

## 1. Einleitung und Vorbetrachtungen

Unfallbedingte Verletzungen des orofazialen Systems sind vor allem bei Kindern und Jugendlichen ein häufiges Ereignis (OBIJOU 1994). Allerdings kann in den letzten Jahren ein Ansteigen der Verletzungen im Erwachsenenalter, bedingt durch ein verändertes Freizeitverhalten, registriert werden (BARRETT und KENNY 1997 a). Dabei werden neben isolierten Verletzungen der Zahnhartsubstanz und des Zahnhalteapparates auch Kombinationsverletzungen mit Beteiligung der Knochen- und Weichteilstrukturen des Kopfes beobachtet.

Verschiedene epidemiologische Studien zeigen eine Prävalenz der Verletzung bleibender Zähne bei Kindern zwischen 20-35% (PETTI und TARSITANI 1996; BORSSSEN und HOLM 1997, Al- MAJED et al. 2001).

Aktuelle Erkenntnisse zur Prävalenz im Erwachsenenalter gibt es hingegen kaum. Eine Studie des „National Institute of Dental Research“ (NIDR) aus den USA untersuchte retrospektiv 7500 Personen im Alter vom sechs bis 50 Jahren mittels Anamnese und klinischer Untersuchung auf Unfallfolgen der bleibenden Schneidezähne (KASTE et al. 1996), wobei eine Prävalenz von 28% in der Gruppe der 21-50jährigen festgestellt wurde.

Traumata, die sich auf die Zähne und zahnumgebenden Gewebe beschränken, werden als dentoalveoläre Verletzungen bezeichnet. Neben traumatischen Schädigungen der Zahnhartsubstanz, den Kronen- oder Wurzelfrakturen, haben vor allem die Luxationsverletzungen des Zahnhalteapparates und deren Folgen eine große Bedeutung. Häufig kommt es dabei neben der obligaten Traumatisierung parodontaler Strukturen zusätzlich zur Schädigung des Endodonts sowie der zahnumgebenden gingivalen und knöchernen Gewebe.

Ein frühzeitiger Behandlungsbeginn nach eingetretenem Zahntrauma, die korrekte Diagnose sowie eine adäquate und minimalinvasive Erstversorgung (DEWHURST et al. 1998, EBELESEDER und GLOCKNER 1998), sind für eine verbesserte Prognose der verletzten Strukturen ebenso von Bedeutung wie bedarfsgerecht geplante langfristige Verlaufskontrollen (VON ARX 1999; EBELESEDER und GLOCKNER 1999), da irreversible pathologische Veränderungen nach Zahntraumata das Kau-system nachhaltig in bezug auf Ästhetik, Funktion und Phonetik beeinflussen können. Einen wesentlichen Teil der Therapie von Verletzungen des Zahnhalteapparates stellt die Immobilisation durch unterschiedliche Schienungsmaßnahmen dar.

Diese Schienungen dienen folgenden Zielen:

1. Fixation der Zähne in anatomischer Position
2. Gewährleistung der Heilungsvorgänge
3. Infektionsprophylaxe
4. Wiederaufnahme von intraoraler Hygiene und oraler Ernährung
5. gegebenenfalls Immobilisation von Alveolarfortsatzfragmenten.

Dabei gelten in Anlehnung an ANDREASEN (1981) und OIKARINEN (1990) sowie EBELESEDER und GLOCKNER (1998) eine Reihe von Anforderungen an die Schienungsmittel:

- Einfache Herstellung und Applikation
- Schonung von Gingiva und Parodont
- Nichtbeeinflussung der Okklusion
- Mundhygienefreundlichkeit und Tragekomfort
- Ermöglichung endodontischer Maßnahmen
- Indikationsbezogene adäquate Fixation im Immobilisationszeitraum
- Mobilität in gewissen Grenzen

Die Starrheit der Schienen, welche von sehr hoch (rigide Schiene) bis niedrig (flexible Schiene) rangieren kann, ist in Abhängigkeit von der Diagnose nach der genauen Indikation zu wählen (OIKARINEN 1990).

Einen beispielhaften Überblick über die Entwicklung dentaler Schienungen vermittelt Tabelle 1.

Gegenwärtig genutzte Schienungssysteme sind zum Beispiel Miniplastschienen, deren Herstellung seit der Einführung des Vacuum-Tiefzieh-Verfahrens aus 0,5 mm dünnen Kunststoffbasisplatten möglich wurde (DRUM 1966). Die Herstellung erfolgt indirekt im zahntechnischen Labor, was eine Abformung des bereits traumatisierten Bereiches erfordert. Als nachteilig erweist sich ebenso wie bei der Palavitschiene nach PFEIFER (1959) eine durch die Schiene verursachte Okklusionsstörung, die mangelhafte Hygienefähigkeit sowie der schwierige endodontische Zugang. Positiv ist jedoch die Möglichkeit der Anwendung bei Retentionsproblemen im Milch- und Wechselgebiss zu sehen.

Die Drahtbogenschienen stellen eine Schienungsvariante dar, welche hauptsächlich für die Behandlung von Kiefer- und Alveolarfortsatzfrakturen, aber auch zur Versorgung von Zahntraumata genutzt wird (SAUER 1889, SCHUCHARDT 1956, OIKARINEN

1987 a, LAGVANKAR 1990). Das Prinzip basiert auf der Befestigung eines freihändig gebogenen, im Labor gefertigten oder konfektionierten, dem Zahnbogen anliegenden halbrunden Schienungsdrahtes, welcher mittels weicher Drahtligaturen an den verletzten und unverletzten Zähnen befestigt und unter Umständen mit Kunststoff verkleidet oder verstärkt wird. Vorteil dieser Methode ist die direkte und kostengünstige Herstellung am Patienten sowie ein relativ guter Zugang für anstehende endodontische Interventionen. Als Nachteil ist die anspruchsvolle Applikation, die verminderte Hygienefähigkeit sowie eine mögliche Irritation der Gingiva durch die Ligaturen zu sehen. Das „Andrillen“ der Ligaturen bewirkt zwar einen guten Repositionseffekt, kann aber eine zusätzliche Quetschung des Parodonts hervorrufen. Die hohe Rigidität dieser Schienen, welche für die Kieferbruchbehandlung Bedingung ist, kann nach aktuellem Erkenntnisstand (ANDERSSON et al. 1985, OIKARINEN 1990, FILIPPI 2000) in der zahntraumatologischen Versorgung Komplikationen hervorrufen, da die heute geforderte funktionelle Belastung der verletzten Zähne nicht möglich ist.

Mit der Einführung festsitzender kieferorthopädischer Apparaturen wurden Bracketschienen auch für die Behandlung von dentoalveolären Verletzungen genutzt (HOVLAND und GUTMAN 1976, ANDREASEN 1981, KIRSCHNER 1996). Die Fixierung der Drähte erfolgt meist über Knopf- oder Edgewisebrackets, die mittels Säure-Ätz-Technik und Kunststoff am Zahn befestigt werden. In Abhängigkeit vom verwandten Draht können die Schienen flexibel oder rigide gestaltet werden. Die relativ gute Hygienefähigkeit sowie fehlende Irritation der Gingiva bieten günstige Voraussetzungen für die Heilung. Endodontische Interventionen sind ohne Probleme möglich. Nachteil dieser Schienungsart ist die relativ anspruchsvolle Applikation sowie die Verwendung kostenintensiver, für den Allgemeinzahnarzt unüblicher Materialien.

Verblockungen von verletzten und unverletzten Zähnen unter Nutzung der Säure-Ätz-Technik (BUONOCORE 1955) in Verbindung mit Kunststoffen wurden beispielsweise von NEAVERTH und GOERIG (1980), OIKARINEN (1992) oder ANDREASEN (1993) vorgeschlagen. Als Material kommen konventionelle chemisch härtende Kunststoffe, lichthärtende Füllungskomposite oder Kunststoffe zu Herstellung provisorischer Kronen und Brücken (OIKARINEN 1990, VON ARX et al. 2001 b) zum Einsatz, wobei die Wahl des Materials die Rigidität der Schiene bestimmt. Vorteil dieser Methode ist die kostengünstige und direkte Applikation am Patienten, der günstige Zugang für notwendige endodontische Maßnahmen, eine relativ gute Hygienefähigkeit sowie die fehlende Irritation der Gingiva. Als nachteilig erweist sich

die ausgeprägte Bruchgefahr der Verblockungen und die Schwierigkeit der vollständigen Entfernung des Kunststoffes aus den Interdentalräumen am Ende der Schienungsperiode (VAN WAES et al. 1987).

Um Schienungsbrüchen vorzubeugen und eine Verblockung der Interdentalräume zu vermeiden, wurden verschiedene Verstärkungsmaterialien, wie Glasfasermatten, Zahnseide oder Angelschnur (FISCHER et al. 1977, ANDREASEN 1993, BAKLAND et al. 1994) unter Verwendung der Säure-Ätz-Technik mittels Kunststoffen als Schienungsbehelfe an den Labialflächen der Zähne befestigt. Auf dem gleichen Prinzip basierend können auch Titanringklebeschienen (KÜBLER et al. 1995, VON ARX et al. 2001 a) oder verschiedenste Drähte (OIKARINEN et al. 1992, EBELESEDER et al. 1995, FILIPPI 2000) zur Verstärkung genutzt werden. Die Applikation dieser Schienungsbehelfe erfolgt kostengünstig direkt am Patienten mit üblichen zahnärztlichen Materialien. Vorteil dieser Variante ist die fehlende zusätzliche Traumatisierung der Gingiva, der problemlose Zugang für endodontische Maßnahmen, die gute Hygienefähigkeit sowie der hohe Tragekomfort für den Patienten. Die Rigidität der Schiene kann durch die Wahl des Verstärkungsmaterials und die Ausdehnung der Kompositklebepunkte problemlos gesteuert werden. Als Nachteil dieser Methode wird auch hier die aufwendige Entfernung des Komposits ohne zusätzliche Schädigung der Zahnoberfläche angegeben.

Tabelle 1 Übersicht über die Entwicklung der Schienungsbehelfe

Schienentyp	Beschreibung	Bemerkungen	Wertung	Literatur
Golddrahtligaturen (Ägypter 2500 v. Chr.; Phönizier 6.-4. Jh. v. Chr.)	Umschlingung von traumatisierten oder parodontal geschädigten Zähnen mit fortlaufenden Achterligaturen aus Golddraht	- Keine Lagestabilität - Flexibel - Direkt und einfach herzustellen - Hygienefähigkeit schlecht - Kostengünstig - Traumatisierung der Gingiva	- + + - + -	RING (1997) LÄSSIG und MÜLLER (1999)
Silber-, Gold- und Seidenligaturen, Flachsfäden und Rosshaar (Römer)	Nutzung von Silber- und Golddraht, Seidenligaturen sowie Rosshaar			SCHEGG (1977) OIKARINEN (1990)
Fortlaufender Ligaturenverband	Nutzung von dünnen weichen Drähten in Form von fortlaufenden Achterligaturen oder Schlaufen			OBWEGESER (1952) HARE (1958) NEAVERTH und GOERIG (1980) HOFFMANN- AXTHELM (1985)
Goldbandschienen (Etrusker 600 v. Chr.)	Aneinanderreihung von Goldstreifenringen von etwa 5 mm Breite und 1 mm Stärke zur Befestigung von traumatisierten oder parodontal geschädigten Zähnen sowie von festsitzendem Zahnersatz	- Traumatisierung der Gingiva - Relative Rigidität - Schlechte Hygienefähigkeit - Schwierige Herstellung	- - - -	HOFFMANN-AXTHELM (1985) LÄSSIG und MÜLLER (1999)
Inlay-, Kronen-, Teilkronen- oder Pinlayschienen	Zahntechnische Herstellung von entsprechenden Gussobjekten für die einzelnen Zähne, die als Schiene zusammengelötet werden	- Herstellung nur mittels Zahntechnik möglich - Hohe Kosten - Anspruchsvolle Präparation - Rigide Schienung - Traumatisierung der Zähne	- - - - -	MILLER (1948) ZURTH und KLEBER (1988)

Transdentale Fixation	Insertion eines Stiftes durch den Pulpakanal über den Apex hinaus bis tief in den Alveolarknochen, oft zur Stabilisierung von Frakturen im mittleren Wurzeldrittel genutzt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interne Stabilisierung von Wurzelfrakturen</li> <li>- Pulpatoter Zahn oder Endodontie ist Voraussetzung</li> <li>- Gute Hygienefähigkeit</li> <li>- Stiftmaterial teilweise nicht biokompatibel</li> <li>- Hohe Anforderungen an den Behandler</li> <li>- Geringe Indikationsbreite als zahotraumatologische Schiene</li> <li>- Materieller Aufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+</li> <li>+/-</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> </ul>	DIETZ (1974) WIRZ (1974)  LUHR (1972) GALITZIEN (1978)
Endodontale Kompressionsschrauben	Ähnlich wie Stifte zur transdentale Fixation, jedoch mit Gewinde im apikalen Bereich, wodurch das koronale Fragment gegen das apikale gepresst wird			
Palavitschiene nach Pfeifer	Direkte Anfertigung durch Auftragen von chemisch härtendem Kunststoff auf den Zahnbogen und Modellation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfache direkte Herstellung</li> <li>- Häufig sehr voluminös</li> <li>- Endodontie nicht möglich</li> <li>- Schlechte Hygienefähigkeit</li> <li>- Kostengünstig</li> <li>- Störung der Okklusion</li> <li>- Rigide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>-</li> </ul>	PFEIFER (1959)
Miniplastschiene nach Drum	Zahntechnische Herstellung einer Miniplastschiene mittels Vacuum-Tiefziehverfahren auf einem individuellen Arbeitsmodell mit einer Schichtstärke von 0,5 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abformung nötig</li> <li>- Indirekte Herstellung</li> <li>- Endodontie nicht möglich</li> <li>- Mäßige Hygienefähigkeit</li> <li>- Störung der Okklusion</li> <li>- Geeignet für Milchgebiss</li> <li>- Relativ rigide</li> <li>- Ästhetisch relativ unauffällig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>(+)</li> <li>(-)</li> <li>+</li> </ul>	DRUM (1966)

Drahtbogen- Schienen	Befestigung eines freihändig gebogenen oder in Labor gefertigten Drahtbogens verschiedener Dimension meist mittels Drahtligaturen, teilweise mit chemisch härtenden Kunststoffen verkleidet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mögliche Irritation der Gingiva</li> <li>- Mundhygiene anspruchsvoll</li> <li>- Endodontie meist möglich</li> <li>- Rigide</li> <li>- Direkt herstellbar, anspruchsvoll</li> <li>- Ästhetisch auffällig</li> <li>- Einfache Korrektur bei Repositionsfehlern möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> <li>-</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>(+)</li> <li>-</li> <li>+</li> </ul>	<p>SAUER (1889)  REICHENBACH (1943)  SCHUCHARDT (1956)  OIKARINEN und,  GUNDLACH (1987)  OIKARINEN (1987 a)  LAGVANKAR (1990)</p>
Bracketschienen	Befestigung von Drahtbögen oder Schienungsdrähten durch Edgewise- oder Knopfbrackets aus der Kieferorthopädie, welche mittels Säure-Ätz-Technik und Kunststoff an den Zähnen befestigt werden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativ gute Hygienefähigkeit</li> <li>- Keine Irritation der Gingiva</li> <li>- Endodontie möglich</li> <li>- In Abhängigkeit vom Schienungsdraht flexibel</li> <li>- Direkt herstellbar</li> <li>- Relativ kostenintensiv</li> <li>- Anspruchsvoll für Behandler</li> <li>- Kein gängiges Material für Allgemeinzahnarzt</li> <li>- Ästhetisch mäßig störend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> </ul>	<p>HOVLAND und GUTMAN (1976)  ANDREASEN (1981)  SAGNE et al. (1986)  HOTZ (1990)  KIRSCHNER (1996)</p>
Komposit in Verbindung mit der Säure-Ätz-Technik	Nutzung von chemisch oder lichthärtenden Kompositmaterialien, als Schienungsmaterial, Vorbereitung der Zahnoberfläche mittels Säure-Ätz-Technik zur Verbesserung der Haftung am Zahn, Verwendung finden Kunststoffe aus der Füllungstherapie und provisorische Kronen- und Brückenmaterialien	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verblockung der Interdentalräume</li> <li>- Je nach Material flexibel/ rigide</li> <li>- Endodontie meist möglich</li> <li>- Teilweise geringe Stabilität (Bruchgefahr)</li> <li>- Direkt herstellbar</li> <li>- Kostengünstig</li> <li>- Keine Traumatisierung der Gingiva</li> <li>- Relativ gut hygienefähig</li> <li>- Relativ schwierig zu entfernen</li> <li>- Korrektur schwierig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> <li>+/-</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>-</li> </ul>	<p>BUONOCORE (1955)  RICHTER und RÖTHLER (1975)  NEAVERTH und GOERIG (1980)  OIKARINEN (1988)  HOFFMANN- AXTHELM (1991)  OIKARINEN et al. (1992)  ANDREASEN (1993)  ANDREASEN und ANDREASEN (1994)</p>

Komposit in Verbindung mit Verstärkungsmaterialien und Säure-Ätz-Technik	Gleiches Vorgehen wie unter Komposit, jedoch zusätzliche Nutzung von Verstärkungsmaterialien, um die Bruchgefahr zu minimieren z.B. Nylonnetze, Kevlar-Fäden, Zahnseide, Angelschnur, Polyesterfäden, Glasfaserfäden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibel</li> <li>- Endodontie möglich</li> <li>- Gute Belastungsstabilität</li> <li>- Direkte Applikation</li> <li>- Kostengünstig</li> <li>- Keine Gingivatraumatisierung</li> <li>- Relativ hygienefähig</li> <li>- Relativ schwierig zu entfernen</li> <li>- Nur bedingt in rigide Schiene unwandelbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>-</li> </ul>	<p>FISCHER et al. (1977) ANDERSSON et al. (1983) BORER (1991) OIKARINEN et al. (1992) ANDREASEN (1993) KAUFMANN (1994) BAKLAND et al. (1994)</p>
Ringklebeschienen in Verbindung mit Säure-Ätz-Technik und Komposit	Anatomisch den Zahnabständen in Ober- und Unterkiefer anpassbare Ringklebeschienen aus Silicidraht oder Titan, welche mittels Säure-Ätz-Technik und Komposit an den Zähnen befestigt wird	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativ rigide</li> <li>- Direkte und relativ einfache Applikation</li> <li>- Hoher Materialaufwand</li> <li>- Kostenintensiv</li> <li>- Gute Hygienefähigkeit</li> <li>- Keine Gingivatraumatisierung</li> <li>- Endodontie möglich</li> <li>- Relativ aufwendig zu entfernen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>-</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>-</li> </ul>	<p>KÜBLER et al. (1995) VON ARX et al. (2001a)</p>
Komposit in Verbindung mit der Säure-Ätz-Technik und Drahtverstärkungen	Gleiches Vorgehen wie unter Komposit, jedoch zusätzliche Nutzung von verschiedenen Drähten, um die Bruchgefahr zu minimieren sowie die Schienungen den Gegebenheiten optimal anzupassen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direkte, einfache Applikation</li> <li>- Gängige Materialien</li> <li>- Kostengünstig</li> <li>- Endodontie möglich</li> <li>- Keine Gingivatraumatisierung</li> <li>- Gute Hygienefähigkeit</li> <li>- Nach Wunsch flexibel/ rigide</li> <li>- Relativ aufwendig zu entfernen</li> <li>- Relativ ästhetisch</li> <li>- Guter Tragekomfort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>-</li> <li>+</li> <li>+</li> </ul>	<p>FISCHER et al. (1977) KRENKEL et al. (1979) NEAVERTH und GOERIG (1980) O`RIORDAN et al. (1982) OIKARINEN (1987 a) VAN WAES et al. (1987) OIKARINEN et al. (1992) EBELESEDER et al. (1993) EBELESEDER et al. (1995) FILIPPI (2000)</p>



### *Rigidität von Schienen*

Zahntraumaschienen wurden in der Vergangenheit meist basierend auf den Prinzipien der Kieferbruchschienung, für welche eine starre Fixation und Immobilisation zu fordern ist, entwickelt. Im Allgemeinen ist man sich jedoch heute einig, dass die Prinzipien der Kieferbruch- und Zahntraumabehandlung differieren. Die temporär rigide Fixation zwischen den Frakturfragmenten, die bekanntermaßen Voraussetzung für eine primäre Knochenheilung ist (SPIESSL 1972), kann im Falle von dentoalveolären Verletzungen schwerwiegende Komplikationen nach sich ziehen (ANDREASEN 1975 a, NASJILETI et al. 1982, BERUDE et al. 1988, VON ARX et al. 2001 a). Im Rahmen einer Nachuntersuchung von 189 traumatisch luxierten Zähnen konnte gezeigt werden, dass Zähne, die nur für kurze Zeit geschient wurden, bessere Heilungsergebnisse aufwiesen, als jene Zähne, welche über einen längeren Zeitraum rigide immobilisiert wurden. Bei diesen Zähnen stieg die Inzidenzrate der externen Wurzelresorptionen signifikant an (ANDREASEN 1970 b, ANDERSSON et al. 1985, BERUDE et al. 1988). Weiterhin wurde bei Untersuchungen am Tier festgestellt, dass eine normale kaufunktionelle Belastung bei avulsierten Zähnen mit relativ kurzer extraoraler Exposition der Entstehung kleiner externer Wurzelresorptionsareale vorbeugen oder verhindern kann (ANDERSSON et al. 1985).

Zur Evaluierung der Rigidität von Zahntraumaschienen wurden in der Literatur verschiedene Methoden beschrieben. OIKARINEN (1988) nutzte ein Phantommodell der Firma Frasco (Pettnang, D), bei dem die Zähne im apikalen Bereich mittels Schrauben im Modell fixiert werden. Zusätzlich wurden drei Millimeter dicke Silikonstücke im vestibulären und apikalen Wurzelbereich plaziert, um eine vertikale und laterale Beweglichkeit der zu untersuchenden Zähne zu simulieren. FILIPPI (2000) setzte für seine Rigiditätsuntersuchungen ebenfalls ein Frasacomodell ein, wobei jedoch die Beweglichkeit der Zähne über eine unterschiedlich starke Fixierung der Schrauben gesteuert wurde. Untersuchungen zur Rigidität verschiedener Schienungsvarianten wurden von OIKARINEN et al. (1992) am Schafsunterkiefer durchgeführt. Als Hauptgrund für die Wahl des Schafmodells ist die ausgeprägte Ähnlichkeit der Unterkieferfrontzähne von Schafen und Menschen in Bezug auf Form und Kronen-Wurzelverhältnis zu nennen. Des weiteren besteht die Möglichkeit einer Schmelzkonditionierung der Labialflächen mittels Säure-Ätz-Technik zur Befestigung von Draht-Komposit-Schienen. Das Vorhandensein eines parodontalen Faserapparates

erscheint für die Übertragbarkeit der in vitro gewonnenen Ergebnisse auf die klinische Situation sinnvoll.

Eine aktuelle Untersuchung zur Rigidität verschiedener Schienen (VON ARX et al. 2001 b) wurde in vivo an freiwilligen unverletzten Probanden durchgeführt.

### *Schienenungszeiten*

In einer Publikation aus dem Jahre 1933 nahm WIGOPER als einer der ersten Stellung zum Problem der Immobilisationszeiten von luxierten Zähnen mit einer empfohlenen Fixation für etwa acht Monate bei avulsierten Zähnen. In den folgenden Jahren und Jahrzehnten verkürzten sich die Immobilisationsintervalle auf sechs Wochen bis drei Monate (DOUGLAS und DOUGLAS 1954, KEHOE 1986). Den umfangreichen Nachuntersuchungen von ANDREASEN (1970 b) ist zu verdanken, dass Hinweise auf eine Beziehung zwischen auftretenden Ersatzresorptionen (Ankylose) und der Dauer der Immobilisation der verletzten Zähne gefunden wurden. In anschließenden Tierexperimenten wurden diese Hinweise genauer untersucht (ANDREASEN 1975 b, ANDREASEN 1980, NASJLETI et al. 1982), und es konnte gezeigt werden, dass bei luxierten Zähnen ohne schwerwiegende Verletzungen der umgebenden Knochen- und Weichteilstrukturen eine Woche als adäquate Schienungsperiode angesehen werden kann. Aufbauend auf den tierexperimentellen Ergebnissen wurden kurze Schienungszeiten auch im Rahmen klinischer Untersuchungen am Menschen geprüft und aufgrund der Behandlungserfolge empfohlen (CHAMBERLIN und GOERIG 1980, NEAVERTH und GOERIG 1980, KEHOE 1986). In Fällen mit ausgedehnten zusätzlichen Verletzungen des umgebenden Knochens oder der Weichteile werden jedoch längere Schienungszeiten zwischen drei und sechs Wochen angegeben, um den knöchernen Strukturen ausreichende Heilungsmöglichkeiten zu gewährleisten (NASJLETI 1982 et al., EBELESEDER et al. 2000). Bisher wurde angenommen, dass Zahnwurzelfrakturen von allen dentoalveolären Verletzungen eine Immobilisationsperiode der Fragmente für drei bis sechs Monate (KRENKEL und GRUNERT 1986, EBELESEDER und GLOCKNER 1998) benötigen, jedoch fanden CVEK et al. (2001) keinen Einfluss der Schienungsdauer auf das Heilungsergebnis.

### *Versorgungskonzepte bei dentoalveolären Verletzungen*

*Konkussion und Lockerung:* Von Konkussion betroffene Zähne sind minimal oder nicht gelockert und eine Veränderung der Position ist nicht erkennbar, jedoch verspüren die

Patienten eine Druck- oder Klopfempfindlichkeit (HOTZ 1990). In Fällen geringgradiger Konkussion ist die Verordnung weicher Kost und gegebenenfalls eine Einschleiftherapie als Mittel der Wahl (DEWHURST et al. 1998) anzusehen, jedoch ist die Schienung mit flexiblen Drähten in Einzelfällen zur Verbesserung des Patientenkomforts und der Ausübung einer schmerzfreien Mundhygiene zu empfehlen (EBELESEDER und GLOCKNER 1998).

Gelockerte Zähne weisen eine erhöhte Beweglichkeit in lateraler Richtung bei normaler Position auf. In den meisten Fällen wird eine flexible Draht-Komposit-Schienung für sieben bis zehn Tage zur Vermeidung weiterer Gewebsschäden empfohlen (HOTZ 1990, DEWHURST et al. 1998).

*Laterale Luxation und Extrusion:* Beide Luxationsarten bedürfen einer vorsichtigen Reposition. Bei lateralen Luxationen muss neben der Wiedereinreihung des Zahnes auch die Reposition des umgebenden Alveolarknochens durchgeführt werden (EBELESEDER und GLOCKNER 1998). Eine flexible Schiene sollte für zwei bis vier Wochen zur Fixierung des Zahnes eingegliedert werden und die Position mittels Röntgendiagnostik kontrolliert werden (DEWHURST et al. 1998). Durch die Dislokation des Zahnes kommt es häufig zum Abriss des Gefäß-Nerv-Bündels am Foramen apicale. Bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum bleibt jedoch die Vitalität in 90% der Fälle erhalten, nach abgeschlossenem Wurzelwachstum ist eine Reduktion auf etwa 50% bekannt (DUMSHA und HOVLAND 1982, ANDREASEN und PEDERSEN 1985). Engmaschige klinische und radiologische Kontrollen sind anzustreben, um bei Eintritt einer Pulpanekrose eine adäquate Therapie einleiten zu können (HOTZ 1990).

*Intrusion:* Durch das Trauma kommt es einerseits zur Schädigung des parodontalen Faserapparates und der desmodontalen Zellen im Bereich der Wurzeloberfläche, andererseits zu einer Kompression oder Fraktur des umgebenden Alveolarknochens sowie zu einer sicheren Verletzung der Pulpa. In verschiedenen Studien wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Therapieansätze bei intrusiven Zahnluxationen untersucht, jedoch ist die optimale Behandlung bis heute noch nicht gefunden (ANDREASEN und ANDREASEN 1994).

Hauptdiskussionpunkte sind dabei die Art und Notwendigkeit der Reposition sowie die damit verbundenen Komplikationen und Folgen. EBELESEDER et al. (2000) untersuchte 56 Patienten mit Intrusionstraumata, davon wurde bei 48 Zähnen eine chirurgische und bei einem Zahn eine orthodontische Reposition vorgenommen. Bei neun Zähnen mit

nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wurde die Reeruption abgewartet. In den Kontrolluntersuchungen wurden Pulpanekrosen und Wurzelresorptionen als posttraumatische Komplikationen festgestellt. KINIRONS und SUTCLIFFE (1991) fanden in ihren Untersuchungen heraus, dass Zähne mit schweren Intrusionstraumata und Zähne, die nicht sofort reponiert wurden, häufiger nicht zu erhalten waren. Sie empfahlen eine vorsichtige chirurgische Reposition des Zahnes und wenn nötig die des frakturierten Alveolarknochens.

Andere Autoren hingegen favorisierten eine orthodontische Reposition des intrudierten Zahnes (TAINTOR et al. 1977, HOTZ 1990, ANDREASEN und ANDREASEN 1994, OULIS et al. 1996). Bei dieser Therapievariante wird empfohlen, den Zahn vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung mit Hilfe einer Extraktionszange minimal zu lockern (ANDREASEN und ANDREASEN 1994, OULIS et al. 1996).

Die Schienung sollte im Falle isolierter Intrusionsverletzungen flexibel für etwa drei bis vier Wochen (EBELESEDER et al. 2000) erfolgen, bei schwereren Frakturen des Alveolarknochens ist auf eine rigidere Schienung für die Dauer von vier bis sechs Wochen zurückzugreifen.

*Avulsion:* Neben den Intrusionen stellt die Versorgung von avulsierten Zähnen eine große Herausforderung für den Behandler dar. Für die Langzeitprognose hat sich der Zustand des Parodonts zum Zeitpunkt der Replantation als wichtigster Einflussfaktor herauskristallisiert (VON ARX et al. 1998, EBELESEDER und GLOCKNER 1998). Er wird hauptsächlich durch die extraalveoläre Verweildauer, eventuell vorhandene Kontaminationen sowie das verwandte Lagermedium bestimmt (ANDERSSON und BODIN 1990, ANDREASEN et al. 1995, BARRETT und KENNY 1997 b). Eine trockene oder unphysiologische Lagerung des avulsierten Zahnes führt innerhalb von 30-60 Minuten zum Absterben der desmodontalen Zellen auf der Wurzeloberfläche. Als Folge der Zellschädigung kommt es im Heilungsverlauf zum Auftreten von Ersatzresorptionen (Ankylose), da die Veränderung der resorptionsprotektiven Schicht (Zementoblasten) und eine lokale Entzündung zur Aktivierung von Osteoklasten führt (TROPE 1998), die für die Resorption der Wurzeloberfläche verantwortlich sind.

Diverse Studien haben die Eignung verschiedener Lagermedien geprüft. Wasser und Speichel sollten nach heutiger Erkenntnis nur im äußersten Notfall genutzt werden (VON ARX et al. 2000). Ringer-Laktat-Lösung oder sterile Kochsalzlösung können für eine Lagerdauer von maximal zwei bis drei Stunden (VON ARX et al. 2000),

ultrahoherhitzte Milch für bis zu sechs Stunden eingesetzt werden (TROPE und FRIEDMAN 1992, ASHKENAZI et al. 1999). Ein spezielles Lager- und Nährmedium steht mit dem DENTOSAFE<sup>®</sup> (Fa. Medice; Iserlohn, Deutschland) zur Verfügung. Enthalten ist ein physiologisches Zellnährmedium mit Pufferzusatz, welches speziell auf die Bedürfnisse der Zementoblasten und Odontoblasten abgestimmt ist (KIRSCHNER et al. 1992, KIRSCHNER et al. 1998, POHL et al. 1999). POHL et al. (1999) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass Zähne, welche vor der Replantation in DENTOSAFE<sup>®</sup> gelagert wurden, eine Zunahme der Mitoserate der Desmodontalzellen zeigten. Ähnliche Ergebnisse fanden PETTIETTE et al. (1997) sowie HUPP et al. (1998) für das in den USA genutzte Lebertransplantationsmedium VIASPAN<sup>®</sup> (DuPont Pharmaceuticals, Wilmington, USA).

Neben dem Einsatz von DENTOSAFE<sup>®</sup> werden weitere Möglichkeiten im Rahmen der antiresorptiven Therapie diskutiert. Im Tierversuch konnten SAE-LIM et al. (1998 a) eine positive Beeinflussung der Resorptionsvorgänge durch die systemische Gabe von Tetracyclin nachweisen, welches eine Reduktion der Mikroorganismen und eine Hemmung der Osteoklasten hervorruft. Die lokale Applikation von Tetracyclin vor der Replantation wurde von CVEK et al. (1990) beschrieben. Da Wurzelresorptionen immer durch einen Entzündungsreiz, der für die Aktivierung der Osteoklasten Voraussetzung ist, vorangetrieben wird, wurde eine lokale Applikation von Steroiden (Dexamethason) zur Unterdrückung der inflammatorischen Reize durchgeführt (SAE-LIM et al. 1998 b). An den so behandelten Zähne konnte eine deutlich verminderte osteoklastische Aktivität festgestellt werden. Seit einiger Zeit wird der Einsatz eines Proteinkomplexes (EMDOGAIN<sup>®</sup>, Fa Biora; Malmö, Schweden) diskutiert (FILIPPI et al. 2001), welcher in der Lage sein soll, die Besiedelung denudierter Wurzeloberflächenareale mit vitalen Desmodontalzellen zu erleichtern (HAMMARSTRÖM 1997). Klinische Untersuchungen zeigen eine Tendenz zur Verringerung von Ersatzresorptionen, jedoch ist der Mechanismus nicht vollständig geklärt. Avulsierte Zähne, die bei einer trockenen und unphysiologischen Lagerung eine längere extraalveoläre Verweildauer als 60 Minuten aufweisen, sollten von den avitalen Desmodontalzellen befreit werden und vor der Replantation in eine Zinn- oder Natriumfluoridlösung eingelegt werden (BJORVATN und MASSLER 1971, SELVIG et al. 1990), was im Tierversuch zu einer Verzögerung und Reduktion der Ersatzresorptionen führte. Diese Ergebnisse konnten im Rahmen einer klinischen Studie von COCCIA (1980) bestätigt werden.

In Bezug auf endodontische Maßnahmen ist bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum eine abwartende Haltung angebracht, da eine Revaskularisierung unter günstigen Bedingungen in etwa 20% möglich ist (KLING et al. 1986). Zähne mit abgeschlossenem Wurzelwachstum hingegen zeigen keine Revaskularisation der Pulpa (KLING et al. 1986). Die daraus resultierende Notwendigkeit einer endodontischen Intervention ist unbestritten, jedoch werden unterschiedliche Behandlungszeitpunkte und Therapieverfahren diskutiert. Einerseits wird eine intraorale endodontische Therapie, ein bis zwei Wochen nach der Reposition beginnend, empfohlen (TROPE 1996, PAVEK und RADTKE 2000). Andererseits wird dagegen eine extraorale endodontische Intervention nach verschiedenen Methoden vor der Replantation propagiert (ANDREASEN und HJÖRTING-HANSEN 1966), KIRSCHNER et al. 1978, POHL et al. 1999).

Nach abgeschlossener Vorbehandlung wird die Alveole vorsichtig mit physiologischer Kochsalzlösung gespült, um das Koagulum sowie eventuell vorhandene Zellabbauprodukte zu entfernen (von ARX et al. 2000). Anschließend wird der Zahn schonend reponiert. Zähne, bei denen der Erhalt vitaler Zementoblasten zu vermuten ist, werden für sieben bis zehn Tage flexibel geschient (ANDREASON et al. 1985, OIKARINEN 1987 b, HOTZ 1990). Zähne, bei denen nach der Entfernung der Wurzelhaut eine Fluoridtherapie durchgeführt wurde, werden nach ANDREASEN et al. (2000) als „körpereigenes Implantat“ angesehen und rigide für 6 Wochen immobilisiert.

*Intraalveoläre Zahnwurzelfraktur:* Für die Therapiewahl bei Wurzelfrakturen ist eine Betrachtung der verschiedenen Heilungsvarianten notwendig. ENGELHARDT und HAMMER (1959) stellten fest, dass eine restitutio ad integrum, wie beispielsweise bei der Heilung knöcherner Verletzungen, am Zahn nicht erwartet werden kann. Im Rahmen einer tierexperimentellen Studie konnte HAMMER (1939) schon sehr frühzeitig verschiedene Möglichkeiten der Wurzelfrakturheilung nachweisen. Eine Variante der Konsolidierung erfolgt hauptsächlich durch Heilungspotenzen aus der Pulpa als sogenannter Dentinkallus, mit zeitlich verzögerter Einlagerung von Dentin in den Bruchspalt. Als zweite Variante wurde die Verkittung der Fragmente mittels Osteozement beobachtet (LINDEMANN 1938, HAMMER 1939). In ungünstigeren Fällen wurde eine Interposition von straffem Bindegewebe gefunden. Bei Zähnen mit primärer Pulpanekrose erscheint eine Konsolidierung nicht möglich, da für alle angegebenen Möglichkeiten die Vitalität der Pulpa Voraussetzung ist. CALISKAN und

PEHLIVAN 1996 sowie CVEK et al. 2001 untersuchten klinisch und radiologisch die Heilung von horizontalen Wurzelfrakturen. In 34-36% wurde ein bindegewebige Interposition, in 27-33% eine Hartgewebsbarriere sowie in zwei bis acht Prozent eine Einlagerung von Knochen gefunden. Infektionen mit nachfolgender Pulpanekrose zeigten 23-37% der untersuchten Zähne.

Im Falle einer vitalen Pulpa sollte eine sorgfältige Reposition der Fragmente, mit dem Ziel, den Frakturspalt so klein wie möglich zu gestalten, durchgeführt werden (KRENKEL und GRUNERT 1986, CVEK et al. 2001). Üblicherweise sollte die Immobilisation des koronalen Fragmentes über eine rigide Draht-Komposit-Schiene für mindestens drei Monate erfolgen (EBELESER und GLOCKNER 1998, KRENKEL und GRUNERT 1986), um die Voraussetzung für eine hartgewebliche Überbrückung zu schaffen (ANDREASEN 1981), jedoch fanden sich in Untersuchungen von CVEK et al. (2001) Hinweise, dass sowohl die Art als auch die Dauer der Schienung keinen Einfluss auf das Heilungsergebnis haben sollen.

Bei pulpatoten Zähnen mit einer intraalveolären Fraktur im apikalen Drittel wird in der neueren Literatur eine endodontische Behandlung des koronalen Fragmentes angestrebt, ohne das apikale Fragment, welches in fast allen Fällen vital bleibt, durch Wurzelspitzenresektion zu entfernen (CVEK 1994). Im Falle einer Fraktur im mittleren oder koronalen Drittel kann ebenfalls das koronale Fragment wurzelgefüllt werden, eine Konsolidierung der Fragmente wird allerdings ausbleiben, was in einer erhöhten Beweglichkeit des Fragmentes resultiert. EBELESER und GLOCKNER (1998) empfehlen die Erhaltung als „körpereigenes Zwischenglied“ durch Fixation mittels Draht-Komposit-Schiene. Weiterhin ist bei nekrotischer Pulpa und Frakturen im koronalen Wurzel Drittel nach erfolgter endodontischer Therapie eine kieferorthopädische Extrusion der verbliebenen Wurzel mit nachfolgender prothetischer Versorgung anzudenken (BONDEMARK et al. 1997, VALERIO et al. 2000). Auch die Methode der intentionellen Replantation mit retrograder Stiftinsertion (KIRSCHNER et al. 1978, POHL et al. 1999) erscheint zum Erhalt von pulpatoten Zähnen mit Frakturen im mittleren und koronalen Wurzel Drittel geeignet.