

Traumatologie im Milch- und Wechselgebiss

Andreas Filippi, Prof. Dr. med. dent.

Zahnunfall-Zentrum und Klinik für Zahnärztliche Chirurgie, -Radiologie, Mund- und Kieferheilkunde
Universitätskliniken für Zahnmedizin der Universität Basel
Hebelstrasse 3, CH-4056 Basel
E-Mail: andreas.filippi@unibas.ch

Gabriel Krastl, OA Dr. med. dent.

Zahnunfall-Zentrum und Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kariologie
Universitätskliniken für Zahnmedizin der Universität Basel

Indizes

Zahntrauma, Zahnunfälle, Parodont, Pulpa, antiresorptive regenerationsfördernde Therapie

Zusammenfassung

Zahnunfälle sind häufig komplexe, unterschiedliche Gewebe betreffende Verletzungen, die unabhängig voneinander diagnostiziert und therapiert werden müssen. Die kompetente Behandlung von Zahnverletzungen setzt heute neben restaurativem Know-how insbesondere Spezialkenntnisse aus den Bereichen Parodontologie, Endodontologie und zahnärztliche Chirurgie voraus. Hinzu kommt, dass das Zahntrauma eines der wenigen Vorkommnisse in der zahnärztlichen Praxis ist, bei dem man ohne Vorbereitungszeit schnelle und kompetente diagnostische sowie therapeutische Entscheidungen auf einem Gebiet treffen muss, das nicht zur zahnärztlichen Routine gehört. Der Beitrag gibt eine Übersicht über die moderne Traumatologie der Zähne.

Einleitung

Diagnostik und Therapie in der zahnärztlichen Traumatologie haben in den letzten Jahren grundlegende Veränderungen erfahren. In aktuellen Lehrbüchern finden sich hierzu umfangreiche und praxisrelevante Empfehlungen^{4,11,21,29}, die an dieser Stelle lediglich oberflächlich zusammengefasst werden können. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich daher primär mit der heutigen Sichtweise von Zahnverletzungen und modernen Therapiekonzepten, die fast ausschließlich auf zellulärer Ebene ansetzen.

Psychologie und Epidemiologie

Die Frontzahnästhetik hat in unserer Gesellschaft einen hohen Stellenwert und übt einen nicht unwesentlichen Einfluss auf Partnerwahl oder Arbeitsplatzsuche aus. Trends wie Bleaching und/oder Formkorrekturen sowie die Zahl ästhetisch motivierter kieferorthopädischer Behandlungen bei Erwachsenen zeigen dies. Dem gegenüber steht eine jährliche Zunahme unfallbedingter Zahnverletzungen, die nicht zuletzt durch Trendsportgeräte wie Inlineskates, Kick-

boards oder Wasserrutschen in Schwimmbädern begünstigt wird. Insgesamt ist das Freizeitverhalten von Kindern und Jugendlichen aggressiver und risikofreudiger geworden. Die bisher durchgeführten epidemiologischen Studien zeigen, dass es bei etwa 55 von 100 Kindern in Europa und den USA zu einem Zahntrauma kommt, bevor sie das 16. Lebensjahr erreichen^{6,24,27,36,37}. Von diesen 55 Patienten erleiden 30 einen Milchzahnunfall und 25 ein Trauma im bleibenden Gebiss.

Zahnunfälle ereignen sich besonders häufig im 3. und 4. Lebensjahr (Milchzähne), zwischen dem 9. und 12. Lebensjahr sowie im 16. Lebensjahr, was mit unterschiedlichen Entwicklungsstadien bezüglich Bewegung und Verhalten korreliert („Laufen lernen, raufen lernen, saufen lernen“). In 70 bis 75 % aller Fälle werden die mittleren Schneidezähne des Oberkiefers verletzt. Andere Schneidezähne sind etwa um den Faktor 10 seltener und Eckzähne, Prämolaren oder Molaren lediglich in Einzelfällen betroffen. Etwa zwei Drittel aller Zahnunfälle passieren zu Hause oder in öffentlichen Sport- und Spieleinrichtungen³⁶. Häufigste Verletzung im Milchgebiss ist die Dislokation, während im bleibenden Gebiss die Kronenfraktur überwiegt (Abb. 1a bis c und 2).



Abb. 1a Klinische Situation 9 Tage nach vollständiger Intrusion des Milchzahnes 61 bei einem 2,5-jährigen Kind. Nach klinischer und röntgenologischer Beurteilung der Lage des intrudierten Milchzahnes in Relation zum bleibenden Keim ist ein Abwarten auf eine Spontaneruption in diesem Fall gerechtfertigt



Abb. 1b 6 Wochen nach dem Zahntrauma ist die Reeruption bereits zur Hälfte abgeschlossen. Inzisal fällt eine unkomplizierte Kronenfraktur auf



Abb. 1c Klinische Situation 2 Jahre nach dem Unfall: Der Zahn ist vollständig reeruptiert



Abb. 2 Unfallbedingte Zahnhartsubstanzverletzungen: Schmelzfraktur an Zahn 41 und Schmelz-Dentin-Fraktur an Zahn 31

Klassifikation und Terminologie

Zahnverletzungen können grundsätzlich in Frakturen und Dislokationen unterschieden werden (Tab. 1). Die Terminologie hat sich insofern verändert, als antiquierte und falsche Begriffe wie Luxation, Eluxation, Totalluxation, Exartikulation

Fraktur	Dislokation
Schmelzriss	Konkussion
Kronenfraktur	Lockerung
Kronen-Wurzel-Fraktur	Laterale Dislokation
Wurzelfraktur	Extrusion
	Intrusion
	Avulsion

Tab. 1 Bei Zahnverletzungen kann grundsätzlich zwischen Frakturen und Dislokationen unterschieden werden

oder Subluxation aus modernen Klassifikationen entfernt wurden¹². Diese „Standardklassifikation“ ist jedoch aus therapeutischer und prognostischer Sicht als alleiniger Maßstab unzureichend: Zu verschieden können Zahnverletzungen ein und derselben Verletzungskategorie sein, so dass eine „Standardtherapie“ vermehrt zu therapeutischen Misserfolgen und Komplikationen führt. Die zahnärztliche Traumatologie bevorzugt heute vielmehr eine synoptische Betrachtung von Zahnverletzungen: Bei jedem traumatisierten Zahn werden die tatsächlich verletzten Gewebe einzeln diagnostiziert, denn nur was im konkreten Fall verletzt ist, muss auch behandelt werden.

Zahnverletzungen können die Zahnhartsubstanzen, die Pulpa, das Parodont, den umliegenden Knochen sowie die Mundschleimhaut betreffen, wobei diese Gewebe grundsätzlich unabhängig voneinander verletzt und somit auch unabhängig voneinander therapiert werden können und



müssen¹⁸ (Abb. 3). Unfallbedingte Zahnverletzungen sollten idealerweise auf einem übersichtlichen und einfach gestalteten Traumabefundblatt dokumentiert werden³² (Abb. 4 und 5), denn so lässt sich gewährleisten, dass auch im Rahmen der Nachsorge weniger offensichtliche Verletzungen nicht vergessen werden.

Verletzungen von Milchzähnen

Grundsätzlich können Milchzähne die gleichen Verletzungen wie bleibende Zähne erleiden. Aufgrund der ggf. bereits partiell resorbierten Wurzeln, des spongioseren Alveolarfortsatzes sowie des breiteren Parodontalspaltres treten bei Milchzähnen jedoch deutlich häufiger Dislokationsverletzungen als Frakturen auf⁴⁸. Prinzipiell gelten für Milchzähne auch die gleichen Therapieempfehlungen wie für bleibende Zähne, jedoch mit folgenden ganz wesentlichen Einschränkungen: Einerseits haben Milchfrontzähne nur eine temporäre Verweildauer und besitzen keine Platzhalterfunktion. Daher ist nach schwerer Dislokation und/oder starker Lockerung der Zahnerhalt nicht unbedingt anzustreben. Andererseits sind kleine Kinder betroffen, deren Behandlungsfähigkeit sich ganz erheblich von derjenigen bei älteren Kindern und Jugendlichen unterscheiden kann. Und schließlich gilt für Milchzahntraumata: Oberstes Gebot für jede zahnärztliche Intervention ist der Schutz des nachfolgenden bleibenden Zahnes sowie eine altersabhängige Nutzen-Risiko-Abwägung. Dies bedeutet, dass durch die Behandlung eines verletzten Milchfrontzahnes weder dem darunter liegenden Zahnkeim ein zusätzlicher Schaden zugefügt noch ein solcher in Kauf genommen werden darf und dass das Kind durch ein „Over-treatment“ für spätere zahnärztliche Behandlungen nicht unnötig traumatisiert werden darf. Dementsprechend ist bei Kronenfrakturen darauf zu achten, dass im Schmelzbereich scharfe Kanten abgerundet werden, ggf. freiliegendes Dentin versorgt wird und exponierte Pulpen je nach Situation abgedeckt, amputiert oder exstirpiert werden oder der Zahn eventuell sogar entfernt wird.

Wurzelfrakturierte Zähne werden nur bei unwesentlicher Lockerung bzw. Dislokation erhalten, wobei das apikale Fragment grundsätzlich nie entfernt wird. Die Behandlung von Dislokationen richtet sich nach dem Grad der Dislokation und Lockerung. Grundsätzlich gilt, dass mit zunehmender Lockerung und Dislokation der Erhalt nicht oder nur in günstig gelagerten Fällen angestrebt werden sollte. Zusammenfassend werden verletzte Milchzähne nicht unter allen Umständen erhalten. Die konkrete Behandlung richtet sich nicht primär nach dem therapeutisch Möglichen, sondern nach der individuellen Behandlungs- und Belastungsfähigkeit des betroffenen Kindes.

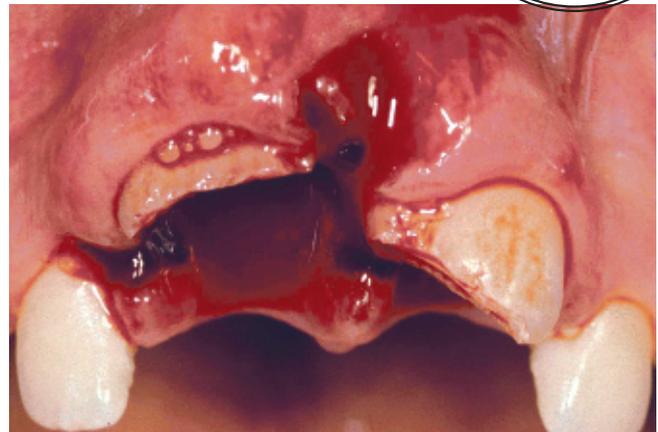


Abb. 3 Typische, alle fünf Gewebe betreffende Zahnverletzung nach Intrusion der Zähne 11 und 21: Kronenfraktur beider Zähne, Risswunde medial, Fraktur der bukkalen Wand Regio 11, Quetschung der bukkalen Wand Regio 21, Zerstörung der Pulpa und großer Anteile des Parodonts, insbesondere an Zahn 11 durch die stärkere Intrusion



Abb. 4 Klinische Situation 2 Tage nach Primärversorgung eines komplexen Frontzahntraumas mit folgenden Diagnosen: Zahn 12 Konkussion, Zahn 11 Dislokation (Ausmaß unbekannt), Zahn 21 Avulsion mit unkomplizierter Kronenfraktur, Zahn 22 Avulsion, Zahn 23 Konkussion, Zähne 32, 31 und 41 Lockerung mit Kronenfraktur, Zahn 42 Konkussion

UNIVERSITÄT BASEL ZAHNUNFALL ZENTRUM Universitätsklinik für Zahnheilkunde der Universität Basel		Klinik für Parodontologie, Endodontologie und Kardiologie
Zahntrauma		
Name, Vorname:	Xxxxxxxxxxxxxx	
Geburtsdatum:	29.09.1987	
KG Nr.:	300000	
Unfalldatum:	05.09.2005 ca. 0.30 Uhr	
Datum Befund:	05.09.2005	
Bemerkungen:	Avulierte Zähne 21 und 22 Lagerung 15 Min. trocken und anschließend für 11 h in Dentose/ Nasenbeinfaktre	
Primärversorgung:	Replantation/Reposition 11, 21, 22 und Schienung TTS im Vmk. Spital Basel	
Weiterbehandlung:	Dr. Kasel	

Abb. 5 Die Dokumentation der Verletzungen auf einem einfachen Traumabefundblatt erleichtert die weitere Behandlung und die Nachsorge (Download unter www.zahnunfall.unibas.ch)



Abb. 6a Zahntrauma mit unkomplizierten Kronenfrakturen der Zähne 12 und 11



Abb. 6b Klinische Situation unmittelbar nach adhäsiver Wiederbefestigung der vom Patienten mitgebrachten Zahnfragmente



Abb. 6c Bei der Kontrolle nach 6 Monaten sind die nun rehydrierten Fragmente nicht mehr als solche zu erkennen

Verletzungen bleibender Zähne

Im Gegensatz zu Milchzähnen erleiden bleibende Zähne häufiger Frakturen als Dislokationen. Gründe sind der kompaktere Alveolarfortsatz in Kombination mit einem in zunehmendem Lebensalter enger werdenden Parodontalspalt. Grundsätzlich sollten unfallverletzte bleibende Zähne, wann immer dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist, erhalten werden. Dies bedeutet, dass

- Frakturen der Zahnhartsubstanzen im Kronenbereich durch Wiederbefestigung des Fragments (Abb. 6a bis c) oder mittels Kompositfüllung (Abb. 7a bis f) rekonstruiert werden,
- Wurzelfrakturen adäquat geschient werden (Abb. 8) und
- bei Kronen-Wurzel-Frakturen in Abhängigkeit vom Lebensalter bzw. Kieferwachstum sehr genau überlegt werden muss, ob ein endodontisch-kieferorthopädisch-chirurgischer Erhalt bezüglich Aufwand und Prognose gerechtfertigt ist³¹ (Abb. 9a bis e).

Verletzungen der Mundschleimhaut werden gereinigt und – falls erforderlich – nahtversorgt (Abb. 10a und b sowie 11a und b), und frakturierter alveolärer Knochen wird durch Stabilisation der Zähne mittels Zahntrauma-Schiene fixiert. Beide Gewebe heilen bei Kindern und Jugendlichen bei entsprechendem Wundmanagement in der Regel problemlos und haben keinen Einfluss auf die Langzeitprognose.

Endodontische Aspekte nach Zahntrauma

Vor dem Hintergrund der nachgewiesenen Frakturanfälligkeit von wurzelkanalbehandelten Frontzähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzel(dicken)wachstum⁸ kommt der Vitalerhaltung dieser Zähne eine besondere Bedeutung zu. Bereits bei unkomplizierten Kronenfrakturen ist mit einer hohen Infektionsgefahr des Wurzelkanals über zum Teil weit offene Dentintubuli zu rechnen (Abb. 12). Dies macht einen Dentinwundverband im Rahmen der Primärversorgung erforderlich. Eine zusätzliche Schädigung der Pulpa aufgrund einer begleitenden Dislokationsverletzung erhöht die Wahrscheinlichkeit einer infizierten Pulpanekrose maßgeblich⁴⁵.

Bei exponierter vitaler Pulpa (Abb. 13) ist vor der restaurativen Versorgung eine endodontische Therapie notwendig. Diese richtet sich im Wesentlichen nach der Dauer bis zur Erstversorgung. Zwar wurde gezeigt, dass eine direkte Überkappung nach einer Expositionszeit von bis zu 24 Stunden noch möglich ist⁴, aber vor dem Hintergrund einer höheren



Abb. 7a Temporär versorgte Dentinwunde mit Komposit (Tetric Flow Chroma, Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) an Zahn 11 nach unkomplizierter Kronenfraktur

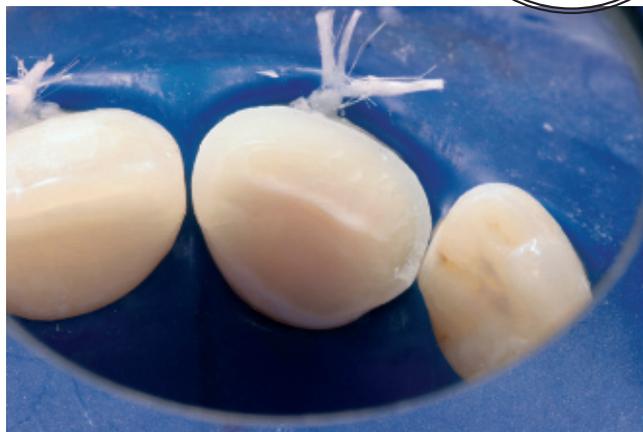


Abb. 7b Situation unter Kofferdam nach Entfernung der provisorischen Abdeckung und Abschrägen der Schmelzränder

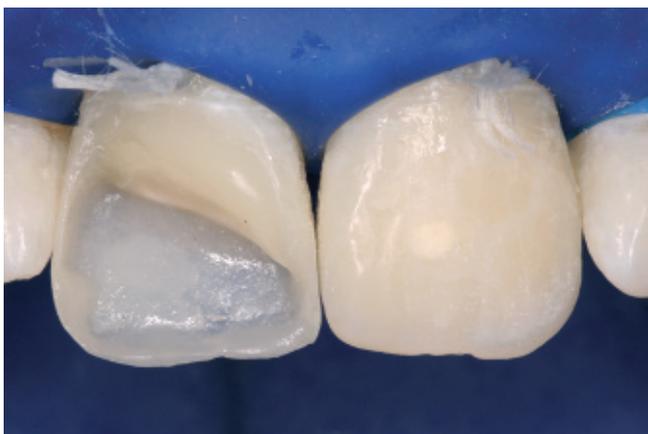


Abb. 7c Die restaurative Versorgung beginnt mit der Herstellung der palatinalen Wand aus einer transluzenten Schmelzmasse unter Zuhilfenahme eines vorher angefertigten Silikonschlüssels

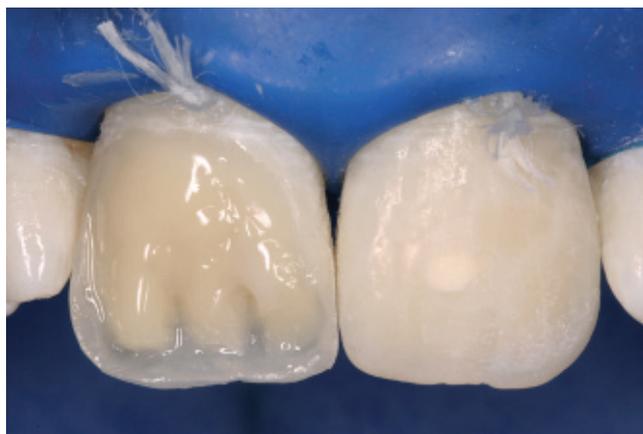


Abb. 7d Der Dentinkern wird mit einer opakeren Dentinmasse unter Berücksichtigung inzisaler Mamellonstrukturen aufgebaut

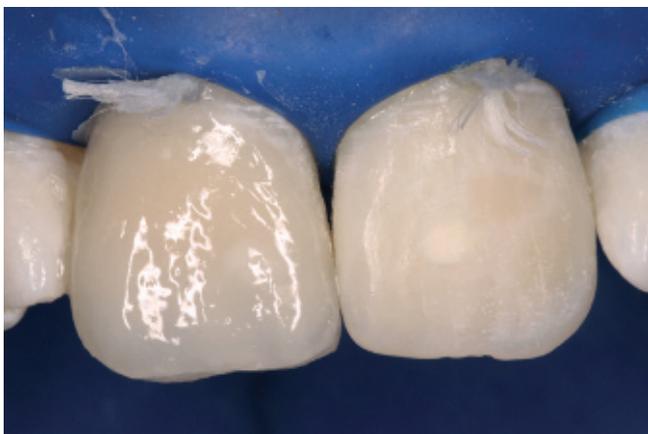


Abb. 7e Nach Applikation der letzten labialen Kompositschicht ist die an Zahn 21 angepasste Zahnform bereits fertig gestellt. Die Ausarbeitung und die Politur können so auf ein Minimum reduziert werden



Abb. 7f Unauffällige klinische Situation 3 Monate nach restaurativer Versorgung mit Komposit (Filtek Supreme XT, Fa. 3M Espe, Seefeld)



Abb. 8 Situation nach optimaler Reposition und Schienung eines wurzelquerfrakturierten Zahnes (21). Aufgrund des schrägen Frakturverlaufs stellt sich der Bruchspalt röntgenologisch als Oval dar (weiße Pfeile)



Abb. 9a Tief frakturiertes Zahn 12 bei einer 13-jährigen Patientin. Nach genauem Abwägen der verschiedenen Therapieoptionen wurde ein Erhalt der Zahnwurzel angestrebt (vgl. *Krast*^{B1)})



Abb. 9b Mit Hilfe einer kieferorthopädischen Apparatur wird die Wurzel langsam extrudiert und für eine restaurative Versorgung zugänglich gemacht

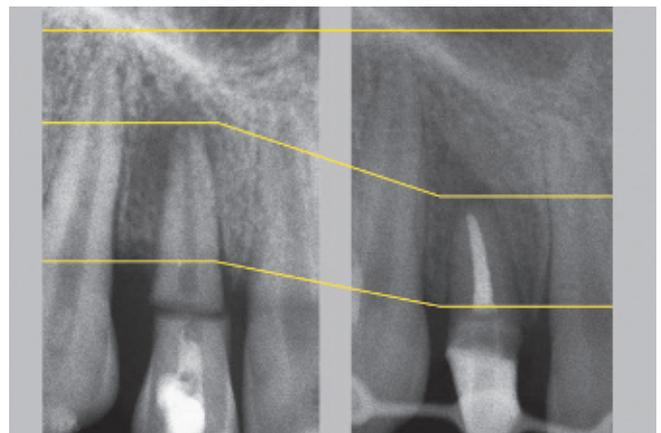


Abb. 9c Röntgenologische Darstellung der kieferorthopädischen Extrusion. Zwischen beiden Aufnahmen liegt ein Zeitintervall von 4 Monaten. Neben der koronalen Position der Zahnwurzel wird das verbesserte vertikale Knochenprofil deutlich



Abb. 9d Unauffällige klinische Situation 4,5 Jahre nach Extrusion und anschließender restaurativer Versorgung



Abb. 9e Die parodontalen Verhältnisse 4,5 Jahre nach dem Unfall erscheinen röntgenologisch ebenfalls unauffällig



Abb. 10a Massive Ablederungsverletzung im Oberkiefervestibulum einer 9-jährigen Patientin



Abb. 10b Unauffällige klinische Situation bereits 4 Wochen nach Primärversorgung. Es existieren klinisch und röntgenologisch keine Hinweise, die auf eine Beteiligung der Oberkieferfrontzähne hindeuten würden



Abb. 11a Intraoperative Situation einer typischen unfallbedingten Riss-Quetsch-Wunde nach Zahntrauma

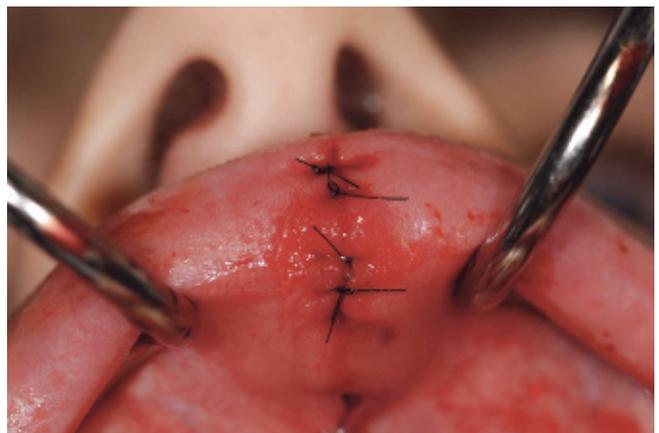


Abb. 11b Postoperative Situation nach adäquater Nahtversorgung



Abb. 12 Dentinwunde nach unkomplizierter Kronenfraktur bei einem 9-jährigen Kind: Obwohl keine eindeutige Pulpaeröffnung sichtbar wird, muss mit einer hohen Infektionsgefahr der Pulpa über weit offene Dentintubuli gerechnet werden. Als Minimaltherapie ist ein sofortiger bakteriendichter Wundverband unerlässlich

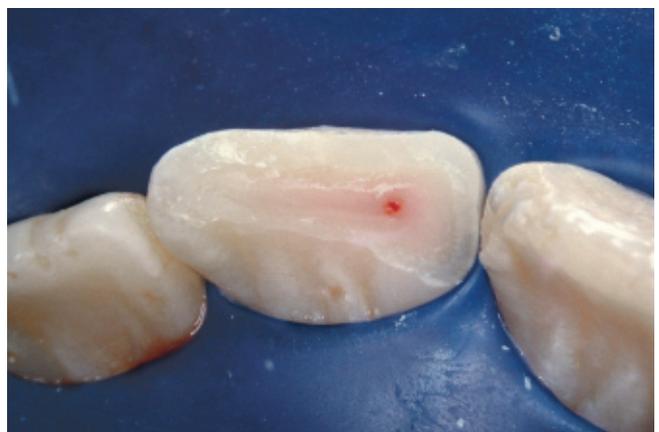


Abb. 13 Etwa 1 Stunde vor der Aufnahme traumatisch freigelegte Pulpa an einem Oberkieferfrontzahn. Eine direkte Überkappung mit Kalziumhydroxid oder alternativ MTA ist vor der restaurativen Versorgung erforderlich



Abb. 14a Zustand nach ca. 3 Stunden zuvor erlittenem Frontzahntrauma mit komplizierter Kronenfraktur an Zahn 11 und unkomplizierter Kronenfraktur an Zahn 21. Es ist mit einer Infektion der breitflächig exponierten Pulpaanteile zu rechnen

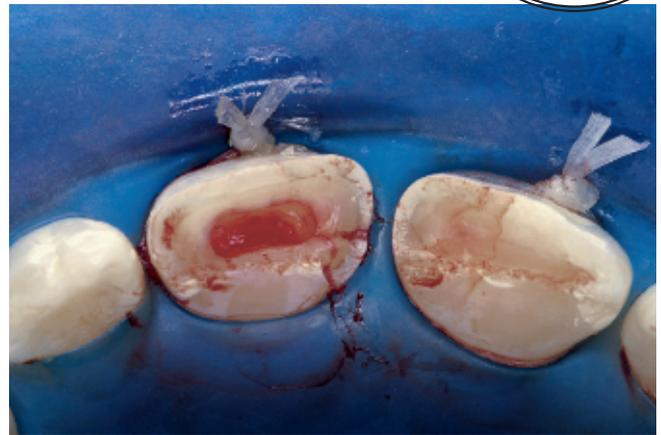


Abb. 14b Zustand nach Entfernung der koronalen 2 mm (potenziell infizierten) Kronenpulpa im Sinne einer partiellen Pulpotomie

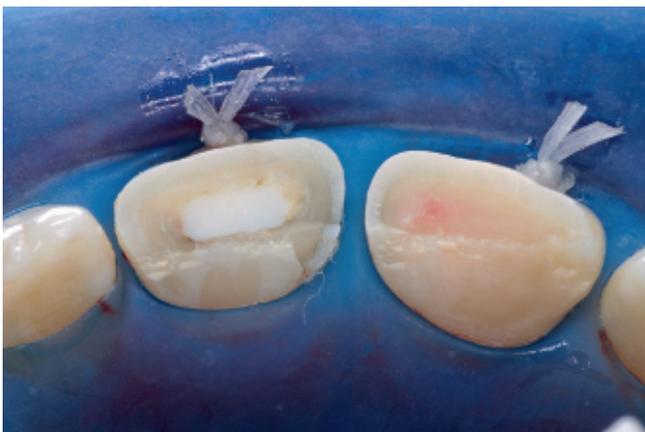


Abb. 14c Wenn die Blutung vollständig zum Stillstand gekommen ist, wird Kalziumhydroxid auf die amputierte Pulpa aufgebracht und mit einem erhärtenden Zement überschichtet



Abb. 14d Palatinale Ansicht 1 Jahr nach Wiederbefestigung der Kronenfragmente an den Zähnen 11 und 21



Abb. 14e Röntgenbild 1 Jahr nach Therapie. Beide Zähne reagieren auf den Sensibilitätstest und haben ihr Wurzellängen- und -dickenwachstum fortgesetzt

Erfolgssicherheit erscheint es ratsam, diese Dauer auf maximal 2 Stunden zu beschränken. Als Überkappungsmaterial kann Kalziumhydroxid³³ oder alternativ weißes MTA (Mineral Trioxide Aggregate) empfohlen werden²³.

Bei längeren Expositionen (2 bis zu 24 Stunden) ist die Entfernung der koronalsten 1 bis 2 mm (potenziell infizierten) Pulpa im Sinne einer partiellen Pulpotomie indiziert⁷¹⁰ (Abb. 14a bis e). Die Literatur bescheinigt dieser Methode unabhängig von der Größe der Pulpaeröffnung und dem Stand des Wurzelwachstums eine hohe Erfolgssicherheit²². Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum können so ihr Wurzellängen- und -dickenwachstum fortsetzen. Dadurch kann einerseits eine aufwändige Apexifikation umgangen und andererseits eine erhöhte Stabilität erreicht werden⁸.

Bei Dislokationsverletzungen hängt die Prognose der Pulpa vom Ausmaß ihrer Schädigung am Apex ab². Wenn



die Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung gegeben ist, sollte diese sofort erfolgen. Im Falle eines offenen Apex hat sich als Alternative zur herkömmlichen Apexifikation mittels Kalziumhydroxid die Herstellung einer apikalen Barriere mit MTA bewährt²³ (Abb. 15a bis f). Gerade bei schweren Dislokationsverletzungen und daraus resultierenden Wurzelzementschäden kann eine unterlassene oder qualitativ unzureichende Wurzelkanalbehandlung infektionsbedingte Wurzelresorptionen initiieren und somit zum Zahnverlust führen (Abb. 16). Der oftmals schnell verlaufende resorptive Prozess wird durch Mikroorganismen und deren Toxine unterhalten, die – eine Schädigung der Wurzelzementauskleidung vorausgesetzt – via Dentinkanälchen ins Parodont gelangen^{3,50,53}.

Während eine nekrotische Pulpa in aller Regel vergleichsweise problemlos therapiert werden kann⁵⁷, ist bis heute ein verlorenes Parodont nicht ersetzbar. Parodontale



Abb. 15a 9-jähriges Kind mit ca. 1 Jahr alter und längere Zeit unversorgter Kronenfraktur (vermutlich mit begleitender Dislokationsverletzung) an Zahn 21. Die ausbleibende Reaktion auf den Sensibilitätstest lässt das Vorhandensein einer infizierten Pulpanekrose vermuten



Abb. 15b Röntgenologisch wird der posttraumatische Stopp des Wurzelwachstums deutlich. Neben einer apikalen Parodontitis sind insbesondere distal auch Resorptionszeichen im zervikalen Bereich auszumachen



Abb. 15c Nach Trepanation und anschließender Wurzelkanalaufbereitung wird eine medikamentöse Einlage mit Kalziumhydroxid in den Wurzelkanal eingebracht und für 2 Monate belassen

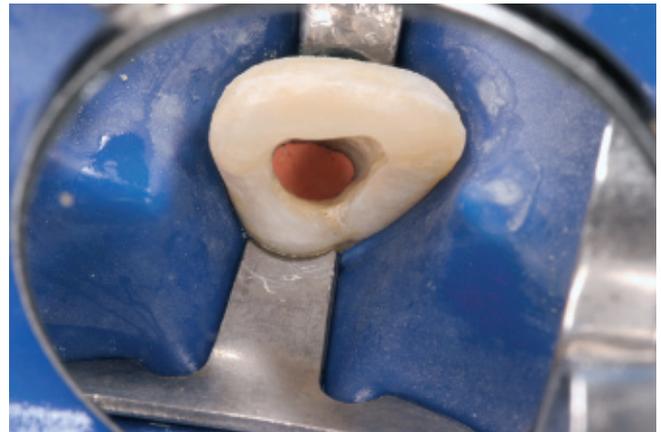


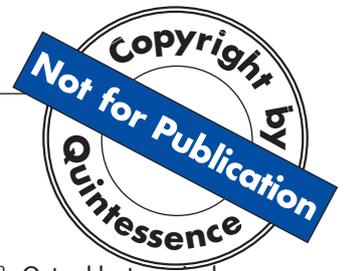
Abb. 15d 2 Monate später wird die Wurzelkanalfüllung abgeschlossen. Diese erfolgt apikal mit MTA (als apikaler Verschluss von ca. 3 mm) sowie koronal mit warmer Guttapercha und Sealer in vertikaler Kondensation



Abb. 15e Unauffällige klinische Situation 6 Monate nach Therapiebeginn. Die Kronenfraktur ist mit Komposit versorgt. Der unauffällige Perkussionsschall lässt keine Ankylose vermuten



Abb. 15f Röntgenologisch dokumentiert ein weitgehend verfügbare Parodontalspalt den Erfolg der Therapie. Die Resorptionen scheinen zum Stillstand gekommen zu sein



Schäden entstehen primär bei Dislokationsverletzungen, vor allem bei lateraler Dislokation, Intrusion und Avulsion (bei unphysiologischer extraoraler Lagerung). Wegen des erheblichen prognostischen Einflusses fokussiert die Therapie von Dislokationen heute insbesondere auf das Parodont. Dieses Konzept wird auch als antiresorptive regenerationsfördernde Therapie (ART) zusammengefasst^{40-42,44}.

Parodontale Aspekte nach Zahntrauma

Unter normalen Umständen werden bleibende Zähne des Menschen nicht resorbiert und auch nicht in die Umbauvorgänge des Knochens einbezogen, denn anderenfalls hätte der Erwachsene keine Zähne mehr. Vitale Zementoblasten und vitales Wurzelzement verhindern dies, indem sie die

Zähne vor Osteoklasten schützen^{4,19}. Osteoklasten sind an sämtlichen Umbauvorgängen des Knochens beteiligt. Sie werden vor allem dann aktiv, wenn Gewebe im Organismus zerstört wurde und phagozytotisch eliminiert werden muss. Wenn Mikroorganismen hinzukommen, nimmt die Resorptionsgeschwindigkeit deutlich zu^{4,19}. Sind Zahnwurzeln nach einem Unfall nicht mehr überall von einer vitalen Zement-/Zementoblastenschicht geschützt und wird eine kritische Defektgröße („critical size defect“) von etwa 2 x 2 mm überschritten, beginnen Osteoklasten nach 1 Woche (dann teilweise auch als Dentoklasten bezeichnet), den Zahn an diesen ungeschützten Stellen zu resorbieren. Bleibt eine Infektion aus, wird der Zahn in die Umbauvorgänge des Knochens einbezogen und durch diesen ersetzt^{19,35,51} (Abb. 17a bis c).



Abb. 16 Infektionsbedingte Wurzelresorption wenige Wochen nach Dislokation des Zahnes 11: Keime und deren Toxine aus der nekrotischen Pulpa dringen durch die Zementdefekte großflächig ins Parodont und führen zu einer raschen Resorption von Zahnwurzel sowie umliegendem Knochen



Abb. 17a Zustand 1 Jahr nach Replantation und Weiterbehandlung eines avulsierten Zahnes 21 mit langer Trockenlagerung von fast 1 Stunde. Der weitgehend fehlende Parodontalspalt lässt bereits das Vorhandensein einer Ankylose vermuten



Abb. 17b 4 Jahre nach dem Unfall erscheint die Ersatzresorption bereits weit fortgeschritten. Die im Vergleich zum unverletzten Nachbarzahn deutlich kürzere Inzisalkante belegt die vom ankylosierten Zahn ausgehende Wachstumshemmung



Abb. 17c 6 Jahre nach dem Unfall erscheint die Zahnwurzel fast vollständig resorbiert. Eine Fraktur der Zahnkrone ist zu erwarten



Abb. 18 Typische Folge der unfallbedingten Ankylose bei Kindern: Infra-position Zahn 11



Abb. 19 Typische Folge der unfallbedingten Ankylose bei Kindern: erhebliche Infra-position Zahn 21

Der Zahn geht beim Erwachsenen im Mittel nach 3 bis 7 Jahren verloren, bei Kindern und Jugendlichen jedoch teilweise deutlich schneller¹. Bei Kindern kommt es durch die direkte Verbindung zwischen Zahn und Knochen (Ankylose) zu einem lokalen Stopp des Kieferwachstums. Während der Oberkiefer nach anterior und kaudal wächst, verbleiben ankylosierte Zähne in ihrer Position und werden verglichen mit den unverletzten Nachbarzähnen optisch kürzer (Abb. 18 und 19). Nach Abschluss des Wachstums bleiben laterale und vertikale Knochendefekte zurück, die vor einer Implantation teilweise aufwändig augmentiert werden müssen. Außerdem werden solche Zähne mit fortschreitender Pubertät durch die sich verschlechternde Ästhetik zunehmend als störend empfunden und können auch psychologisch belastend sein.

Ankylosierte Zähne im wachsenden Kiefer müssen in der Regel umgehend entfernt werden²⁹. Moderne Therapiekonzepte umfassen neben kieferorthopädischen Überlegungen Transplantationen von Milcheckzähnen (vor dem 9. Lebensjahr)^{38,39} oder von Prämolaren (bei älteren Kindern)^{13,29}. Bei Jugendlichen (etwa im 14. und 15. Lebensjahr) empfiehlt sich heute die Dekoronation^{14,34}. Diese modernen Therapien sind in der aktuellen Literatur genau beschrieben und können hier aus Platzgründen nicht näher erläutert werden.

Um solche programmierten Zahnverluste und deren lebenslang erheblichen Folgebehandlungen und -kosten, insbesondere nach schweren Zahnunfällen, zu vermeiden, fokussiert die moderne Therapie von Zahnverletzungen auf den Erhalt und/oder die Regeneration der Zementoblasten sowie auf die Hemmung der Osteoklasten. Diese antiresorptive regenerationsfördernde Therapie soll nachfolgend erläutert werden.

Antiresorptive regenerationsfördernde Therapie (ART)

Befindet sich ein Zahn nach Avulsion außerhalb des Mundes, müssen sich heute sämtliche Aktivitäten auf die Vitalerhaltung und die Regeneration vorgeschädigter Zementoblasten konzentrieren. Das Überleben dieser Zellen in unterschiedlichen Medien ist umfangreich untersucht worden^{28,30,54}. Wenn der Zahn beispielsweise in einem Taschentuch aufbewahrt und auf diese Weise artifiziell ausgetrocknet wird, sind nach etwa 30 Minuten alle Zellen tot; der Zahn wird resorbiert und geht verloren. Ebenfalls unphysiologische Lagerungsmedien sind Wasser (max. 1 Stunde) und Speichel (max. 1,5 Stunden). Sehr limitiert empfehlenswert ist sterile isotone Kochsalzlösung (max. 3 bis 4 Stunden). Kalte und ultrahoherhitzte Milch (UHT) kann für etwa 4 Stunden das Überleben der Zellen gewährleisten.

Die Zahnrettungsbox Dentosafe (Fa. Medice Arzneimittel, Iserlohn) hingegen ist in der Lage, die Zellvitalität über mindestens 24 Stunden zu garantieren, ohne dass nach der Replantation prognostische Kompromisse eingegangen werden müssen^{28,29,43} (Abb. 20). So lassen sich problemlos avulsierte Zähne aus einem Notfalldienst in der Nacht oder am Sonntag am nächsten Praxistag mit besserer (personeller) Infrastruktur replantieren oder betroffene Patienten zu einem Spezialisten bzw. an eine Klinik überweisen. Auch können schwerwiegendere Verletzungen zunächst in der Kinderklinik oder der Unfallchirurgie behandelt werden. Die Zahnrettungsbox sollte daher heute idealerweise in jeder Zahnarztpraxis, in jeder Unfallchirurgie und in jedem Notarztwagen vorhanden sein. Sie sollte ebenfalls dort verfügbar sein, wo häufig Zahnunfälle passieren. In Österreich beispielsweise sind landesweit alle Grundschulen mit Dentosafe ausgestattet. In Deutschland und der Schweiz

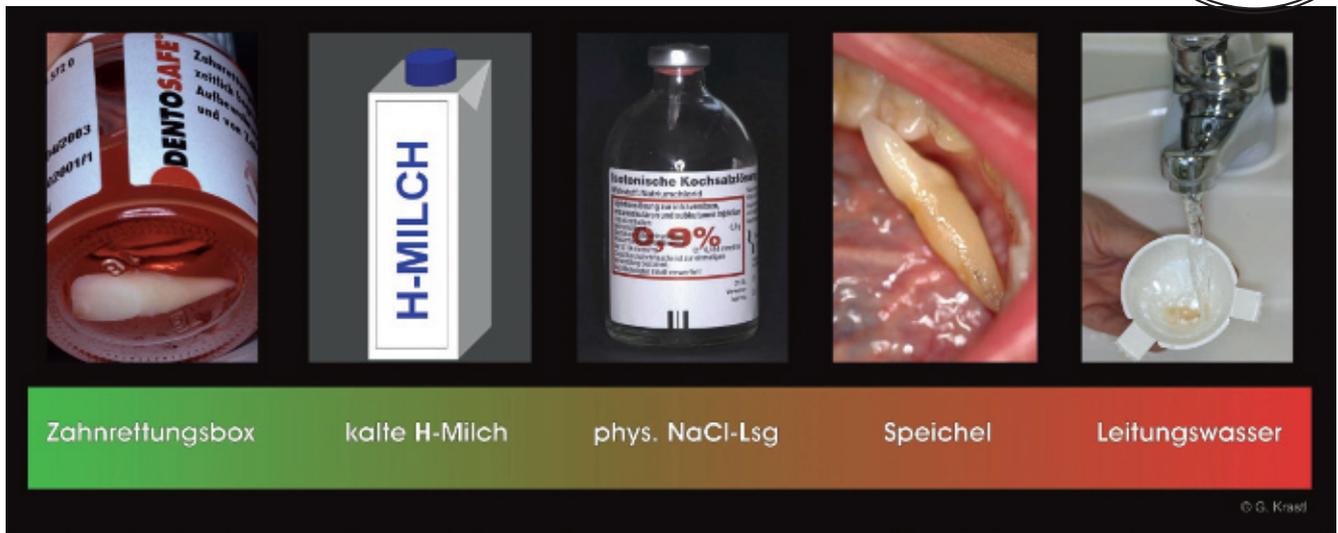


Abb. 20 Lagerungsmedien für avulierte Zähne in der Reihenfolge ihrer Eignung: Während avulierte Zähne in der Zahnrettungsbox für mindestens 24 Stunden im „grünen Bereich“ sind und kalte H-Milch noch für wenige Stunden ein Absterben von Parodontalzellen hinauszögern kann, wird isotonische Kochsalzlösung aufgrund fehlender Nährstoffe diesbezüglich wesentlich kritischer eingeschätzt. Speichel ist aufgrund der hypotonen Eigenschaften und der hohen bakteriellen Kontamination fast ebenso ungeeignet wie Leitungswasser



Abb. 21a Aktuelle Untersuchungen zufolge uneingeschränkt empfehlenswerte Schienung nach Zahntrauma mittels Titan-Trauma-Schiene: Situation nach Reposition des Zahnes 21



Abb. 21b Auftragen des Säure-Gels



Abb. 21c Punktförmige Fixation der Titan-Trauma-Schiene am besten mit Tetric Flow Chroma



gibt es einige regional begrenzte Projekte; das am längsten (seit 1992) und besten dokumentierte Projekt ist das des Arbeitskreises Jugendzahnpflege in Frankfurt/Main^{13,56}.

Befindet sich ein avulsierter Zahn länger als 5 Minuten außerhalb des Mundes, sollte er nicht sofort replantiert, sondern zunächst für mindestens 30 Minuten in die Zahnrettungsbox eingelegt werden^{29,30,54}. Entstehende Toxine und Gewebszerfallsprodukte auf der Wurzeloberfläche können dort besser als im Parodont ausgeschwemmt werden, was die parodontale Regeneration begünstigt.

Auch die zahnärztliche Behandlung selbst kann die zelluläre Situation des Zahnes so verschlechtern, dass eine Ankylose mit nachfolgendem Zahnverlust provoziert wird. Die wichtigsten Hinweise diesbezüglich sind, den Zahn keinesfalls mit in der Praxis vorhandenen desinfizierenden Lösungen wie Wasserstoffperoxid oder Chlorhexidin abzuspülen und ihn niemals mit hohem Kraftaufwand zu reponieren^{4,29}. Avulierte Zähne dürfen nicht an der Wurzeloberfläche berührt werden und keinesfalls austrocknen. Jede Art starrer Schienung von Zähnen provoziert eine Ankylose und ist daher heute in der zahnärztlichen Traumatologie obsolet^{12,29}. Gleiches gilt auch für Tiefziehschienen oder Kieferbruchschienen mit Drahtumschlingungen im Zahnalsbereich. Die heutigen modernen Schienen ermöglichen eine normale Zahnbeweglichkeit, werden in Abhängigkeit von der Verletzung nur für 1 bis 3 Wochen appliziert und gewährleisten eine optimale Mundhygiene approximal und marginal an den verletzten Zähnen^{20,55} (Abb. 21a bis c). Sie sind einfach zu applizieren und durch definierte Klebeflächen schmelzschonend zu entfernen. National und international hat sich heute die Titan-Trauma-Schiene (TTS, Fa. Medartis, Basel, Schweiz) etabliert⁵². Ein verletzter Zahn ist insgesamt unter zellulären Aspekten kompetent und schonend zu behandeln.

Mikroorganismen haben einen wesentlichen Einfluss auf die parodontale Regeneration nach einem Zahntrauma. Gleichzeitig müssen nach schweren Zahnunfällen auch körperfremde Bakterien eliminiert werden. Standardantibiotikum in der zahnärztlichen Traumatologie ist heute das Tetrazyklin bzw. Doxyzyklin^{19,29,47}. Diese Präparate besitzen nicht nur antibiotische, sondern auch hervorragende antiresorptive Eigenschaften, da sie Osteoklasten für die Dauer der Einnahme begrenzt hemmen können. Das verletzte Parodont erhält somit mehr Zeit für die Regeneration. Tetrazykline werden nach schweren Zahnunfällen für 7 bis 10 Tage rezeptiert. Die Dosierung hängt vom Körpergewicht ab, und die Initialdosis am ersten Tag ist doppelt so hoch wie die Erhaltungsdosis. Avulierte Zähne sollten zusätzlich unmittelbar vor der Replantation für 5 Minuten in eine Tetrazyklin-Lösung eingelegt werden (1 mg Tetrazyklin in 20 ml steriler NaCl-Lösung). Auch dies reduziert das Risiko einer Ankylose⁹.

Zusätzlich verdoppelt sich die Chance einer Revaskularisierung der Pulpa wurzelunreifer und zellphysiologisch gereiteter Zähne^{52,58}.

Osteoklasten werden durch Entzündungen und deren Mediatoren im Körper aktiviert. Durch Manipulation der Entzündungsreaktion können Osteoklasten gehemmt bzw. nicht aktiviert werden; das Parodont bekommt mehr Zeit für die Regeneration. Dies ist grundsätzlich systemisch durch die Einnahme nichtsteroidaler Antirheumatika als Schmerzmittel nach dem Unfall (z. B. Diclofenac oder Ibuprofen) möglich. Der Effekt sollte jedoch nicht überbewertet werden. Nach Avulsion lässt sich auch die Wurzeloberfläche lokal mit Steroiden behandeln⁴⁶: Befindet sich der Zahn in der Zahnrettungsbox, wird dieser Dexamethason in definierter Konzentration zugefügt (40 µg/ml). Dieses Konzept hat sich an einigen Traumazentren bewährt.

Bei Defekten über der kritischen Größe von etwa 4 mm² (beispielsweise nach Avulsion mit kritischer extraoraler Aufbewahrung des Zahnes) kann der Versuch einer Reparatur mit Hilfe von Emdogain erfolgen. Emdogain ist in der Lage, begrenzt azelluläres Wurzelzement zu ersetzen^{25,26,49}. Studien an kleinflächig ankylosierten, extrahierten, extraoral mit Emdogain behandelten und replantierten Zähnen belegen dies¹⁵⁻¹⁷.

Der konsequente Einsatz der verschiedenen Bestandteile der ART ist insbesondere dann erfolgreich, wenn (zellulär betrachtet) weder ganz optimale noch ganz hoffnungslose Bedingungen vorliegen^{40-42,44}.

Schlussfolgerung

Die kompetente Behandlung von Zahnverletzungen setzt heute neben restaurativem Know-how insbesondere Spezialkenntnisse aus den Bereichen Parodontologie, Endodontologie und zahnärztliche Chirurgie voraus. Hinzu kommt, dass das Zahntrauma eines der wenigen Vorkommnisse in der zahnärztlichen Praxis ist, bei dem man ohne Vorbereitungszeit schnelle und kompetente diagnostische sowie therapeutische Entscheidungen auf einem Gebiet treffen muss, das nicht zur zahnärztlichen Routine gehört⁵. Die Zahntraumatologie hat sich längst von einem mechanistischen Denken wegentwickelt: Verletzte Zähne werden heute nicht einfach nur geschient und frakturierte Kronen nicht einfach nur ergänzt. Es geht vielmehr darum, Wundheilungsvorgänge positiv zu beeinflussen und zu steuern, um Kindern und Jugendlichen die Möglichkeit zu geben, auch schwer verletzte Zähne mindestens so lange zu erhalten, bis nach Abschluss des Kieferwachstums implantologische Lösungen ohne operations- und kostenintensive vertikale und/oder horizontale Augmentationen möglich sind. Grundvoraussetzung dafür ist ein vitales Parodont, welches heute erhalten, ergänzt oder ersetzt (Zahntransplantation) werden muss und kann.



Literatur

1. Andersson L, Bodin I, Sörensen S. Progression of root resorption following replantation of human teeth after extended extraoral storage. *Endod Dent Traumatol* 1989;5:38-47.
2. Andreasen FM, Pedersen BV. Prognosis of luxated permanent teeth – the development of pulp necrosis. *Endod Dent Traumatol* 1985;1:207-220.
3. Andreasen JO. External root resorption: its implication in dental traumatology, paedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. *Int Endod J* 1985;18:109-118.
4. Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Copenhagen: Blackwell Munksgaard, 2007.
5. Barrett EJ, Kenny DJ. Avulsed permanent teeth: a review of the literature and treatment guidelines. *Endod Dent Traumatol* 1997;13:153-163.
6. Borssen E, Holm AK. Treatment of traumatic dental injuries in a cohort of 16-year-olds in northern Sweden. *Endod Dent Traumatol* 2000;16:276-281.
7. Cvek M. A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *J Endod* 1978;4:232-237.
8. 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* 1992;8:45-55.
9. Cvek M, Cleaton-Jones P, Austin J, Lownie J, Kling M, Fatti P. Effect of topical application of doxycycline on pulp revascularization and periodontal healing in reimplanted monkey incisors. *Endod Dent Traumatol* 1990;6:170-176.
10. Cvek M, Lundberg M. Histological appearance of pulps after exposure by a crown fracture, partial pulpotomy, and clinical diagnosis of healing. *J Endod* 1983;9:8-11.
11. Deppe H, Horch HH. Das Frontzahntrauma aus chirurgischer Sicht. In: Horch H-H (Hrsg.). Zahnärztliche Chirurgie. Praxis der Zahnheilkunde Bd. 9. München: Urban & Fischer, 2003.
12. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK). Wissenschaftliche Stellungnahme: Schienentherapie nach dentoalveolären Traumata. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60:7.
13. Filippi A. Traumatologie bleibender Zähne. In: Lambrecht JT. Zahnärztliche Operationen. Berlin: Quintessenz, 2007.
14. Filippi A, Pohl Y, von Arx T. Decoronation of an ankylosed tooth for preservation of alveolar bone prior to implant placement. *Dent Traumatol* 2001;17:93-95.
15. Filippi A, Pohl Y, von Arx T. Treatment of replacement resorption with Emdogain – preliminary results after 10 months. *Dent Traumatol* 2001;17:135-139.
16. Filippi A, Pohl Y, von Arx T. Treatment of replacement resorption with Emdogain – a prospective clinical study. *Dent Traumatol* 2002;18:138-143.
17. Filippi A, Pohl Y, von Arx T. Treatment of replacement resorption by intentional replantation, resection of the ankylosed sites, and Emdogain – results of a 6 year survey. *Dent Traumatol* 2006;22:307-311.
18. Filippi A, Tschan J, Pohl Y, Berthold H, Ebeleseder K. A retrospective classification of tooth injuries using a new scoring system. *Clin Oral Investig* 2000;4:173-175.
19. Filippi A, von Arx T, Buser D. Externe Wurzelresorptionen nach Zahntrauma: Diagnose, Konsequenzen, Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2000;110:712-729.
20. Filippi A, von Arx T, Lussi A. Comfort and discomfort of dental trauma splints – a comparison of a new device (TTS) with three commonly used splinting techniques. *Dent Traumatol* 2002;18:275-280.
21. Filippi C, Kirschner H, Filippi A, Pohl Y. Practicability of a tooth rescue concept – the use of a tooth rescue box. *Dent Traumatol* 2007;23:(im Druck).
22. Fuks AB, Cosack A, Klein H, Eidelman E. Partial pulpotomy as a treatment alternative for exposed pulps in crown-fractured permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:100-102.
23. Göhring KS, Lehnert B, Zehnder M. Indikationsbereiche von MTA, eine Übersicht. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004;114:143-153.
24. Hamilton FA, Hill FJ, Holloway PJ. An investigation of dento-alveolar trauma and its treatment in an adolescent population. Part 1: The prevalence and incidence of injuries and the extent and adequacy of treatment received. *Br Dent J* 1997;182:91-95.
25. Hammarström L. Enamel matrix, cementum development and regeneration. *J Clin Periodontol* 1997;24:658-668.
26. Heijl L, Heden G, Svärdröm G, Östgren A. Enamel matrix derivative (Emdogain) in the treatment of intrabony periodontal defects. *J Clin Periodontol* 1997;24:705-714.
27. Kaste LM, Gift HC, Bhat M, Swango PA. Prevalence of incisor trauma in persons 6-50 years of age: United States, 1988-1991. *J Dent Res* 1996;75:696-705.
28. Kirschner H, Burkard W, Pfütz E, Pohl Y, Obijou C. Frontzahntrauma. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1992;102:209-214.
29. Kirschner H, Pohl Y, Filippi A, Ebeleseder K. Unfallverletzungen der Zähne. München: Urban & Fischer, 2005.
30. Krasner P, Rankow HJ. New philosophy for the treatment of avulsed teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Endod* 1995;79:616-623.
31. Krastl G. Erhalt eines traumatisierten Frontzahns mit Wurzelquerfraktur durch kieferorthopädische Extrusion. *Endodontie* 2004;13:323-334.
32. Krastl G. Therapie von Dislokationsverletzungen am Beispiel eines komplexen Frontzahntraumas. *Endodontie* 2007;16:35-47.
33. Lim KC, Kirk EE. Direct pulp capping: a review. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:213-219.
34. Malmgren O, Malmgren B, Goldson L. Orthodontic management of the traumatized dentition. In: Andreasen JO, Andreasen FM. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Copenhagen: Munksgaard, 1994:587-633.
35. Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL. Tooth resorption. *Quintessenz Int* 1999;30:9-25.
36. Obijou C. Frontzahntrauma – eine epidemiologische Studie in Gießen. Gießen: Med. Diss., 1994.
37. Petti S, Tarsitani G. Traumatic injuries to anterior teeth in Italian schoolchildren: prevalence and risk factors. *Endod Dent Traumatol* 1996;12:294-297.
38. Pohl Y, Filippi A. Transplantation of primary canines after loss or ankylosis of upper permanent incisors. A prospective case series study on healing and survival. *Dent Traumatol* 2007;23:(im Druck).
39. Pohl Y, Filippi A, Kirschner H. Auto-alloplastic transplantation of a primary canine after traumatic loss of a central permanent incisor. *Dent Traumatol* 2001;17:188-193.
40. Pohl Y, Filippi A, Kirschner H. Results after replantation of avulsed permanent teeth. I. Endodontic considerations. *Dent Traumatol* 2005;21:80-92.
41. Pohl Y, Filippi A, Kirschner H. Results after replantation of avulsed permanent teeth. II. Periodontal healing and the role of physiologic storage and antiresorptive-regenerative therapy (ART). *Dent Traumatol* 2005;21:93-101.
42. Pohl Y, Filippi A, Kirschner H. Is antiresorptive regenerative therapy working in case of replantation of avulsed teeth? *Dent Traumatol* 2005;21:347-352.
43. Pohl Y, Tekin U, Boll M, Filippi A, Kirschner H. Investigations on a cell culture medium for storage and transportation of avulsed teeth. *Aust Endod J* 1999;25:70-75.
44. Pohl Y, Wahl G, Filippi A, Kirschner H. Results after replantation of avulsed permanent teeth. III. Tooth loss and survival analysis. *Dent Traumatol* 2005;21:102-110.
45. Robertson A, Andreasen FM, Andreasen JO, Noren JG. Long-term prognosis of crown-fractured permanent incisors. The effect of stage of root development and associated luxation injury. *Int J Paediatr Dent* 2000;10:191-199.
46. Sae-Lim V, Metzger Z, Trope M. Local dexamethasone improves periodontal healing of replanted dogs' teeth. *Endod Dent Traumatol* 1998;14:232-236.
47. Sae-Lim V, Wang CY, Choi GW, Trope M. The effect of systemic tetracycline on resorption of dried replanted dogs' teeth. *Endod Dent Traumatol* 1998;14:127-132.
48. Schatz JP, Joho JP. A retrospective study of dento-alveolar injuries. *Endod Dent Traumatol* 1994;10:11-14.
49. Sculean A, Reich E, Chiantella GC, Brex M. Treatment of intrabony periodontal defects with an enamel matrix protein derivative (Emdogain): a report of 32 cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1999;19:157-163.
50. Tronstad L. Root resorption – etiology, terminology and clinical manifestations. *Endod Dent Traumatol* 1988;4:241-252.
51. Trope M. Root resorption of dental and traumatic origin: classification based of etiology. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1998;10:515-522.
52. Trope M. Clinical management of the avulsed tooth: present strategies and future directions. *Dent Traumatol* 2002;18:1-11.
53. Trope M. Root resorption due to dental trauma. *Endodontic Topics* 2002;1:79-100.
54. Trope M, Friedman S. Periodontal healing of replanted dog teeth stored in Viaspan, milk and Hank's balanced salt solution. *Endod Dent Traumatol* 1992;8:183-188.
55. Von Arx T, Filippi A, Buser D. Splinting of traumatized teeth with a new device: TTS (Titanium Trauma Splint). *Dent Traumatol* 2001;17:180-184.
56. Weber C. Zahnrettung nach Unfall. Gießen: Med. Diss., 2001.
57. Weiger R. Erfolgsaussichten einer Wurzelkanalbehandlung. *Quintessenz* 2005;56:1055-1064.
58. Yanpiset K, Trope M. Pulp revascularization of replanted immature dog teeth after different treatment methods. *Endod Dent Traumatol* 2000;16:211-217.