

**RENZO BASSETTI**  
**JOHANNES KUTTENBERGER**  
**MARIO BASSETTI**

Klinik für Mund-, Kiefer-,  
 Gesichtschirurgie, Oralchirurgie,  
 Luzerner Kantonsspital, Luzern

**KORRESPONDENZ**

Dr. med. dent. Renzo Bassetti,  
 MAS  
 Fachzahnarzt für Oralchirurgie  
 SSO (CH)  
 Fachzahnarzt für Rekonstruktive  
 Zahnmedizin SSO (CH)  
 WBA für orale Implantologie  
 WBA für allgemeine Zahnmedizin  
 Klinik für Mund-, Kiefer-,  
 Gesichtschirurgie, Oralchirurgie  
 Luzerner Kantonsspital, Luzern  
 Spitalstrasse  
 CH-6000 Luzern 16  
 Tel. +41 41 205 45 77  
 Fax +41 41 205 45 75  
 E-Mail: renzo.bassetti@gmx.ch



## Regenerative endodontische Therapie nach Frontzahntrauma

Ein Fallbericht

**SCHLÜSSELWÖRTER**

Regeneration, Wurzelbehandlung, Frontzahntrauma, nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum

**Bild oben:** Klinische Situation zwei Jahre nach Frontzahntrauma (Avulsion 11, palatinale Dislokation 21)

**ZUSAMMENFASSUNG**

Bei Zahntraumata sind meist die zentralen Oberkieferinzisiven betroffen, wobei sich deren Wurzeln zu diesem Zeitpunkt teilweise noch in Entwicklung befinden. Je nach Art des Traumas kommt es nicht selten zu einer Pulpanekrose oder es ist eine absehbar. Um so einen Zahn zu erhalten, ist eine endodontische Behandlung unumgänglich. Die herkömmlichen Methoden zur endodontischen Behandlung von Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum (Apexi-

fikation, Apexogenese) haben den grossen Nachteil, dass das Wurzelwachstum nicht mehr voranschreitet. Als Alternative wird die Regeneration/Revaskularisation der dentalen Pulpa (RP) vorgeschlagen, wodurch ein weiteres Wachstum der Zahnwurzel ermöglicht werden kann. Das Ziel dieses Fallberichtes ist es, mit einem Patientenbeispiel, das Vorgehen bei einer RP-Therapie zu zeigen und einen kochbuchartigen Leitfaden vorzuschlagen.

## Einleitung

Die endodontische Behandlung eines permanenten Zahnes, dessen Wurzelwachstum noch nicht abgeschlossen ist, stellt für den behandelnden Zahnarzt bis heute eine Herausforderung dar. Je weniger fortgeschritten das Wurzelwachstum, d.h., je grösser die Öffnung des Apex ist, desto schwieriger erweist sich das vollständige Debridement und die Füllung des Kavums mit konventionellen Materialien (ANDREASEN ET AL. 2002).

Die bis heute am häufigsten durchgeführte Methode zur Behandlung devitaler Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum stellt die Apexifikation dar (FRANK 1966; HEITHERSAY 1975). Hierbei wird durch eine mehrmalige Einlage von Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) während mehrerer Monate die Bildung einer apikalen Kalzifikationsbarriere induziert, worauf schliesslich eine definitive Wurzelfüllung mit Guttapercha folgt (CVEK 1972; VERNIEKS & MESSER 1978). Die Nachteile einer Langzeittherapie mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mit dem Ziel der Apexifikation sind:

1. Lange Behandlungszeit (SHABAHANG 2013)
2. Unvorhersagbarkeit der Entstehung einer apikalen Barriere (SHABAHANG 2013)
3. Risiko des Auftretens einer Zahnfraktur (ANDREASEN ET AL. 2002; CVEK 1992)

Einige Autoren schlugen die Durchführung eines apikalen Pfropfens (Plug) mit Mineral Trioxid Aggregat (MTA) als Alternative zur Apexifikation mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  vor (Apexogenese) (HOLDEN ET AL. 2008; MOORE ET AL. 2011; SHABAHANG ET AL. 1999). Im Gegensatz zur Apexifikation sind bei der Apexogenese weniger Sitzungen bis zum Behandlungsende notwendig, und die Bildung eines apikalen Abschlusses ist vorhersagbarer (SHABAHANG 2013). Die Nachteile dieser Technik sind (SHABAHANG 2013):

1. Wie bei der Apexifikation mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kommt es nur zu einem apikalen Verschluss und nicht zu einer vollständigen Wurzelentwicklung, wodurch die Seitenwände dünn bleiben.
2. Die Schwierigkeit des genügend guten Debridements und der adäquaten Desinfektion aufgrund der Pulpakanalgrösse bleibt.

Als dritte Variante zur Behandlung devitaler Zähne mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wird die sogenannte Regeneration/Revaskularisation der dentalen Pulpa (RP) vorgeschlagen (BEZGIN & SONMEZ 2015; LOVELACE ET AL. 2011; MURRAY ET AL. 2007; SIMON ET AL. 2014). Ziel dieser Methode ist, dass sich das Pulpakavum mit vitalem Gewebe auffüllt, wobei sich dieses Gewebe vom initial vorhandenen Pulpagewebe unterscheidet und sich nie in dieses umwandeln wird (SIMON ET AL. 2014). Der Vorteil ist, dass das vaskularisierte Gewebe im Pulpakavum die weitere Wurzelentwicklung erlaubt, was im Idealfall zu längeren Wurzeln und dickeren Wurzelkanalwänden führt (SHAH ET AL. 2008). Histologische Untersuchungen nach RP-Therapie zeigen in gewissen Fällen Heilung bzw. Reparatur, jedoch nie eine Regeneration der Pulpa (GALLER ET AL. 2016). Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass dieses Therapiekonzept auf zwei älteren Fallberichten basiert (BANCHS & TROPE 2004; IWAYA ET AL. 2001). Entsprechend weisen die meisten daraus abgeleiteten Therapiemodalitäten geringe Fallzahlen auf und sind wenig untersucht. Umstritten bleibt auch, ob die RP-Therapie gegenüber der Apexifikation bessere klinische Resultate zu erzielen vermag (ALBAID ET AL. 2014). Diesem Umstand sollte unbedingt Rechnung getragen werden, wenn eine RP-Therapie in Betracht gezogen wird.

Das Ziel dieses Fallberichtes ist es, anhand eines Patientenbeispiels ein mögliches Vorgehen bei einer RP-Therapie zu dokumentieren und einen kochbuchartigen Leitfaden für den Privatpraktiker vorzuschlagen.

## Fallbericht

### Anamnese

Der zum Zeitpunkt der Befundaufnahme 9-jährige Knabe wurde nach einem Sturz vom Trampolin notfallmässig ins Kinderspital des Luzerner Kantonsspitals eingeliefert. Angesichts der vorhandenen Zahnverletzungen und Rissquetschwunde im Gesicht wurde der Dienstarzt der Klinik für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie, Oralchirurgie involviert.

Gemäss den Angaben der Mutter sei sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer je ein Frontzahn verloren gegangen. Es habe jedoch nur einer dieser beiden Zähne am Unfallort gefunden werden können. Allgemeinmedizinisch war der junge Patient gesund.

### Befund

Extraoral zeigte sich eine 4–5 cm grosse, nach intraoral perforierende RQW, die von unterhalb der Nase bis zur Wange links führte. Zusätzlich zeigte sich eine leichte Schürfwunde am linken Nasenflügel. Die Mundöffnung war nicht eingeschränkt.

Intraoral fehlten die Zähne 11, 31. Der Zahn 21 zeigte eine Dislokation nach palatinal und eine Schmelz-Dentin-Fraktur ohne Pulpabeteiligung mesial. Der Milchzahn 52 war Grad III mobil. An der Gingiva von 12–22 zeigten sich RQWs.

Radiologisch bestätigte das Orthopantomogramm (OPT) mit den zahnlosen Alveolen regio 11, 31 die Avulsion beider Zähne (Abb. 1).

### Diagnosen

1. Avulsion 11, 31 (nur Zahn 11 in Milch eingelegt mitgebracht)
2. Dislokation nach palatinal 21
3. Schmelz-Dentin-Fraktur ohne Pulpabeteiligung 21 mesial
4. RQW von unterhalb der Nase bis zur Wange links verlaufend (perforierend, 4–5 cm)
5. Kleine RQWs von 12–22 an Gingiva
6. Schürfwunde am linken Nasenflügel
7. Starke Subluxation 52

### Therapie 1 (Notfall)

Der avulierte Zahn 11 wurde unverzüglich in die Miradent SOS Dentobox (MedCem GmbH, Weinfelden, Schweiz) eingelegt. Dem Medium in der Dentobox wurde zusätzlich der Pulver-



**Abb. 1** Das Orthopantomogramm, aufgenommen unmittelbar nach dem Eintreffen des Patienten im Notfall des Kinderspitals, zeigt leere Alveolen regio 11, 31 sowie eine Luxation des Zahnes 21. Der Patient befindet sich im Wechselgebiss I.

inhalt einer Kapsel bestehend aus Tetracyclin und Dexamethason (MedCem GmbH, Weinfelden, Schweiz) beigemischt und aufgelöst.

Nach Einleitung der nasalen Intubationsnarkose (ITN) sowie der üblichen Lagerung und Desinfektion des Patienten wurde im Oberkiefer-Frontzahnbereich und extraoral im RQW-Bereich lokal anästhesiert (Ultracain D-S forte mit Adrenalin 1:100 000, Sanofi-Aventis SA, Vernier, Schweiz). Als Erstes wurde der Zahn 21 manuell reponiert und der Zahn 11 replantiert und mit einer nicht starren Schiene (TTS, Medartis AG, Basel, Schweiz) unter Okklusion in der richtigen Position von 54–64 stabilisiert und geklebt. Die Dentinwunde am Zahn 21 mesial wurde mit einem lichthärtenden Glasionomerzement (GIZ) (Vitrebond™, 3M ESPE, St. Paul, USA) und anschliessend mit einem lichthärtenden Kompositmaterial (Tetric EvoFlow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) nach vorgängiger Ätzung mit 37%iger Phosphorsäure (Total Etch, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und Konditionierung (Syntac®, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) abgedeckt. Der Milchzahn 52 wurde extrahiert. Anschliessend erfolgte die Reinigung und Versorgung der intraoralen und extraoralen RQWs.

Im Anschluss an den Eingriff wurde eine 10-tägige antibiotische Behandlung mit Doxycyclin 100 mg (Vibramycin 100 mg, Pfizer AG, New York, USA) gestartet. Die Dosierung wurde dem Körpergewicht angepasst: 100 mg am ersten Tag, 50 mg pro Tag vom 2. bis zum 10. Tag). Zusätzlich wurde eine 0,1%ige Chlorhexidinspülung (Formula hospitalis, Zentrum für Spitalpharmazie, Luzerner Kantonsspital) zweimal täglich für 2 Wochen, ein Abbeissverbot und weiche Kost für 4 Wochen verordnet.

### Verlauf 1

Sieben Tage nach der notfallmässigen Intervention in ITN präsentierte sich ein beschwerdefreier Patient. Die Klebestellen der TTS waren stabil. Sowohl die extraoralen als auch die intraoralen Nähte wurden entfernt.

### Therapie 2

Zwei Wochen nach dem Unfall zeigte sich ein beschwerdefreier Patient bei klinisch reizfreier Situation (Abb. 2, 3). Das Einzelzahnrontgenbild (EZRx) zeigte ebenfalls eine reizfreie Situation (Abb. 4).

Die TTS wurde entfernt. Nach Setzen der Lokalanästhesie (Ultracain D-S mit Adrenalin 1:200 000, Sanofi-Aventis SA, Vernier, Schweiz) erfolgte am Zahn 11 unter Kofferdam die Trepanation des Pulpakavums mit dem Ziel einer RP. Es wurde *nicht* mechanisch aufbereitet, sondern nur mit 50 ml 1%igem Natriumhypochlorit (NaOCl) das Pulpakavum gespült, wobei die Spitze der Spülkanüle nicht weiter als 2 mm vor den Apex inseriert wurde. Nach der Trocknung des Kavums mit sterilen Papierspitzen wurde dieses mit einer medikamentösen Einlage aus drei verschiedenen Antibiotika (Tre Vita Mix, MedCem GmbH, Weinfelden, Schweiz) versehen (lentuliert). Ein steriles Wattepellet wurde inseriert und der Zugangskanal mit einem provisorischen GIZ-Material (Ketac™ Fil Plus, 3M ESPE, St. Paul, USA) verschlossen.

Einen Monat später wurde wiederum in Lokalanästhesie (Ultracain D-S mit Adrenalin 1:200 000, Sanofi-Aventis SA, Vernier, Schweiz) und unter Kofferdam das Provisorium entfernt, das Pulpakavum mit 30 ml 1%iger NaOCl-Lösung gespült und anschliessend mit sterilen Papierspitzen getrocknet. Durch das Überinstrumentieren (ca. 2 mm über den Apex hinaus) mit einer sterilen K-Feile wurde im periapikalen Gewebe eine Blu-



Abb. 2 Klinische Situation zwei Wochen nach dem Unfall (Frontalansicht). Keine Anzeichen einer Infektion



Abb. 3 Klinische Situation zwei Wochen nach dem Unfall (Okklusalan-sicht) unmittelbar vor Entfernung der TTS-Schiene und dem Beginn der endodontischen Behandlung des Zahnes 11



Abb. 4 Einzelzahnrontgenbild (EZRx) zwei Wochen nach dem Unfall und unmittelbar vor Beginn der endodontischen Behandlung des Zahnes 11

tung provoziert. Die Blutung wurde ca. 3 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze mittels sterilem Wattepellet gestoppt und ein kleines Stück eines zurechtgeschnittenen Kollagenkegels (TissuCone, Baxter Healthcare SA, Zürich, Schweiz) ins Pulpakavum eingebracht, sodass dieses ebenfalls unmittelbar unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze zu liegen kam. Dieser bildete den Boden für das Einbringen des mit sterilem Wasser angemischten MTA (MedCem MTA®, MedCem GmbH, Weinfelden, Schweiz) mit einer Dicke von ca. 3–4 mm (Abb. 5). Das MTA wurde mit einem lichthärtenden GIZ (Vitrebond™, 3M ESPE, St. Paul, USA) abgedeckt. Definitiv verschlossen wurde die Zugangskavität mit einem lichthärtenden Komposit-



**Abb. 5** Radiologische Situation nach Einbringen des MTA-Pfropfens am Zahn 11



**Abb. 6** Radiologische Situation unmittelbar nach dem definitiven Verschluss der Zugangskavität des Zahnes 11 (Ausgangsrontgenbild)



**Abb. 7** Klinische Situation drei Monate nach Beendigung der RP-Therapie. Die Mundhygiene lässt etwas zu wünschen übrig.



**Abb. 8** Radiologische Situation (EZRx) drei Monate nach Abschluss der RP-Therapie: keine Hinweise auf eine periapikale Aufhellung oder Wurzelresorptionen am Zahn 11

material (Tetric EvoCeram, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) nach vorgängiger Ätzung mit 37%iger Phosphorsäure (Total Etch, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und Konditionierung (Syntac®, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) des Schmelzes und Dentins (Abb. 6).

### Verlauf

Drei Monate nach dem definitiven Verschluss des Zahnes erfolgte die erste Nachkontrolle: Die Zähne 12–22 reagierten positiv auf die Testung mit CO<sub>2</sub>-Schnee. Die Mundhygiene liess jedoch etwas zu wünschen übrig (Abb. 7), und der Patient wurde entsprechend instruiert und motiviert. Radiologisch zeigten sich keine Anzeichen von Wurzelresorptionen oder einer apikalen Aufhellung (Abb. 8).

15 Monate nach dem definitiven Verschluss wurde wiederum eine Nachkontrolle durchgeführt: Es präsentierte sich ein beschwerdefreier Patient bei reizfreier klinischer Situation im Oberkiefer-Frontzahnbereich (Abb. 9). Die Zähne 12–22 reagierten positiv auf die Testung mit CO<sub>2</sub>-Schnee. Am Zahn 11 zeigten sich radiologisch keine Hinweise auf Wurzelresorptionen. Die Wurzel schien im Vergleich zum EZRx vor einem Jahr

an Länge zugenommen zu haben. Zusätzlich deutete das EZRx an, dass das Pulpakavum mit einer Kalzifizierung zu reagieren begonnen hatte (Abb. 10).

### Diskussion

Bis zum 14. Lebensjahr erleidet jedes zweite Kind ein Frontzahntrauma (30% an Milchzähnen, 22% an permanenten Zähnen) (ANDREASEN & RAVN 1972). Eine Untersuchung zeigt, dass das Wurzelwachstum zentraler Inzisiven bei Mädchen im Alter von  $8,63 \pm 0,97$  und bei Knaben im Alter von  $8,79 \pm 1,02$  Jahren abgeschlossen ist. In dieser Phase hat sich aber der Apex noch nicht geschlossen (VIDISDOTTIR & RICHTER 2015). Genau während dieser Altersphase (9.–10. Lebensjahr) ereignen sich Traumata permanenter Zähne am häufigsten (ANDREASEN & RAVN 1972). Im Vergleich zu Mädchen scheinen Knaben doppelt so häufig betroffen zu sein (ANDREASEN 1970; ANDREASEN & RAVN 1972). Die Prävalenz ist für die zentralen Oberkiefer-Frontzähne mit Abstand am grössten (ANDREASEN 1970).

Vorausgesetzt die richtigen therapeutischen Massnahmen werden eingeleitet, ist die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Pulpa nach einem Zahntrauma prinzipiell von zwei unterschiedlichen Faktoren abhängig (ANDREASEN & PEDERSEN 1985):

1. Art und Ausmass der Verletzung (Kronenfraktur mit oder ohne Pulpabeteiligung, Kontusion, Subluxation, Extrusion, laterale Dislokation, Intrusion, Avulsion)



**Abb. 9** Klinische Situation 15 Monate nach Abschluss der RP-Therapie. Keine Anzeichen der Ankylose an den Zähnen 11, 21. Mittlerweile wurde der Kompositenaufbau am Zahn 21 durch den Privat Zahnarzt fertiggestellt.



**Abb. 10** Radiologische Situation 15 Monate nach Abschluss der RP-Therapie: Es zeigen sich keine Hinweise auf Wurzelresorptionen. Die Wurzellänge scheint zugenommen zu haben, und das Pulpakavum zeigt Hinweise auf Kalzifikation.

## 2. Stadium der Wurzelentwicklung (Apexöffnung > oder < 2 mm)

Im oben beschriebenen Fall zeigte der Zahn 21 eine Dislokation nach palatinal sowie eine Schmelz-Dentin-Fraktur ohne Pulpabeteiligung. Die Abdeckung der Dentinwunde erhöht die Überlebenswahrscheinlichkeit der Pulpa signifikant (RAVN 1981). Das Wurzelwachstum des Zahnes 21 war noch nicht abgeschlossen. In solchen Fällen sollte bei einer lateralen Dislokation mit der Einleitung einer Wurzelbehandlung unbedingt zugewartet werden, da eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit für eine Revaskularisation der Pulpa besteht (ANDREASEN & PEDERSEN 1985; ROBERTSON 1998). Der Zahn 11 war avulsiert, wobei Unklarheit über die Zeitspanne der trockenen extraoralen Lagerung bestand. Auf eine Einleitung einer Wurzelbehandlung sollte dann verzichtet werden, wenn eine ideale Zahnrettung (Zahn wird innerhalb von 5 min nach Trauma in physiologischer Lösung gelagert) stattgefunden hat und das Wurzelwachstum erst zu  $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$  fortgeschritten ist (Pulpalänge < 19 mm und Pulpabreite > 2 mm) (ANDREASEN ET AL. 1995). Der oben beschriebene Zahn 11 zeigte ein nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum, die Pulpalänge präsentierte sich jedoch bereits länger als 19 mm und es war davon auszugehen, dass der Zahn während ca. 15–20 min trocken gelagert worden war. Es handelte sich hierbei um einen Grenzfall, wobei trotz der geschätzten trockenen extraoralen

Lagerungszeit von deutlich mehr als 5 min mit einer endodontischen Behandlung hätte zugewartet werden können, um einer spontanen Revaskularisierung eine Chance zu geben. Die unklare Zeitspanne der extraoralen trockenen Lagerung führte jedoch zum Entscheid für die Einleitung einer Wurzelbehandlung. Da die Wurzelentwicklung des Zahnes 11 noch nicht abgeschlossen und das Foramen apicale noch > 2 mm geöffnet war, standen die Chancen gut für einen RP-Behandlungsversuch. Dass dieser Therapieansatz funktionieren kann, haben diverse Untersuchungen durchblicken lassen (BEZGIN & SONMEZ 2015; SIMON ET AL. 2014). Da dieses Verfahren jedoch relativ neu ist, fehlen Daten bezüglich Langzeitüberleben und Zahnstabilität gänzlich (GALLER ET AL. 2016). In einer retrospektiven Kurzzuntersuchung deuten sich, verglichen mit MTA- oder Ca(OH)<sub>2</sub>-Apexifikation, leichte Vorteile in der Überlebensrate nach Revitalisierung an. Es gilt aber zu bedenken, dass nur 61 Fälle inkludiert wurden und daher entsprechende Schlussfolgerungen mit Vorsicht zu interpretieren sind (JEERUPHAN ET AL. 2012).

In der regenerativen Endodontie ist eine optimale Desinfektion eine *Conditio sine qua non* (BEZGIN & SONMEZ 2015; DING ET AL. 2009). Die am häufigsten verwendete Spüllösung ist NaOCl. Nun scheint es aber, dass höher konzentrierte NaOCl-Spüllösungen die apikalen Papillenstammzellen (APSZ) daran hindern, sich ans Dentin anzuhafte, und auf diese toxisch wirken (BEZGIN & SONMEZ 2015; MARTIN ET AL. 2014; TREVINO ET AL. 2011). Entsprechend kommt dem Bakterieneliminierungspotenzial des Einlagemedikaments eine umso grössere Bedeutung zu. Anfänglich wurde in der RP-Therapie ein Mix aus drei Antibiotika (Ciprofloxacin, Metronidazol, Minocyclin) verwendet (DING ET AL. 2009; NOSRAT ET AL. 2011). Der grosse Nachteil dieser Kombinationspaste ist die Zahnverfärbung, bedingt durch das Minocyclin (KIM ET AL. 2010). Um diese grünlichen Zahnverfärbungen zu vermeiden, kann anstelle von Minocyclin das Antibiotikum Cefaclor oder Cefuroxim (Cephalosporine zweiter Generation) mit vergleichbarer antimikrobieller Wirkung verwendet werden (SATO ET AL. 1993). Bei der Anwendung von Antibiotika als Einlagematerial muss jedoch sowohl die mögliche zytotoxische Wirkung auf pluripotente Zellen (RUPAREL ET AL. 2012) als auch das Risiko einer Resistenzenentwicklung (BERKHOFF ET AL. 2014) bedacht werden. Obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass bei der Anwendung von Ca(OH)<sub>2</sub> als Einlagematerial der direkte Kontakt dieses stark alkalischen Medikaments die Möglichkeit der Dickenzunahme der Dentinwände limitieren könnte, empfehlen die neusten Publikationen mittlerweile, dieses den antibiotischen Pasten vorzuziehen (BEZGIN & SONMEZ 2015; GALLER 2016; KONTAKIOTIS ET AL. 2014).

Was in oben beschriebenem Fall nicht angewendet wurde, mittlerweile aber empfohlen wird, ist eine Schlussspülung des Pulpakavums mit 17%iger Ethylendiamintetraacetat (EDTA) (GALLER ET AL. 2016). Dieser Ansatz basiert auf der Tatsache, dass EDTA TGF- $\beta$  und andere in der Hartgewebsphase des Dentins eingebettete Wachstumsfaktoren herauslöst und den einwachsenden Stammzellen zugänglich machen kann, wodurch deren Überleben und Differenzierung gefördert wird (GALLER ET AL. 2015; LEE ET AL. 2017).

MTA ist aktuell das Material der Wahl, um bei einer RP-Behandlung die koronale Versiegelung vorzunehmen (BEZGIN & SONMEZ 2015). Das vorgängige Einbringen eines Kollagenpfropfens kann dazu dienen, eine Überextension von MTA zu vermeiden oder zumindest zu minimieren (PETRINO ET AL. 2010; SCHMOECKEL ET AL. 2017). Ein Nachteil von MTA ist sein Verfär-

Tab. I Mögliches Behandlungsprotokoll einer RP-Therapie

<b>1. Sitzung</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kofferdam</li> <li>2. Trepanation unter Lokalanästhesie</li> <li>3. Pulpakanalspülung mit 1–1,5%iger NaOCl-Lösung 20–60 ml/Kanal ohne Druck bis 2 mm vor den Apex (<i>keine mechanische Aufbereitung</i>)</li> <li>4. Trocknung des Kavums mit sterilen Papierspitzen</li> <li>5. Medikamentöse Einlage mit nicht verfärbendem Ca(OH)<sub>2</sub> (LENHERR ET AL. 2012)</li> <li>6. Insertion eines sterilen Wattepellets</li> <li>7. Dichter provisorischer Verschluss der Zugangskavität (IRM, Ketac)</li> </ol>
<b>3–4 Wochen</b>	
<b>2. Sitzung</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kofferdam</li> <li>2. Entfernung der provisorischen Füllung unter Lokalanästhesie (Anästhesielösung mit max. 1:200 000 Adrenalin)</li> <li>3. Pulpakanalspülung mit 1–1,5%iger NaOCl-Lösung 20–30 ml/Kanal ohne Druck bis 2 mm vor Apex (<i>keine mechanische Aufbereitung</i>)</li> <li>4. Trocknung des Kavums mit sterilen Papierspitzen</li> <li>5. Pulpakanalspülung mit 17%iger EDTA-Lösung 20 ml/Kanal ohne Druck bis 2 mm vor Apex (<i>keine mechanische Aufbereitung</i>)</li> <li>6. Pulpakanalspülung mit steriler physiologischer NaCl-Lösung (5 ml)</li> <li>7. Entfernung überschüssiger Flüssigkeit im Kavum mit sterilen Papierspitzen</li> <li>8. Überinstrumentierung mit steriler K-Feile (ca. 2 mm über Apex hinaus) zur Provozierung einer Blutung im periapikalen Gewebe</li> <li>9. Blutung wird 3–4 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze mit sterilen Wattepellets gestoppt</li> <li>10. Einbringen eines passend zum Kavumdurchmesser zurechtgeschnittenen Kollagenkegels</li> <li>11. Einbringen des MTA-Plugs (ca. 3–4 mm Dicke)</li> <li>12. Abdeckung des MTA-Plugs mit lichthärtendem GIZ (z.B. Vitrebond)</li> <li>13. Definitiver Verschluss der Zugangskavität mit Komposit</li> </ol>

bungspotenzial (PARIROKH & TORABINEJAD 2010). Um dieses zu minimieren, wurde dessen chemische Zusammensetzung verändert, woraus das weiße MTA entstand. Es gibt aber auch Berichte über Zahnverfärbungen bei der Anwendung von weissem MTA (WATTS ET AL. 2007). Einige Autoren vermuten, dass die Zahnverfärbungen durch das gewissen MTA-Materialien als Radioopaker beigefügte Bismuthoxid verursacht werden (BERGER ET AL. 2014; FELMAN & PARASHOS 2013; STEFFEN & VAN WAES 2009). Obwohl gewisse Hersteller wie Medcem GmbH (Weinfelden, Schweiz) behaupten, mit der Anwendung von Portlandzement oder MTA, das Zirkonium als Radioopaker enthält, eine bessere Farbstabilität zu erreichen, gibt es dafür keine Evidenz. Der Grund für die Verfärbungstendenz von auf Portlandzement basierenden Materialien liegt eher in deren Mikrostruktur, die pH-abhängige Porositäten aufweist. Da auf Portlandzement basierende Materialien häufig direkt auf vitales, vaskularisiertes Gewebe appliziert werden, nehmen diese während des Abbindens, bedingt durch die Porositäten, Wasser und Blutbestandteile auf (LENHERR ET AL. 2012; NAMAZIKHAH ET AL. 2008).

In einer Fallserie, bei der devitale, infizierte, permanente Zähne mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum mit der RP-Methode behandelt worden waren, wurden anhand von Röntgenbildern fünf Heilungsarten voneinander unterschieden (CHEN ET AL. 2012):

- Typ 1: Verdickung der Kanalwände und weiteres Wurzelwachstum
- Typ 2: keine signifikante weitere Wurzelentwicklung, Apex jedoch abgerundet und verschlossen
- Typ 3: weitere Wurzelentwicklung, Foramen apicale bleibt offen
- Typ 4: deutliche Kalzifikation (Obliteration) des Kavums
- Typ 5: zwischen MTA-Pfropfen und dem Apex bildet sich Hartgewebsbarriere

Bei der Nachkontrolle, 15 Monate nach dem definitiven Verschluss, zeigt sich im Vergleich zum EZRx, unmittelbar nach

Beendigung der RP-Behandlung, sowohl ein weiteres Fortschreiten des Wurzelwachstums als auch eine Verdickung der Kanalwände (entspricht Typ 1). Zusätzlich konnte eine deutliche Kalzifikation des Pulpakavums festgestellt werden (entspricht Typ 4).

## Fazit

Es deutet alles darauf hin, dass der Zahn 11 mit dem oben beschriebenen Behandlungsprotokoll (Tab. I) erfolgreich revaskularisiert und somit vorderhand erhalten werden konnte. Es gibt bereits diverse Fallserien und Fallberichte, die mit dem gleichen oder einem leicht modifizierten Behandlungsprotokoll ebenfalls erfolgreich waren. Trotzdem gilt es zu bedenken, dass das derzeitige Evidenzniveau für dieses Therapiekonzept noch äusserst dürftig ist. Entsprechend müssen randomisierte, kontrollierte Langzeituntersuchen durchgeführt werden, bevor das Behandlungskonzept der regenerativen endodontischen Therapie dem Allgemein Zahnarzt zur Durchführung empfohlen werden kann.

## Summary

BASSETTI R, KUTTENBERGER J, BASSETTI M: **Regenerative endodontics after front tooth trauma. A case report** (in German). SWISS DENTAL JOURNAL SSO 128: 393–399 (2018)

In the context of tooth trauma, mostly the maxillary central front teeth are involved, whereby their roots are in some cases still in the developing stage (immature). Depending on the type of trauma, a necrosis of the pulp is the consequence or at least foreseeable. In order to preserve such a tooth, an endodontic therapy is inevitable. The disadvantage of conventional endodontic therapy methods of immature teeth (apexification, apexogenesis) is the root growth stop. Alternatively, the regeneration/revascularisation of the dental pulp (RP) was suggested, that allows a further root growth.

The aim of this case report is to present the procedure of a RP-therapy and to suggest a step-by-step manual.

## Referenzen

- ALOBAlD A S, CORTES L M, LO J, NGUYEN T T, ALBERT J, ABU-MELHA A S, LIN L M, GIBBS J L: Radiographic and clinical outcomes of the treatment of immature permanent teeth by revascularization or apexification: A pilot retrospective cohort study. *J Endod* 40: 1063–1070 (2014)
- ANDREASEN F M, PEDERSEN B V: Prognosis of luxated permanent teeth – the development of pulp necrosis. *Endod Dent Traumatol* 1: 207–220 (1985)
- ANDREASEN J O: Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 1,298 cases. *Scand J Dent Res* 78: 329–342 (1970)
- ANDREASEN J O, BORUM M K, JACOBSEN H L, ANDREASEN F M: Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 2. Factors related to pulpal healing. *Endod Dent Traumatol* 11: 59–68 (1995)
- ANDREASEN J O, FARIK B, MUNKSGAARD E C: Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol* 18: 134–137 (2002)
- ANDREASEN J O, RAVN J J: Epidemiology of traumatic dental injuries to primary and permanent teeth in a danish population sample. *Int J Oral Surg* 1: 235–239 (1972)
- BANCHS F, TROPE M: Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: New treatment protocol? *J Endod* 30: 196–200 (2004)
- BERGER T, BARATZ A Z, GUTMANN J L: In vitro investigations into the etiology of mineral trioxide tooth staining. *J Conserv Dent* 17: 526–530 (2014)
- BERKHOF J A, CHEN P B, TEIXEIRA F B, DIOGENES A: Evaluation of triple antibiotic paste removal by different irrigation procedures. *J Endod* 40: 1172–1177 (2014)
- BEGZIN T, SONMEZ H: Review of current concepts of revascularization/revitalization. *Dent Traumatol* 31: 267–273 (2015)
- CHEN M Y, CHEN K L, CHEN C A, TAYEBATY F, ROSENBERG P A, LIN L M: Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *Int Endod J* 45: 294–305 (2012)
- CVEK M: Treatment of non-vital permanent incisors with calcium hydroxide. I. Follow-up of periapical repair and apical closure of immature roots. *Odontol Revy* 23: 27–44 (1972)
- CVEK M: Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Endod Dent Traumatol* 8: 45–55 (1992)
- DING R Y, CHEUNG G S, CHEN J, YIN X Z, WANG Q Q, ZHANG C F: Pulp revascularization of immature teeth with apical periodontitis: A clinical study. *J Endod* 35: 745–749 (2009)
- FELMAN D, PARASHOS P: Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate. *J Endod* 39: 484–487 (2013)
- FRANK A L: Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *J Am Dent Assoc* 72: 87–93 (1966)
- GALLER K M: Clinical procedures for revitalization: Current knowledge and considerations. *Int Endod J* 49: 926–936 (2016)
- GALLER K M, BUCHALLA W, HILLER K A, FEDERLIN M, EIDT A, SCHIEFERSTEINER M, SCHMALZ G: Influence of root canal disinfectants on growth factor release from dentin. *J Endod* 41: 363–368 (2015)
- GALLER K M, KRASSTL G, SIMON S, VAN GORP G, MESCHI N, VAHEDI B, LAMBRECHTS P: European society of endodontology position statement: Revitalization procedures. *Int Endod J* 49: 717–723 (2016)
- HEITHERSAY G S: Calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth with associated pathology. *J Br Endod Soc* 8: 74–93 (1975)
- HOLDEN D T, SCHWARTZ S A, KIRKPATRICK T C, SCHINDLER W G: Clinical outcomes of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices. *J Endod* 34: 812–817 (2008)
- IWAYA S I, IKAWA M, KUBOTA M: Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dent Traumatol* 17: 185–187 (2001)
- JEERUPHAN T, JANTARAT J, YANPISIT K, SUWANNAPAN L, KHEWSAWAI P, HARGREAVES K M: Mahidol study 1: Comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: A retrospective study. *J Endod* 38: 1330–1336 (2012)
- KIM J H, KIM Y, SHIN S J, PARK J W, JUNG I Y: Tooth discoloration of immature permanent incisor associated with triple antibiotic therapy: A case report. *J Endod* 36: 1086–1091 (2010)
- KONTAKIOTIS E G, FILIPPATOS C G, AGRAFIOTI A: Levels of evidence for the outcome of regenerative endodontic therapy. *J Endod* 40: 1045–1053 (2014)
- LEE J Y, KERSTEN D D, MINES P, BELTRAN T A: Regenerative endodontic procedures among endodontists: A web-based survey. *J Endod* (2017)
- LENHERR P, ALLGAYER N, WEIGER R, FILIPPI A, ATTIN T, KRASSTL G: Tooth discoloration induced by endodontic materials: A laboratory study. *Int Endod J* 45: 942–949 (2012)
- LOVELACE T W, HENRY M A, HARGREAVES K M, DIOGENES A: Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. *J Endod* 37: 133–138 (2011)
- MARTIN D E, DE ALMEIDA J F, HENRY M A, KHAING Z Z, SCHMIDT C E, TEIXEIRA F B, DIOGENES A: Concentration-dependent effect of sodium hypochlorite on stem cells of apical papilla survival and differentiation. *J Endod* 40: 51–55 (2014)
- MOORE A, HOWLEY M F, O'CONNELL A C: Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dent Traumatol* 27: 166–173 (2011)
- MURRAY P E, GARCIA-GODDY F, HARGREAVES K M: Regenerative endodontics: A review of current status and a call for action. *J Endod* 33: 377–390 (2007)
- NAMAZIKHAH M S, NEKOOFAR M H, SHEYKHREZAE M S, SALARIYEH S, HAYES S J, BRYANT S T, MOHAMMADI M M, DUMMER P M: The effect of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 41: 108–116 (2008)
- NOSRAT A, SEIFI A, ASGARY S: Regenerative endodontic treatment (revascularization) for necrotic immature permanent molars: A review and report of two cases with a new biomaterial. *J Endod* 37: 562–567 (2011)
- PARIROKH M, TORABINEJAD M: Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review – part iii: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 36: 400–413 (2010)
- PETRINO J A, BODA K K, SHAMBARGER S, BOWLES W R, MCCLANAHAN S B: Challenges in regenerative endodontics: A case series. *J Endod* 36: 536–541 (2010)
- RAVN J J: Follow-up study of permanent incisors with enamel-dentin fractures after acute trauma. *Scand J Dent Res* 89: 355–365 (1981)
- ROBERTSON A: A retrospective evaluation of patients with uncomplicated crown fractures and luxation injuries. *Endod Dent Traumatol* 14: 245–256 (1998)
- RUPAREL N B, TEIXEIRA F B, FERRAZ C C, DIOGENES A: Direct effect of intracanal medicaments on survival of stem cells of the apical papilla. *J Endod* 38: 1372–1375 (2012)
- SATO T, HOSHINO E, UEMATSU H, NODA T: In vitro antimicrobial susceptibility to combinations of drugs on bacteria from carious and endodontic lesions of human deciduous teeth. *Oral Microbiol Immunol* 8: 172–176 (1993)
- SCHMOECKEL J, MOURAD M S, SPLIETH C H, SANTAMARIA R M: Management of an immature, partially necrotic permanent molar by pulp revascularization: Two-year follow-up. *Quintessence Int* 48: 309–313 (2017)
- SHABAHANG S: Treatment options: Apexogenesis and apexification. *Pediatr Dent* 35: 125–128 (2013)
- SHABAHANG S, TORABINEJAD M, BOYNE P P, ABEDI H, McMILLAN P: A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod* 25: 1–5 (1999)
- SHAH N, LOGANI A, BHASKAR U, AGGARWAL V: Efficacy of revascularization to induce apexification/apexogenesis in infected, nonvital, immature teeth: A pilot clinical study. *J Endod* 34: 919–925; Discussion 1157 (2008)
- SIMON S R, TOMSON P L, BERDAL A: Regenerative endodontics: Regeneration or repair? *J Endod* 40: S70–75 (2014)
- STEFFEN R, VAN WAES H: Understanding mineral trioxide aggregate/portland-cement: A review of literature and background factors. *Eur Arch Paediatr Dent* 10: 93–97 (2009)
- TREVINO E G, PATWARDHAN A N, HENRY M A, PERRY G, DYBDAL-HARGREAVES N, HARGREAVES K M, DIOGENES A: Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. *J Endod* 37: 1109–1115 (2011)
- VERNIEKS A A, MESSER L B: Calcium hydroxide induced healing of periapical lesions: A study of 78 non-vital teeth. *J Br Endod Soc* 11: 61–69 (1978)
- VIDISDOTTIR S R, RICHTER S: Age estimation by dental developmental stages in children and adolescents in iceland. *Forensic Sci Int* 257: 518 e511–517 (2015)
- WATTS J D, HOLT D M, BEESON T J, KIRKPATRICK T C, RUTLEDGE R E: Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 33: 970–973 (2007)