

4. Diskussion

Nach Kenntnis und Auswertung der Literatur über Reparaturmechanismen der Zahnhartsubstanzen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Wissen über Ionenaustauschvorgänge am Schmelz, Tertiärdentinbildung und Zementumbauprozesse heute Bestandteil von Lehrbüchern ist. Die ältesten Feststellungen stammen aus dem Jahre 1773 von Hunter über die Existenz einer bei pathologischer Reizeinwirkung gebildeten Dentinart und werden von ihm als Sekundärdentin bezeichnet.

Überraschende Befunde gibt es über die oberflächliche Reparatur von Schmelzsprüngen durch Speichelbestandteile (WOLF, NEUWIRT 1941, KATTERBACH et al. 1965, BACHMANN und LUTZ 1976) und Fallreports über Ausheilen von Wurzelfrakturen ohne therapeutische Einflussnahme (TZIAFAS, MARGELOS 1993).

Viele Quellen beschäftigen sich seit der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert mit ernstzunehmenden Theorien der Kariesentstehung und ihrer Verhinderung, aber erst in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden von den Krankenkassen die Individualprophylaxepositionen eingeführt, um statt Schadensbegrenzung dem Zahnarzt ein präventives Eingreifen zu ermöglichen.

Inbezug auf Schmelz konnten die Erkenntnisse insbesondere in die Kariesprävention einbezogen werden, so dass Patienten über die Ursache von Karies und deren aktive Vermeidung aufgeklärt werden können. Ebenso gibt es für jeden die Möglichkeit die geeigneten Mundhygieneartikel zu kaufen und es die Aufgabe des Zahnarztes oder einer Dentalhygienikerin, über den korrekten Gebrauch von sinnvollen Mundpflegeartikeln und dem gezielten Einsatz von fluoridhaltigen Präparaten aufzuklären. (z.B. Elmex Gelée, Duraphat-Lack). Das präzise Wissen über die Entstehung von Karies und die Weiterentwicklung von Füllungsmaterialien insbesondere hinsichtlich der Adhäsivtechnik, wirkt sich in zweifacher Form günstig für so viel Zahnhartsubstanzerhalt wie möglich aus. *Erstens* ist heute nicht jede Karies unbedingt behandlungsnotwendig (NAUJOKS 1981).

Die Tatsache, dass demineralisierter Schmelz ein viel höheres Remineralisationspotential hat als gesunder Schmelz, unterstreicht die Effektivität von lokaler Fluoridierung, denn erwiesenermaßen kann sich eine Initialkaries mit einem Mineralverlust von maximal 30% mittels Mundhygiene und lokaler Fluoridierung vollständig zurückbilden (KLINGER und WIEDEMANN 1985). Ist der Patient in der Lage, die betroffene Stelle sauber zu halten und regelmäßig zu Fluoridieren, belässt es der Behandler zunächst nur bei regelmäßiger Kontrolle

und wird noch nicht invasiv vorgehen müssen (NAUJOKS 1981). Erst ab einem Entmineralisierungsgrad des Schmelzes von 30% ist ein invasives Vorgehen indiziert (KLINGER und WIEDEMANN 1982).

Zweitens bieten moderne Compositestoffe die Möglichkeit, mit minimalinvasiv präparierten Kavitäten vorhandene Kariesläsionen zu entfernen (HELLWIG et al. 1995). Obwohl beim Schmelz-Ätz-Verfahren akzidentiell unbeteiligte Schmelzareale demineralisiert werden, ist die Remineralisationskraft des Speichels absolut ausreichend, um eine komplette Remineralisation zu bewerkstelligen (WUCHERPFENNIG et al. 1990), durch lokale Fluoridierung würde dieser Vorgang allerdings beschleunigt werden (GELHARDT et al. 1979). Bei ausreichender Mundhygiene ist der Füllungsrand gut sauber zu halten, wobei an dieser Stelle wiederum Prophylaxe und Aufklärungsarbeit am Patienten gefordert ist.

Bei mechanischer Schädigung des Zahnes ist nur sehr begrenzt Regeneration möglich. Bei Schmelzsprüngen oder Rissen kann der Defekt durch Mineralisierungsprozesse oberflächlich verschlossen und so einem kariösen Befall vorgebeugt werden (WOLF und NEUWIRT 1941, KATTERBACH et al. 1965, BACHMANN und LUTZ 1976). Bei Schmelzfraktur ist durch die Unfähigkeit der Ameloblasten posteruptiv Schmelz zu produzieren kein Ersatz des frakturierten Schmelzteiles möglich (SCHRÖDER 2000).

Dentin ist die einzige innervierte Zahnhartsubstanz und als eine Einheit mit der Pulpa zu verstehen (BYERS 1984). Durch falsche Behandlungsmaßnahmen sind zusätzliche Schädigungen der Pulpa und des Odontoblastensaumes iatrogen durch z. B. Odontoblastenaspiration oder Dentinaustrocknung möglich (PASHLEY 1996). Der mechanische Stimulus des Bohrens bedeutet für den Zahn zusammen mit den ausgeübten Wärme- und auch Kältereizen großen Streß (HOIRUCHI und MATTHEWS 1973). Durch Austrocknen beim Füllunglegen oder Anwendung von reinigenden Lösungen wird er zusätzlich verstärkt (PASHLEY 1996). Die gesunde Pulpa kann abgestorbene Zellen durch Autolyse entfernen und sie durch mesenchymale Reservezellen ersetzen, die zu Odontoblasten differenzieren können (FITZGERALD 1979). Bei sterilem Umgebungsmilieu geht dieser Prozeß mit einer leichten Pulpitis einher (SMITH et al. 1994). Die Möglichkeiten einer postoperativen Pulpitis zu entgehen sollten also ausgenutzt werden. Durch verringerte Transmitterausschüttung kann eine Anästhesie eine neurogene Pulpitis effektiv verhindern (PASHLEY 1996). Bei Kavitätenpräparation kann durch Einsatz der „washed-field-Technik“

(SPIERINGS et al. 1985) oder Wasserspraykühlung, scharfen Bohrern und intermittierendem Vorgehen der schädigende Einfluß auf den Zahn durch Vitalerhaltung der Zellen begrenzt gehalten werden (PASHLEY 1996). Eine trockene und saubere Kavität ist maßgeblich am Behandlungserfolg beteiligt, aber dennoch sollten keine zusätzlich irritierenden Reinigungsmittel, wie etwa Aceton oder Alkohol auf Dentin angewendet werden, da die Verdunstungskälte zusätzlich durch Flüssigkeitsauswärtsbewegung aus den Dentintubuli die Mechanorezeptoren in der Pulpa reizen kann (PASHLEY 1996).

Besonders vielfältig sind die Forschungsergebnisse bezüglich der Möglichkeiten eine punktförmig eröffnete Pulpa direkt zu überkappen.

Die Tatsache, dass Calciumhydroxid noch immer als einziges Material für diese Behandlung Anwendung findet (STAEHLE 1990), obwohl das folgend gebildete Dentin große qualitative Mängel aufweist (COX et al. 1996), unterstreicht die schwierige Umsetzung von vielversprechenden Ergebnissen aus dem Tierexperiment in die klinische Anwendung am Patienten mit Wachstumsfaktoren.

Calciumhydroxid ist ein körperfremder Stoff, der durch seinen alkalischen pH-Wert über Entzündungsreaktionen zu einer Ausheilung des Defektes unter überhastet gebildeter Dentinproduktion führt. Durch die entstehenden Tunneldefekte haben Bakterien immer Zugang zur Pulpa, sodaß ein dauerhafter Pulpenschutz nur durch eine zusätzliche Abdichtung des angrenzenden Dentins erfolgen kann, zB. mit einem Dentinadhäsiv und Bonding.

Eine Alternative zum $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Einsatz bei direkter Überkappung sind Kunststoffe (INOUE und SHIMANO 1992, MIYAKOSHI et al. 1994), darunter bildet sich zwar quantitativ weniger Dentin, es hat aber eine deutlich bessere Qualität (PASHLEY 1996).

Der Erfolg im Tierexperiment ist noch sehr uneinheitlich, das wird schon durch die Tatsache deutlich, dass BMP-7 an Affenzähnen besonders erfolgreich eingesetzt werden konnte (RUTHERFORD et al. 1993), im Gegensatz dazu an Ratten aber TGF- β bessere Resultate brachte. Dennoch ist das unter Wachstumsfaktoren gebildete Dentin qualitativ sehr viel besser als unter Calciumhydroxidpräparaten (HU et al. 1988).

Eine zukünftige Behandlungsmöglichkeit könnte darin bestehen, lokal ein Wachstumsfaktorengemisch auf die Dentinoberfläche in der Kavität aufzutragen, um von der pulpalen Seite durch Bildung atubulären Dentins angeschnittene Dentinkanälchen zu versiegeln. Auf diese Weise hätte die Dentinfläche sofortigen Schutz von außen und nach einigen Monaten durch neu gebildetes Dentin einen doppelten Schutz von der Innenseite, der

künftige Dentinüberempfindlichkeiten verhindern könnte (PASHLEY 1996).

Durch die Verwendung von Wachstumsfaktoren würde man dem Zahn die Möglichkeit zur Selbsthilfe geben, der Heilungsprozeß wäre also dem physiologischen Geschehen angenähert (PASHLEY 1996) und Odontoblasten können unter günstigen Voraussetzungen gesund gehalten werden.

Denselben Gedanken verfolgt man bei der Therapie der marginalen Parodontopathien. Im Allgemeinen werden parodontale Taschen durch Scaling und Wurzelglättung entweder chirurgisch oder nicht-chirurgisch behandelt. Die Defekte heilen unabhängig von der vorgenommenen Therapie mit einem langen Saumepithel aus und bei guten anatomischen Voraussetzungen mit einer Knochenauffüllung des Defektes (CATON und NYMAN 1980). Alternative Behandlungsmöglichkeiten zusätzlich zur herkömmlichen Parodontaltherapie mit gesteuerter Geweberegeneration zur Verhinderung der Bildung des langen Saumepithels sind in der klinischen Anwendung. Durch Anlegen einer Membran auf die kürettierte Wurzeloberfläche wird das schneller wachsende Epithel an der Besiedelung der Wurzeloberfläche gehindert und den langsameren Zementoblasten das nach koronal gerichtete Wachstum erleichtert (LINDSKOG und BLOMLÖF 1994). Mit dieser Methode gibt man dem Körper günstige Voraussetzungen zur Reetablierung möglichst ursprünglicher Verhältnisse. Da dies aber bei starkem Knochenschwund schwierig ist, benutzt man Knochenfüllmaterialien, um künstlich die Taschentiefen in kürzerer Zeit reduzieren zu können (WIRTHLIN 1987). Das auftretende Problem ist bei allen Materialien das gleiche, dass man nämlich Zweifel daran hat, ob es sich bei dem neu gebildeten Material an der Wurzeloberfläche wirklich um Zement handelt (SCHÜPBACH et al. 1993).

An dieser Stelle greift man ähnlich wie schon bei der Möglichkeit zur Überkappung der eröffneten Pulpahöhle die Therapie mit biologischen Mediatoren auf.

Die Gewebsneubildung am Parodont gestaltet sich noch schwieriger, da man nicht die Komponenten des Zahnhalteapparates einzeln, sondern als Gesamtheit behandeln muß, weil sich das Parodont auch als Ganzes entwickelt. Gewebsneubildung ist ein komplexer Vorgang, innerhalb dessen die Bildung von parodontalen Ligamentfasern und Knochen an verschiedenen Stellen möglich wird (MURAMAKI et al 1999).

Als Beispiel kann Regeneration mit dem Fibroblastenwachstumsfaktor (bFGF) genannt werden (GIBRAN et al. 1994, YU et al 1989), der auf Mesenchymzellen einwirkt und im Tierversuch an Hunden vielversprechende Ergebnisse gebracht hat (MURAMAKI et al 1999).

Die klinische Behandlung mit Schmelzmatrixprotein ist schon seit einigen Jahren möglich (PONTORIERO et al. 1989) und verfolgt auch das Prinzip der Induktion von mesenchymalen Geweben (HAMMARSTRÖM 1997). Allerdings ist ein Knochenzuwachs von ca. 5mm erst innerhalb von drei Jahren unter guten Voraussetzungen möglich (HEIJL et al. 1986). Obwohl Zement ein regenerationsfreudiges Zahnmaterial ist, bleiben die genauen Untersuchungen über die Qualität des regenerierten Materials nach Parodontalbehandlung noch auf dem Stand von Tierexperimenten an Hunden, Katzen oder Affen (BLOMLÖF und LINDSKOG 1994, LINDSKOG und BLOMLÖF 1994b, SCHÜPBACH et al. 1993, NALBANDIAN und FRANK 1980).

Diese Tatsache weist genau wie bei den Erkenntnissen für die direkte Pulpaüberkappung darauf hin, dass die Erfolge sich womöglich nicht auf den Menschen übertragen lassen, da die Erfolgsquote bei den unterschiedlichen Tierarten auch großen Schwankungen unterworfen ist.

Detaillierteres Wissen gibt es hingegen über den physiologischen Reparaturprozeß von Zement und Knochen nach Resorptionen aufgrund Applikation physikalischer Kräfte, durch Untersuchungen aus der Kieferorthopädie (BRUDVIK und RYGH 1995). So gut wie alle Zähne werden im jugendlichen Alter nach Durchbruch und mit Beginn der okklusalen Kontakte an der Wurzel resorbiert. Während einer kieferorthopädischen Behandlung sind die Resorptionsraten zusätzlich erhöht und finden an allen Zähnen statt (OWMAN-MOLL et al 1995a). Wurzelresorption dauert auch nach Beendigung der Kraft in Gebieten an, wo hyalinisiertes Gewebe zu finden ist, genauso kann Reparatur von resorbierten Wurzeloberflächen auch in Gegenwart einer leichten Kraft stattfinden (BRUDVIK und RYGH 1995). Bereits nach einer Woche findet an 28 % der behandelten Zähne partielle Reparatur statt, nach fünf Wochen dominiert die funktionelle Reparatur mit vollständiger Bedeckung der Resorptionslakunen (OWMAN-MOLL et al. 1995a). Dieser Reparaturprozeß ähnelt der frühen Zementogenese, nach Zementeinlagerung sind die Strukturen der Zellen des parodontalen Ligaments ähnlich derer an unbehandelten Zähnen, zumal der Zement Substanzen enthält, die in der Lage sind das Fibroblastenattachment an der Wurzeloberfläche zu steuern (BRUDVIK und RYGH 1995).

Der komplette Heilungsvorgang dauert jedoch länger als acht Wochen (OWMAN-MOLL 1995a), dabei können Zementblasten vital und in Funktion gehalten werden.

Den Extremfall einer Zahnbeschädigung stellt die Wurzelfraktur dar, wobei Zement, Dentin und die Pulpa betroffen sind. Wenn die Bruchstelle keinen Kontakt zum gingivalen Sulkus hat und die beiden Fragmente nicht zu sehr voneinander verschoben werden, ist der Zahn durchaus von selbst in der Lage ohne therapeutischen Einfluß wieder zusammen zu wachsen. Das Reparaturmaterial wird dann vermutlich von Odontoblasten und von Zellen des parodontalen Ligaments produziert (TZIAFAS und MARGELOS 1993).

Durch vorsichtige Fragmentrepositionierung und Ruhigstellung des betroffenen Zahnes kann ein Zusammenwachsen der Fragmente unterstützt werden, auch wenn für den Erfolg zum Behandlungsbeginn keine Garantie gegeben werden kann, weil die Gefahr der Pulpitis nach Traumaeinwirkung unterschiedlich groß ist (ANDREASEN und HJORTIG-HANSEN 1967). Diese Gesamtheit aller Forschungsergebnisse über biologische Zusammenhänge und Mediatoren bei Regenerations- und Reparaturprozessen am Zahn können nutzbar gemacht werden, um sie gezielt in der Therapie einsetzen zu können.