



► **Abb. 12** Flussdiagramm zur Entscheidungsfindung bei tiefen kariösen Läsionen in Abhängigkeit vom vermuteten oder verifizierten Pulpastatus.

Klinisch sollte eine Pulpablutung innerhalb von 5 min zum Stehen gebracht werden können (Wattepellet mit NaOCl getränkt) [54]. Ist dies nicht zu erreichen, kann anstatt der direkten Überkappung eine partielle oder vollständige Pulpotomie vorgenommen werden (► **Abb. 12**).

#### Merke

**Klinisch sollte eine Pulpablutung innerhalb von 5 min zum Stehen gebracht werden können.**

Anmerkung: Voraussetzung für eine vitalerhaltende Maßnahme bleibt immer eine Blutung. Bei der Exposition der Pulpa gibt es jedoch auch Fälle, in denen kaum blutendes Gewebe zu erkennen ist. Dies kann bisweilen auch als Hinweis auf eine beginnende (partielle Nekrose) gedeutet werden. Die Abgrenzung ist folglich diffizil, und der klinische Befund weist einen Interpretationsspielraum auf.

#### KERNAUSSAGEN

- Eine korrekte Diagnose des Status der Pulpa vor vitalerhaltenden Maßnahmen ist ein Garant für eine erfolgreiche Behandlung, sodass hierfür eine genaue Beurteilung des Infektions- und der Entzündungsgrads der Pulpa zwingend erforderlich ist [59].
- Den Zustand der Pulpa durch klinische Tests genau zu beurteilen und zwischen gesundem und verändertem Pulpagewebe zu unterscheiden, gestaltet sich häufig schwierig [26].
- Histologisch verifizierte chronische Entzündungen, Mikroabszesse oder Nekrosen können sowohl vor als auch nach vitalerhaltenden Maßnahmen ohne Beschwerdebild auftreten [60]. Auch besteht nicht zwingend ein signifikanter Zusammenhang zwischen spontanen Schmerzen vor der Behandlung und einer erfolgreichen vitalerhaltenden Maßnahme [57, 61].
- Trotz aller Einschränkungen liefern Sensibilitätstests deshalb wertvolle diagnostische Informationen, wenn sie von einem erfahrenen Zahnarzt durchgeführt und interpretiert werden [26]. Sensibilitätstests sollten mit einem möglichst kalten Medium (z. B. CO<sub>2</sub>-Schnee) erfolgen [11].
- Grundvoraussetzungen für alle vitalerhaltenden Maßnahmen sind eine zumindest regenerationsfähige Pulpa und die Abwesenheit von Bakterien [62].
- Bei Einhaltung elementarer therapeutischer Spielregeln bei der Kariesexkavation ist das Risiko einer Kontamination durch vorheriges Anlegen eines Kofferdams („conditio sine qua non“) und einer stringenten peripher zentral gerichteten Exkavation in Verbindung mit einer Kavitätentoilette (z. B. NaOCl) erheblich reduziert.
- Zusätzlich gibt es auf dem Gebiet der Überkappungsmaterialien sehr gute Präparate, die nicht nur das ideale Milieu für die Vitalerhaltung schaffen, sondern auch noch druckstabil und nicht resorbierbar sind.
- Zur Versorgung und Überschichtung von pulpaalem Gewebe gelten hydraulische Zemente auf Kalziumsilikatbasis [63] als viel versprechende Alternative zu Kalziumhydroxid.
- Voraussetzung für den Erfolg ist in allen Fällen eine definitive bakterienrichte Restauration.

#### Interessenkonflikt

Sebastian Bürklein und Martin Sabandal geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. Till Dammaschke gibt an, Honorare von Septodont für Vorträge erhalten zu haben.



## Autoren/Autorinnen

**Sebastian Bürklein**

Prof. Dr. med. dent., 1998–2003 Studium der Zahnmedizin in Münster, 2005 Promotion, 2003–2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistenzzahnarzt der Poliklinik und Klinik für Zahnerhaltung, 2006–2009 Weiterbildung zum Oralchirurgen in der Privat-Zahnklinik Bochum.

2009 Ernennung zum Spezialisten für Endodontologie (DGET). 2010 Anerkennung zum Fachzahnarzt für Oralchirurgie. 2011 Oberarzt und stellvertretender Leiter der Zentralen Interdisziplinären Ambulanz (ZIA) des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (ZMK) des Universitätsklinikums Münster. 2015 Habilitation. 2019 Ernennung zum außerplanmäßigen Professor.

**Martin Sabandal**

Dr. med. dent., 1999–2005 Studium der Zahnmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2009 Promotion. 2006–2011 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Poliklinik für Zahnerhaltung des Universitätsklinikums Münster, 2012 Weiterbildungsassistent in freier Praxis,

seit 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Zentralen interdisziplinären Ambulanz des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Münster.

**Till Dammaschke**

Prof. Dr. med. dent., 1987–1993 Studium der Zahnmedizin an der Georg-August-Universität Göttingen. Seit 1994 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Poliklinik für Zahnerhaltung der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. 1996 Promotion. Seit 1998 Oberarzt der oben

genannten Klinik in Münster. 2007 Ernennung zum Akademischen Rat. 2008 Habilitation. 2009 Ernennung zum Akademischen Oberrat. 2012 Ernennung zum außerplanmäßigen Professor.

## Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. med. dent. Sebastian Bürklein**  
Zentrum für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde  
Zentrale Interdisziplinäre Ambulanz  
Universitätsklinikum Münster  
Albert-Schweitzer-Campus 1/W30  
48149 Münster  
sebastian.buerklein@ukmuenster.de

## Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Prof. Dr. med. dent. Sebastian Bürklein, Münster.

## Literatur

- [1] Seltzer S, Bender IB, Ziontz M. The dynamics of pulp inflammation: correlations between diagnostic data and actual histologic findings in the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963; 16: 846–871
- [2] Dummer PM, Hicks R, Huws D. Clinical signs and symptoms in pulp disease. *Int Endod J* 1980; 13: 27–35
- [3] Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF jr. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod* 2014; 40: 1932–1939
- [4] Abbott PV, Yu C. A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Aust Dent J* 2008; 52 (1 Suppl): 17–31
- [5] Dahl E, Mjör IA. The structure and distribution of nerves in the pulp–dentin organ. *Acta Odontol Scand* 1973; 31: 349–356
- [6] Gunji T. Morphological research on the sensitivity of dentin. *Arch Histol Jpn* 1982; 45: 45–67
- [7] Byers MR, Narhi MO. Nerve Supply of the Pulpodentin Complex and Responses to Injury. In: Hargreaves KM, Goodis HE, eds. *Seltzer and Bender's dental Pulp*. Chicago, IL: Quintessence; 2002: 155–157
- [8] Olgart L. Excitation of intradental sensory units by pharmacological agents. *Acta Physiol Scand* 1974; 92: 48–55
- [9] Rickoff B, Trowbridge H, Baker J et al. Effects of thermal vitality tests on human dental pulp. *J Endod* 1988; 14: 482–485
- [10] Krell KV. The effects of CO<sub>2</sub> ice on PFM restorations. *J Endod* 1985; 11: 51–52
- [11] Fuss Z, Trowbridge H, Bender IB et al. Assessment of reliability of electrical and thermal pulp testing agents. *J Endod* 1986; 12: 301–305
- [12] Mumford JM. Evaluation of gutta percha and ethyl chloride in pulp-testing. *Br Dent J* 1964; 116: 338–343
- [13] Narhi MVO. The characteristics of intradental sensory units and their responses to stimulation. *J Dent Res* 1985; 64: 564–571
- [14] Lundy T, Stanley HR. Correlation of pulpal histopathology and clinical symptoms in human teeth subjected to experimental irritation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1969; 27: 187–201
- [15] Rickoff B, Trowbridge H, Baker J et al. Effects of thermal vitality tests on human dental pulp. *J Endod* 1988; 14: 482–485
- [16] Pantera EA jr., Anderson RW, Pantera CT. Reliability of electric pulp testing after pulpal testing with dichlorodifluoromethane. *J Endod* 1993; 19: 312–314
- [17] Myers JW. Demonstration of a possible source of error with an electric pulp tester. *J Endod* 1998; 24: 199–200
- [18] Cooley RL, Robison SF. Variables associated with electric pulp testing. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980; 50: 66–73
- [19] Myers JW. Demonstration of a possible source of error with an electric pulp tester. *J Endod* 1998; 24: 199–200
- [20] Gopikrishna V, Kandaswamy D, Tinagupta K. Evaluation of efficacy of a new custom made pulse oximeter dental probe in comparison with the electrical and thermal tests for assessing pulp vitality. *J Endod* 2007; 33: 411–414
- [21] Arun A, Mythri H, Chachapan D. Pulp vitality tests – an overview on comparison of sensitivity and vitality. *Indian J Oral Sci* 2015; 6: 41–46
- [22] Bender IB, Seltzer S. The effect of periodontal disease on the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 33: 458–474
- [23] Gopikrishna V, Pradeep G, Venkateshabu N. Assessment of pulp vitality: a review. *Int J Paediatr Dent* 2008; 19: 3–15
- [24] Weisleder R, Yamauchi S, Caplan DJ et al. The validity of pulp testing: a clinical study. *J Am Dent Assoc* 2009; 140: 1013–1017
- [25] Dummer PM, Hicks R, Huws D. Clinical signs and symptoms in pulp disease. *Int Endod J* 1980; 13: 27–35

- [26] Alghaithy RA, Qualtrough AJ. Pulp sensibility and vitality tests for diagnosing pulpal health in permanent teeth: a critical review. *Int Endod J* 2017; 50: 135–142
- [27] Ausschill TM, Arweiler NB, Hellwig E et al. Success rate of direct pulp-capping with calcium hydroxide. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2003; 113: 946–952
- [28] Parinyaprom N, Nirunsittirat A, Chuveera P et al. Outcomes of direct pulp capping by using either ProRoot Mineral Trioxide Aggregate or Biodentine in permanent teeth with carious pulp exposure in 6- to 18-year-old patients: a randomized controlled trial. *J Endod* 2018; 44: 341–348
- [29] Tyldesley WR, Mumford JM. Dental pain and the histological condition of the pulp. *Dent Pract* 1970; 20: 333–336
- [30] Chilton NW, Fertig JW. Pulp responses of bilateral intact teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 33: 797–800
- [31] Reiss HL, Furedi A. Significance of the pulp test as revealed in microscopic study of the pulps of 130 teeth. *Dent Cosmos* 1933; 75: 272–283
- [32] Rost A, Schenck EG. The effect of tramadol and other analgesics on the pain threshold in human dental pulp. *Arzneimittel-Forschung* 1978; 28: 181–183
- [33] Harkins SW, Chapman CR. Detection and decision factors in pain perception in young and elderly men. *Pain* 1976; 2: 253–264
- [34] Harkins SW, Chapman CR. Detection and decision factors in pain perception in young and elderly women. *J Gerontol* 1977; 32: 428–435
- [35] Bernick S. Effect of ageing on the nerve supply to human teeth. *J Dent Res* 1976; 46: 694–699
- [36] Bernick S, Nedelman C. Effect of ageing on the human pulp. *J Endod* 1975; 1: 88–94
- [37] Ozcelik B, Kuraner T, Kendir B et al. Histopathological evaluation of the dental pulps in crown fractured teeth. *J Endod* 2000; 26: 271–273
- [38] Kells BE, Kennedy JG, Biagioni PA et al. Computerized infrared thermographic imaging and pulpal blood flow: part 2. Re-warming of healthy human teeth following a controlled cold stimulus. *Int Endod J* 2000; 33: 448–462
- [39] Gazelius B, Olgart L, Edwall B et al. Non-invasive recording of blood flow in human dental pulp. *Endod Dent Traumatol* 1986; 2: 219–221
- [40] Yanpiset K, Vongsavan N, Sigurdsson A et al. The efficacy of laser Doppler flowmetry for the diagnosis of revascularization of reimplanted immature dog teeth. *Dent Traumatol* 2001; 17: 63–70
- [41] Yoon MJ, Kim E, Lee SJ et al. Pulpal Blood Flow Measurement with Ultrasound Doppler Imaging. *J Endod* 2010; 36: 419–422
- [42] Ahn SY, Kim D, Park SH. Efficacy of Ultrasound Doppler Flowmetry in Assessing Pulp Vitality of Traumatized Teeth: A Propensity Score Matching Analysis. *J Endod* 2018; 44: 379–383
- [43] Cho YW, Park SH. Use of ultrasound Doppler to determine tooth vitality in a discolored tooth after traumatic injury: its prospects and limitations. *Restor Dent Endod* 2014; 39: 68–73
- [44] Salyer JW. Neonatal and pediatric pulse oximetry. *Respiratory Care* 2003; 48: 386–397
- [45] Staquet MJ, Carrouel F, Keller JF et al. Pattern-recognition receptors in pulp defense. *Adv Dent Res* 2011; 23: 296–301
- [46] Graves DT, Oates T, Garlet GP. Review of osteoimmunology and the host response in endodontic and periodontal lesions. *J Oral Microbiol* 2011; 3: 5304
- [47] Bostanci N, Ilgenli T, Emingil G et al. Gingival crevicular fluid levels of RANKL and OPG in periodontal diseases: implications of their relative ratio. *J Clin Periodontol* 2007; 34: 370–376
- [48] Zehnder M, Wegehaupt FJ, Attin T. A first study on the usefulness of matrix metalloproteinase 9 from dentinal fluid to indicate pulp inflammation. *J Endod* 2011; 37: 17–20
- [49] Mente J, Petrovic J, Gehrig H et al. A prospective clinical pilot study on the level of matrix metalloproteinase-9 in dental pulpal blood as a marker for the state of inflammation in the pulp tissue. *J Endod* 2016; 42: 190–197
- [50] Zehnder M, Rechenberg DK, Bostanci N et al. Comparison of vehicles to collect dentinal fluid for molecular analysis. *J Dent* 2014; 42: 1027–1032
- [51] Rechenberg DK, Bostanci N, Zehnder M et al. Periapical fluid RANKL and IL-8 are differentially regulated in pulpitis and apical periodontitis. *Cytokine* 2014; 69: 116–119
- [52] Karapanou V, Kempuraj D, Theoharides TC. Interleukin-8 is increased in gingival crevicular fluid from patients with acute pulpitis. *J Endod* 2008; 34: 148–151
- [53] Rechenberg DK, Zehnder M. Molecular diagnostics in endodontics. *Endod Topics* 2014; 30: 51–65
- [54] Bogen G, Kim JS, Bakland LK. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: An observational study. *J Am Dent Assoc* 2008; 139: 305–315
- [55] Jang Y, Song M, Yoo IS et al. A randomized controlled study of the use of ProRoot Mineral Trioxide Aggregate and Endocem as direct pulp capping materials: 3-month versus 1-year outcomes. *J Endod* 2015; 41: 1201–1206
- [56] Brizuela C, Ormeño A, Cabrera C et al. Direct Pulp Capping with Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate, and Biodentine in Permanent Young Teeth with Caries: A Randomized Clinical Trial. *J Endod* 2017; 43: 1776–1780
- [57] Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H et al. A clinical study of direct pulp capping applied to caries-exposed pulps. *J Endod* 1996; 22: 551–556
- [58] Christensen GJ. Pulp capping. *J Am Dent Assoc* 1998; 129: 1297–1299
- [59] Kang CM, Sun Y, Song JS et al. A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *J Dent* 2017; 60: 8–13
- [60] Pereira JC, Segala AD, Costa CA. Human pulpal response to direct pulp capping with an adhesive system. *Am J Dent* 2000; 13: 139–147
- [61] Ræder J. Objective measurement of subjective pain-experience: Real nociceptive stimuli versus pain expectation. *Scand J Pain* 2017; 16: 136–137
- [62] Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 20: 340–349
- [63] Harms CS, Schäfer E, Dammaschke T. Clinical evaluation of direct pulp capping using a calcium silicate cement-treatment outcomes over an average period of 2.3 years. *Clin Oral Investig* 2018. doi:10.1007/s00784-018-2767-5

## Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0928-7435>  
 Zahnmedizin up2date 2019; 13: 355–369  
 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
 ISSN 1865-0457

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://eref.thieme.de/CXD8C5Y>. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/CXD8C5Y> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.



### Frage 1

Welche Aussage bezüglich der Begriffe Vitalität und Sensibilität trifft zu?

- A Sensibilität und Vitalität sind Synonyme.
- B Ein vitaler Zahn kann eine fehlende Sensibilität aufweisen.
- C Ein sensibler Zahn ist vital.
- D Die Sensibilität beschreibt die Abwehrlage des Zahnes.
- E Die Vitalität bezieht sich auf die Reizleitung.

### Frage 2

Gängige Sensibilitätstests basieren aus Nervenstimulation. Welche Aussage zur neuronalen Versorgung von Zähnen ist *nicht* korrekt?

- A Die Reaktionen der C-Fasern sind meist mit Gewebeschäden verbunden.
- B A $\delta$ -Fasern weisen eine niedrigere Reizschwelle auf als A $\beta$ -Fasern.
- C Die neuronale Dichte bestimmt die Reizintensität.
- D Entzündungsmediatoren, Gefäßveränderungen und Drucksteigerungen modulieren die C-Faser-Reaktionen.
- E A $\delta$ -Fasern und A $\beta$ -Fasern bilden eine funktionelle Einheit.

### Frage 3

Wie werden Pulpatests bewertet bzw. wie funktionieren sie?

- A Kälte- und Wärmetests geben Auskunft über die Durchblutung des Zahnes.
- B Die Sensitivität eines Tests bestimmt den klinischen Nutzen.
- C Die Spezifität beschreibt den klinischen Nutzen.
- D Pulpatests zielen auf die Reizung der C-Fasern.
- E Thermische Tests bewirken eine Verschiebung des Dentinliquors.

### Frage 4

Was ist bei thermischen Tests bzw. Kälte- und Wärmetests zu berücksichtigen? Welche Aussage ist *nicht* korrekt?

- A Thermische Tests ermöglichen eine Aussage über die Sensibilität eines Zahnes.
- B Thermische Tests korrelieren eingeschränkt mit dem histologischen Bild des Pulpastatus.
- C Thermische Tests benötigen einen Test- und einen Kontrollzahn.
- D Je kälter der Reiz, desto besser ist die Nervenstimulation.
- E Die Applikationsdauer erfolgt bis zur Reizantwort.

### Frage 5

Welche Beschreibung zur elektrischen Pulpatestung (EPT) trifft *nicht* zu?

- A Eine EPT ermöglicht eine qualitative Aussage zum Pulpastatus.
- B Die Isolation zu Nachbarzähnen verhindert falsch positive Aussagen.
- C Ein leitfähiges Medium erhöht den Stromfluss.
- D Die Stromstärke sollte bei einer EPT langsam gesteigert werden.
- E Eine EPT sollte in der Nähe der Pulpahörner erfolgen.

### Frage 6

Welches Statement zur nichtinvasiven Laser-Doppler-Flowmetrie ist korrekt?

- A Stationäre Gewebe erzeugen keine Streuung.
- B Stationäre und bewegliche Gewebe werden Dopplerversetzt.
- C Erythrozyten sorgen für die Dopplerversetzung.
- D Zahnverfärbungen haben keinen nennenswerten Einfluss.
- E Laser-Doppler-Flowmetrie ist für die Traumanachsorge ungeeignet.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung...

### Frage 7

Die Pulsoxymetrie stellt eine Methode zur Prüfung des Pulpastatus dar. Welche Aussage trifft *nicht* zu?

- A Pulsoxymetrie nutzt Licht mit unterschiedlicher Wellenlängen.
- B Pulsoxymetrie bedarf einer Patientenreaktion.
- C Pulsoxymetrie nutzt periodische Veränderungen der Lichtadsorption des Hämoglobins.
- D Pulsoxymetrie kann die Sauerstoffsättigung angeben.
- E Pulsoxymetrie wird durch zahnbezogene Alterungsprozesse weniger sensitiv.

### Frage 8

Welche der folgenden Beschreibungen passt *nicht* zu immunologischen Pulpatests?

- A Zytokine, Proteasen, Entzündungsmediatoren, Wachstumsfaktoren und antimikrobielle Peptide sind in der pulpalen Entzündung relevant.
- B Odontoblasten, Endothelzellen sowie Makrophagen und dendritische Zellen sind an der Immunabwehr beteiligt.
- C Parodontale und pulpale Entzündung exprimieren unterschiedliche Biomarker.
- D Matrix-Metalloproteinasen stehen als initiale Marker zur Diagnostik zur Verfügung.
- E IL-1, IL-6 und -8 werden initial kaskadenartig freigesetzt und bewirken primär Gefäßveränderungen.

### Frage 9

Welche der folgenden Aspekte ist für vitalerhaltende Maßnahmen gültig?

- A Die exponierte Pulpa ermöglicht eine Aussage zum Pulpastatus.
- B Resorbierbare Überkappungsmaterialien auf Kalziumhydroxidbasis sind zu empfehlen.
- C Aseptische Kautelen (z. B. Kofferdam) sind optional zu verwenden.
- D Ein provisorischer Verschluss folgt einer Überkappung mit Kalziumsilikatzement.
- E Die Blutstillung bei direkter Überkappung und Pulpotomien wird durch ein festes Blutkoagel verifiziert.

### Frage 10

Welche der folgenden Empfehlungen zur technisch anspruchsvollen Pulpotomie ist *falsch*?

- A Zur partiellen und koronalen Pulpotomie empfiehlt sich die Nutzung eines Diamanten und Kühlung mit isotoner Kochsalzlösung.
- B Die Pulpa- und Dentinwunde sollte desinfiziert und mit einem geeigneten Material überkappt werden.
- C Falls es bei der partiellen Pulpotomie nicht zum Sistieren der Blutung kommt, sollte keine vollständige Pulpotomie mehr erfolgen.
- D Hydraulische Zemente auf Kalziumsilikatbasis werden zur Versorgung der Pulpa-/Dentinwunde empfohlen.
- E Regelmäßige Nachkontrollen zur Überprüfung des Therapieerfolgs sind indiziert.