Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor Prof. Dr. U. Lotzmann
Abteilung für Parodontologie
Kommissarische Leitung: Prof. Dr. R. Mengel
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Standort Marburg

Behandlung des Furkationsbefalls und intraalveolärer Defekte bei Patienten mit fortgeschrittener chronischer Parodontitis durch resorbierbare Membran und bioaktives Glas

Ergebnisse einer klinischen und radiologischen

Langzeitstudie

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin der

Philipps-Universität Marburg

vorgelegt

von

Kerstin Sonnenschein

aus Arnsberg

Marburg, 2009

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg am:
06.08.2009
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund
Referent: Prof. Dr. R. Mengel
1. Korreferent: Prof. Dr. K. Lehmann

Meiner Familie gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

1.1. Ätiopathogenese der Parodontitis 1
1.2. Intraalveoläre Defekte und Furkationsbefall 4
1.3. Parodontaltherapie 8
1.4. Verschiedene regenerative Operationsmethoden 12
1.5. Resorbierbare Membran 21
1.6. Bioglas 29
1.7. Ziel der Arbeit 36

2. Material und Methode 37

2.1. Patientenkollektiv 37
2.2. Zeitlicher Ablauf der Studie 38
2.3. Statistische Ausgangsdaten 39
2.4. Erhobene Parameter 42
2.5. Operativer Eingriff 47
2.6. Recalluntersuchungen 50
2.7. Statistische Analyse 50

3. Ergebnisse 52

3.1. Ergebnisse der operierten Furkationsbeteiligungen 52
3.2. Ergebnisse der operierten intraalveolären Defekte 59
3.3. Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen 66
3.4. Ergebnisse im Vergleich zu unbehandelten Referenzzähnen 68

4. Diskussion 69

4.1. Diskussion der Methode 69
4.2. Diskussion der Ergebnisse 76

5. Schlussfolgerungen 89

6. Zusammenfassung 90

7. Literaturverzeichnis 92

8. Anhang A 111

8.1. Tabellen- und Abbildungsverzeichnis 111
8.2. Tabellen 114
8.3. Verzeichnis der verwendeten Geräte und Materialien 120

9. Anhang B 122

9.1. Lebenslauf 122
9.2. Verzeichnis der akademischen Lehrer 124
9.3. Danksagung 125
9.4. Ehrenwörtliche Erklärung 126

1. Einleitung

Die Parodontitis ist eine Infektionserkrankung, die zur Entzündung des Zahnhalteapparates und zu progressivem Attachment- und Knochenverlust führt. Sie kennzeichnet sich durch Bildung von Zahnfleischtaschen und/oder Gingivarezessionen. Die chronische Parodontitis stellt mit einer Prävalenz von 95% die häufigste Form der Parodontitiden dar. Sie führt zu einem irreversiblen Verankerungsverlust der Zähne und ohne therapeutische Maßnahmen auch zum Ausfall der Zähne. Epidemiologische Studien zeigen, dass bei etwa 10 bis 15% der über dreißigjährigen Patienten eine chronische Parodontitis vorliegt (*Mengel et al.* 1993, *Papapanou* 1996, *Benigeri et al.* 2000) wobei sie am häufigsten bei Erwachsenen ab der 4. Lebensdekade und eher selten bei Kindern und Jugendlichen auftritt.

Die parodontale Destruktion verhält sich proportional zu der Menge lokaler ätiologischer Faktoren wie subgingivaler Zahnstein und Plaque. Eine chronische Parodontitis entwickelt sich meist auf der Grundlage einer chronischen Gingivitis. Es kommen verschiedene Verlaufsformen mit langsamer oder mäßiger Progression vor, wobei auch Perioden rascher Progression möglich sind. Die chronische Parodontitis tritt lokalisiert (weniger als 30% betroffene Zahnflächen) und generalisiert auf (mehr als 30% betroffene Zahnflächen).

Ziel der kausalen Therapie ist in erster Linie, eine maximale Keimreduktion in der Mundhöhle zu erreichen. Bei der Wiederherstellung zerstörter Gewebe und von natürlichen anatomischen und physiologischen Verhältnissen spielen die verschiedenen chirurgischen Therapien eine zentrale Rolle.

1.1. Ätiopathogenese der Parodontitis

In der aktuellen Literatur geht man davon aus, dass bestimmte Bakterien und Defizite der Immunabwehr vorhanden sein müssen, damit eine Parodontitis entstehen kann. Einerseits konnten bestimmte Leitkeime, die sehr häufig bei Parodontitiden gefunden werden, identifiziert werden. Andererseits ist die Wirtsantwort auf den mikrobiellen Angriff im Rahmen ihrer Schutzfunktion für einen Großteil der Zerstörung mitverantwortlich (*Kinane & Lindhe* 1997, *Mengel*

& Flores-de-Jacoby 2000). Demnach stellt die mikrobielle Plaque auf den Zahnoberflächen den *primären* ätiologischen Faktor der entzündlich bedingten Parodontopathien dar (*Ellison* 1970, *Listgarten* 1986) und wird mit den Reaktionen des Wirtsorganismus als *primärer* Ursachenkomplex zusammengefasst. Die Faktoren, welche das Parodont entweder direkt durch Traumatisierung oder indirekt durch Förderung der Plaqueakkumulation schädigen, werden als *sekundärer* Ursachenkomplex (Co-Faktoren) bezeichnet (*Mengel & Flores-de-Jacoby* 2000). Als Beispiele kommen überstehende Kronen- oder Füllungsränder sowie Zahnfehlstellungen oder Anomalien der Zahnform in Betracht.

Listgarten konnte 1987 nachweisen, dass die Bakterien die parodontalen Gewebe *direkt,* z.B. durch proteolytische Enzyme oder Exotoxine wie Leukotoxin, sowie durch Endotoxine wie den Lipopolysacchariden (LPS) der gramnegativen Bakterien, schädigen können. Über die Wirtsreaktion, die immunologische Antwort auf den mikrobiellen Angriff kann es aber auch *indirekt* zu pathologischen Veränderungen im Bindegewebe und im Bereich des Alveolarknochens kommen (*Kinane & Lindhe* 1997). Als Folge der Aktivierung von neutrophilen Granulozyten und Makrophagen kann es zu einer Freisetzung von lysosomalen Enzymen und Proteasen und somit indirekt zu einer Kollagendestruktion kommen (*Konttinen et al.* 1989). Der Knochenabbau kann durch Mediatoren wie Interleukin-1β, Interleukin-6 oder Prostaglandin E_2, die von Makrophagen, T- und B-Lymphozyten und anderen körpereigenen Zellen produziert werden, verursacht werden (*Tatakis* 1993).

Interleukin-1β z.B. kann Osteoklasten aktivieren und somit eine Knochenresorption verursachen.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Abwehrreaktionen des Wirtsorganismus durch die Mikroflora und ihre Produkte modifiziert werden. Beispielsweise sind bakterielle Proteasen in der Lage, die Gewebe indirekt zu schädigen. Sie verändern die funktionelle Aktivität humoraler Antikörper, die gegen bakterielle Antigene mit pathogener Bedeutung gerichtet sind (*Kinane & Lindhe* 1997).

Einige gramnegative Bakterien können Stoffe produzieren, die die Chemotaxis der polymorphkernigen Granulozyten oder die Aktivität der Fibroblasten hemmen.

Nach Page und Schroeder (1976) werden die gingivoparodontalen Entzündungen pastohistologisch in vier chronologisch aufeinander folgende Stadien charakterisiert.

Die *initiale* Läsion (klinisch gesunde Gingiva) ist durch eine klassische, akut-entzündliche Reaktion der Gefäße unterhalb des Saumepithels gekennzeichnet, die bereits nach 24 Stunden Plaqueakkumulation eintritt. Flüssigkeitsexsudat aus dem Sulcus gingivae ist zu beobachten. Histologisch zeigt sich eine verstärkte Migration von Leukozyten in das Saumepithel und den Sulcus gingivae. Aufgrund gesteigerter Gefässpermeabilität treten extravaskuläre Serumproteine, speziell Fibrin auf. Es kommt zu einer Auflockerung der koronal gelegenen Abschnitte des Saumepithels, zu einem Verlust von perivaskulären Kollagen und zur partiellen Auflösung des Epithelansatzes mit Ausbildung einer subgingivalen Nische (*Payne et al.* 1975, *Schroeder* 1997a, *Kinane & Lindhe* 1997).

Nach ein bis zwei Wochen entwickelt sich die *frühe* Läsion, wobei ein verstärktes Auftreten der bereits genannten Merkmale zu beobachten ist. Eine infiltrative Ansammlung von Lymphozyten im Gebiet der akuten Entzündung, unmittelbar unterhalb des Saumepithels, kennzeichnet das histologische Bild ebenso wie zytopathische Veränderungen der ortsständigen Fibroblasten, die möglicherweise aufgrund einer Lymphozyt-Fibroblast-Wechselwirkung entstehen.

Neben weiterem Kollagenverlust im Bindegewebe, das den Gingivarand stützt, beginnt die Proliferation der Basalzellen im Saumepithel.

Spontan entsteht nach wenigen Wochen die *etablierte* Läsion, die das Fortbestehen akut-entzündlicher Vorgänge bedeutet. Sie ist an das Vorhandensein subgingivaler Plaque gebunden und stellt ein noch reversibles Stadium dar. Das Infiltrat zeigt eine Dominanz der Plasmazellen, jedoch ohne Anzeichen von Knochenschwund. Histologisch findet man eine Anreicherung von extravaskulären Immunglobulinen in Bindegewebe und Saumepithel.

Es kommt zu einer fortschreitenden Auflösung des Bindegewebes und weiterem Attachmentverlust mit Ausbildung von echten Parodontaltaschen. Diese beginnende Taschenbildung ist durch eine Proliferation des Saumepithels mit apikal und lateral gerichteter Aussprossung gekennzeichnet.
Die Fortdauer der für die etablierte Läsion typischen Vorgänge führt zu der nicht mehr reversiblen *fortgeschrittenen* Läsion. Es finden sich weitverbreitete Anzeichen für entzündliche und immunpathologische Gewebereaktionen. Die Läsion dehnt sich nun in das Desmodontium und den Alveolarknochen mit signifikantem Knochenschwund aus. Tiefere Knochenmarkbereiche werden in fibröses Bindegewebe umgewandelt. Histologisch kann man einen anhaltenden Kollagenverlust unterhalb des Saum- und Taschenepithels und gleichzeitige Fibrose im peripheren Gingivabereich beobachten. In den vermehrt auftretenden Plasmazellen treten zytopathische Veränderungen auf, zytopathisch veränderte Fibroblasten fehlen. Es gibt sowohl Perioden der Exazerbation als auch der Stagnation (*Page et al.* 1976).
Die Parodontitis (fortgeschrittene Läsion) entsteht in der Regel aus einer chronischen Gingivitis. Bemerkenswert ist, dass diese Entwicklung nicht zwangsläufig ist und für die Ausbildung einer Parodontitis nicht alleine die weiterhin bestehende Anwesenheit oder Menge von Plaque maßgeblich zu sein scheint. Es wird davon ausgegangen, dass neben der Plaqueakkumulation noch andere Faktoren einen Einfluss auf die weitere Progression und Ausprägung der entzündlichen Parodontalerkrankung haben (*Page* 1986, *Lindhe et al.* 1975).

1.2. Intraalveoläre Defekte und Furkationsbefall

Die Taschenbildung ist eine Folge apikal gerichteter Ausdehnung der subgingivalen Plaque und der daraus resultierenden Entzündungsreaktion der parodontalen Gewebe. Die Bakterien der subgingivalen Plaque verlagern sich nach apikal mit der nach apikal gerichteten Proliferation des Saumepithels entlang der Zahnwurzel. So werden immer tiefere Abschnitte des Parodonts von den Entzündungs- und Zerstörungsprozessen erfasst. Innerhalb eines begrenzten Wirkungsradius erfolgt nun eine entzündliche Antwort.

Das bedeutet, dass die Infiltration und der Abbau ortsständiger Strukturen im Umfeld um den Taschengrund und der Zahnoberfläche entlang des lokalisierten bakteriellen Infektes stattfinden.

Dieser Wirkungsmechanismus führt zu verschiedenen Taschenformen: Solange der Taschenfundus sich supraalveolär im Bereich der Gingiva befindet, entsteht eine rein gingivale Tasche. Das gingivale Weichgewebe bildet dabei alleine die Taschenwand. Bei einem Taschenfundus von mehr als 2mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze handelt es sich um eine parodontale Tasche, die supra- oder intraalveolär ausgebildet sein kann (*Schroeder* 1991).

Supraalveoläre Taschen sind durch gleichmäßigen, horizontalen Knochenabbau gekennzeichnet und von Weichgewebe und der Wurzeloberfläche begrenzt. Dagegen stellen sich intraalveoläre Taschen durch einen vertikalen, angulären Knochenabbau dar und sind teilweise von Knochenwänden umgeben, daher werden sie auch Knochentaschen genannt. Ihr Fundus befindet sich immer apikal der Crista alveolaris.

Eine Knochentasche entsteht dann, wenn bei einer intraalveolären Tasche der die parodontale Taschenwand umgebende Knochenmantel (bukkal, oral, interdental) dicker als der einfache Wirkungsradius ist. Sobald der Knochenmantel dünner ist, wird das interdentale Knochenseptum bzw. der Alveolarfortsatz vollständig abgebaut. Zwei Knochentaschen können approximal nur dann entstehen, wenn im Interdentalraum an beiden approximalen Zahnflächen gleichzeitig eine parodontale Tasche vorhanden ist und ein mehr als 5mm (doppelter Wirkungsradius) dickes interdentales Knochenseptum stehen bleibt (*Tal* 1984, *Heins et al.* 1988).

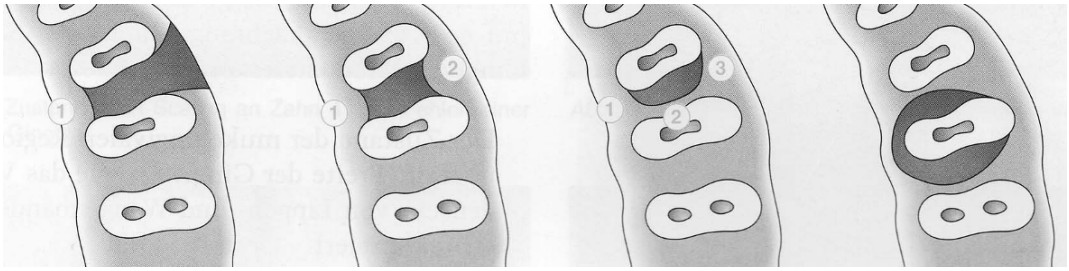
Goldman und *Cohen* klassifizierten 1958 die intraalveolären Taschen entsprechend der Anzahl der Knochenwände in ein-, zwei- und dreiwandige intraalveoläre Defekte.

Als schüsselförmige oder komplexe Tasche wird die zirkulär um den Zahn erfolgte vertikale Knochendestruktion bezeichnet (Abb. 1).

Ein einwandiger intraalveolärer Defekt kennzeichnet sich bei einer approximalen Knochentasche durch den Verlust der lingualen und bukkalen Knochenwand.

Der zweiwandige intraalveoläre Defekt bezeichnet eine approximale Knochentasche, bei der es entweder zu einem Verlust der bukkalen oder der lingualen Knochenwand gekommen ist.
Beim dreiwandigen intraalveolären Defekt bleiben alle Knochenwände erhalten, inklusive des approximalen Knochens des Nachbarzahnes.

Abb. 1 Klassifikation der Knochentaschen



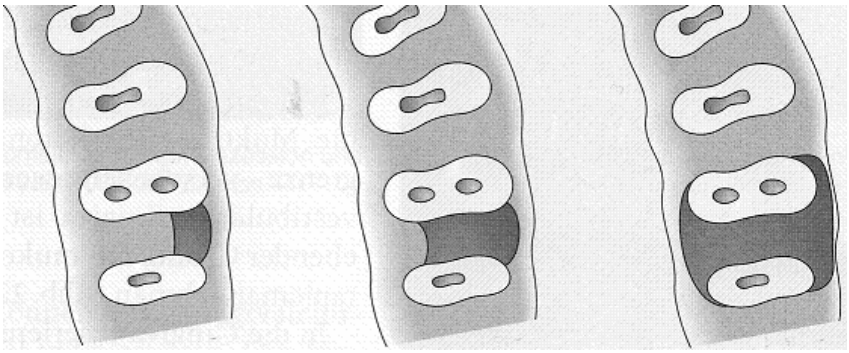
einwandig zweiwandig dreiwandig schüsselförmig

(modifiziert nach Reich 1997)

Zur klinischen Diagnostik werden intraalveoläre Defekte mit einer stumpfen Parodontal-sonde, ggf. unter lokaler Anästhesie, manuell ausgetastet. Durch die fehlende visuelle Kontrolle wird jedoch eine genaue Befundung erschwert. Ebenso gibt die zweidimensionale röntgenologische Untersuchung meist nur unzureichende Informationen über den genauen vorliegenden Knochenabbau. Mithilfe von Röntgenbildern lassen sich lediglich interproximal gelegene Defekte gut auswerten. Orale und vestibuläre Defekte können aufgrund von Überlagerungseffekten nur schwer beurteilt werden (*Zappa et al.* 1993).
Sehr gute Ergebnisse liefert hier das DVT (digitale Volumentomographie), dass im Vergleich zum CT (Computertomographie) mit geringerer Strahlenbelastung und weniger bildstörender Streustrahlung durch metallische Füllungen oder Implantate dreidimensional auswertbare Bilder macht mit der im Vergleich zum CT und Einzelfilm geringsten Abweichung zu den realen Distanzen (*Mengel et. al.* 2005). Eine endgültige Diagnostik kann daher nur intra operationem unter Sicht erfolgen.
Kommt es bei einem mehrwurzeligen Zahn durch fortschreitende Knochenresorption zu einer Freilegung des Bi- oder Trifurkationsbereichs, so wird dies als Furkationsbeteiligung bezeichnet. Sie beinhalten immer eine ausgeprägte horizontale Komponente. Der Schweregrad hat eine sehr wichtige

prognostische Bedeutung. Die Sondierung des Furkationsbereichs wird mit einer gekrümmten Sonde (z.B. *Nabers-Sonde*, Fa. Hu-Friedy, Chicago, USA) durchgeführt und in drei Grade unterteilt. Nach *Ramfjord* und *Ash* (1984) entspricht der Grad I einer horizontalen Sondierung bis 3 mm, Grad II einer horizontalen Sondierung von mehr als 3 mm und Grad III einer durchgängigen Sondierbarkeit (Abb. 2). Röntgenologisch können diese Defekte vor allem im Unterkiefer diagnostiziert werden.

Abb. 2 Klassifikation des Furkationsbefalls



Grad I Grad II Grad III

(modifiziert nach Reich 1997)

Da der Furkationseingang meist subgingival liegt, kann der Befall klinisch nur grob abgeschätzt werden. Eine zweidimensionale radiologische Diagnostik ist nicht ausreichend. Auch bei der Frukationsdiagnostik kann lediglich das DVT sehr gute auswertbare Ergebnisse liefern, die einer klinischen Diagnostik intra operationem sehr nahe kommen.

Die Furkationseingänge liegen je nach Zahnart und Wurzelfläche zwischen 3 und 6 mm unterhalb der Schmelzzementgrenze. Die Anatomie der Furkationsbereiche variiert individuell sehr stark. Der Grad der Teilung zwischen den Wurzeln und die damit verbundenen Divergenzen verringern sich vom ersten oberen Molar über den zweiten bis zum dritten Molar. Die mesiobukkale Wurzel der ersten oberen Molaren ist häufig weiter bukkal im Zahnbogen lokalisiert als die distobukkale Wurzel. Hierdurch projiziert sich bei einer dünnen Knochenplatte die Wurzel auf die äußere Alveolarknochenfläche, sodass Knochenfenestrationen und Dehiszenzen möglich sind.

In vielen solchen Fällen kommt es zu Retraktionen des Gingivarandes. Neben diesen anatomischen Besonderheiten können auch morphologische Verän-

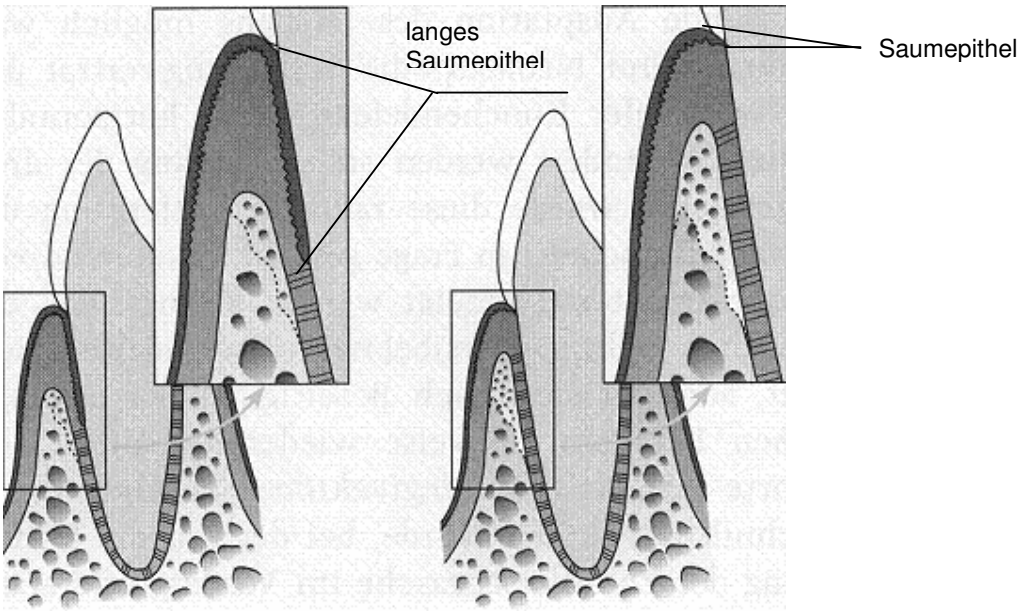
derungen im Furkationsbereich eine entstehende Parodontitis begünstigen. Hierbei handelt es sich um „Fusionen“ von divergierenden Wurzeln, zervikale Schmelzfortsätze oder Schmelzperlen im Furkationsbereich. Weiterhin können akzessorische Pulpakanäle mit dem Furkationsbereich in Verbindung stehen, die bei profunder Parodontitis zu einer Infektion der Pulpa führen können.
Der umgekehrte Fall tritt jedoch häufiger ein, dass eine primäre Infektion der Pulpa sich in den Furkationsraum ausbreitet und somit ein kombinierter endodontisch-parodontologischer-Defekt entsteht. Weiterhin können sich Schmelzüberhänge von der Schmelzzementgrenze bis in die Furkation ausdehnen und so Leitpfade für die subepitheliale Ausbreitung von Mikroorganismen bilden, da in dieser Region kollagenfaserhaltige Haftungselemente fehlen (*Schroeder* 1991).
Somit bieten vielfältige morphologische Veränderungen im Furkationsbereich Schlupfwinkel für Plaqueablagerungen, die das Fortscheiten der Parodontitis und interradikulären Karies oft über einen langen Zeitraum unentdeckt fördern.

1.3. Parodontaltherapie

Bis Mitte der Achtziger Jahre waren Scaling, Wurzelgättung, Kürettage und parodontale Lappenoperationen traditionelle Therapieformen, die jedoch nur zu einer Reparation der Gewebe führten (*Caton et al.* 1980). Auch bezüglich der Behandlung von Furkationsbeteiligungen Grad I empfahl schon *Lindhe* 1986 Scaling und Wurzelgättung. Zur Behandlung von Furkationsbeteiligungen Grad II war zusätzlich besonders im Bereich der unteren Molaren die Tunnelierung die Methode der Wahl. Als weitere Therapiemöglichkeit, die auch für den Grad III der Furkationsbeteiligung Anwendung fand, ist die Prämolarisierung oder die Wurzelamputation oder -resektion zu nennen.
So konnte und kann zwar bei der konservativen Behandlung von intraalveolären Defekten und Furkationsbeteiligungen eine Reduktion der Entzündung durch Elimination der Noxen erreicht werden (Reparation), jedoch keine Regeneration des ursprünglichen Zustandes des Zahnhalteapparates.
Für eine echte Re-generation muss verloren gegangenes Gewebe in Form und Funktion ersetzt werden. Dies beinhaltet die Neubildung von Zement, Ligament und Aleveolarknochen.

Die verstärkte Proliferation des Saumepithels bis auf den Defektboden (Abb. 3) verhindert eine vollständige Erneuerung der Gewebeanteile (*Isidor et al.* 1986). Schon 1976 forderte *Melcher* die chirurgischen Maßnahmen so weiterzuentwickeln, dass das Besiedeln der postoperativen Wunden mit Zellen vom Desmodont und Knochen vorrangig möglich sei. Er betonte die Wichtigkeit einer Regeneration des gesamten Parodonts, bestehend aus einer Einheit aus Lamina propria, Knochen, Desmodont und Zement.

Abb. 3 Reparation und Regeneration nach Parodontaltherapie



a **b**

a) *Reparative Heilung*: Das Saumepithel proliferiert bis zur tiefsten Stelle des parodontalen Defektes. Der Alveolarknochen baut sich leicht wieder auf.

b) *Regenerative Heilung*: Wiederaufbau von Wurzelzement, desmodontalen Fasern und Alveolarknochen. Das Saumepithel endet natürlicherweise an der Schmelz-Zement-Grenze.

(modifiziert nach Flores-de-Jacoby & Mengel 1997)

Histologische Studien wiesen zudem nach, dass die bis dahin üblichen Operationsmethoden allein (z.B.: modifizierter „Widman flap“) keinen echten Attachmentgewinn brachten, sondern lediglich die Bildung eines langen Saumepithels (*Caton et al.* 1980).

Zunächst folgten eine Reihe tierexperimenteller Untersuchungen, die das Verständnis des Regenerationsprozesses entscheidend verbesserten und somit die Entwicklung der gesteuerten Geweberegeneration vorantrieben (*Karring et al.* 1980; *Nyman et al.* 1980; *Nyman et al.* 1982a).

Karring und seine Mitarbeiter (1980) transplantierten parodontal geschädigte Hundezähne. Intaktes Desmodont förderte die Bildung von neuem Attachmentgewebe. Bereiche, an denen eine Wurzelglättung durchgeführt wurde, waren von Wurzelresorption und Ankylose gekennzeichnet. In manchen Fällen war das Desmodont geringfügig nach koronal migriert.

Aufgrund histopathologischer Studien nach parodontalchirurgischen Eingriffen hat man nachgewiesen, dass vier verschiedene Gewebearten die Möglichkeit besitzen, die zuvor plaquebesiedelte Wurzeloberfläche neu zu besiedeln: gingivales Epithel- und Bindegewebe, alveoläres Knochengewebe und Zellen des parodontalen Ligaments. Aufgrund der hohen Proliferationsrate gelangt das Epithel schnellstmöglich an die Wurzeloberfläche und bildet ein langes Saumepithel nach apikal, sofern es nicht daran gehindert wird (*Schroeder* 1991). Ebenso formieren sich die Zellen des Bindegewebes rascher als die des Alveolarknochens und des parodontalen Ligaments und besiedeln schneller die Wurzeloberfläche. Sie verursachen während der Heilung eine bindegewebige Einkapselung und können zur Wurzelresorption führen (*Nyman et al.* 1980). An den nicht vom Desmodont bedeckten Wurzeoberflächen kann das relativ langsam verheilende Knochengewebe Ankylosen verursachen (*Karring et al.* 1980). Demnach besitzt keines der genannten Gewebe die Fähigkeit eine Regeneration mit neuem Attachment zu erreichen.

Untersuchungen haben ergeben, dass im Gegensatz dazu die Zellen des parodontalen Ligaments die Fähigkeit besitzen neues Attachment zu bilden (*Karring et al.* 1985). Ebenso scheinen alveoläre Knochenzellen in der Lage zu sein, eine zementähnliche Substanz auf der Wurzeloberfläche abzulagern (*Lang et al.* 1993). Da diese Proliferationen langsamer ablaufen, muss die Reparation durch Bindegewebs- und Epithelzellen verhindert werden (*Nyman et al.* 1982a).

Die Neubildung von Wurzelzement mit inserierenden, funktionell ausgerichteten Kollagenfasern auf einer parodontal vorgeschädigten Wurzeloberfläche nach parodontaler Behandlung bezeichnet man als „New Attachment“.

Ist die Wurzeloberfläche nicht vorgeschädigt und Träger von noch vitalen desmodontalen Zellen, so spricht man nach der Wiedervereinigung der gingivalen Bindegewebszellen mit der Wurzeloberfläche von „Reattachment“.

Forschungen von Nyman und Mitarbeitern schafften den ersten Schritt in Richtung gesteuerter Geweberegeneration. Sie konnten nachweisen, dass eine Barriere, z.B. in Form einer Membran, Bedingungen schafft, die gleichzeitig eine Regeneration des Attachments durch die entsprechenden Zellen ermöglichen und eine Reparation verhindern. Daraus entstammt die Entwicklung einer neuen Form der parodontalchirurgischen Therapie.

Diese beinhaltet die Platzierung einer Membran zwischen Wurzeloberfläche und Mukoperiostlappen: Die gesteuerte Geweberegeneration (engl.: guided tissue regeneration GTR) (*Gottlow et al.* 1986).

Seitdem bestätigen die Ergebnisse zahlreicher kontrollierter Langzeitstudien die Wirksamkeit der GTR-Behandlung und gewähren immer weiter Einsicht in deren Funktionsprinzipien. *Murphy und Gunsolley* (2003) trugen die Daten von 89 Studien zur GTR-Behandlung von intraalveolären Defekten und Furkationsdefekten zusammen. Sie haben die Ergebnisse hinsichtlich der Operationsmethode (GTR, Lappenoperation, GTR+Augmentation, GTR mit resorbierbarer zu nicht resorbierbarer Membran) mit einander verglichen. Die Studien aus den Jahren 1988-1998 zeigen einen durchschnittlichen Attachmentgewinn von 3,86±1,19 mm und bestätigen somit deren Wirksamkeit. Die GTR-Methode zeigte in allen Fällen einen signifikant höheren Attachmentgewinn und eine größere Reduktion der Sondierungstiefe im Vergleich zur reinen Lappenoperation. Lediglich bei der Behandlung der Furkationsdefekte zeigten die ePTFE- und Polymer-Membranen bessere Ergebnisse, ansonsten konnten zwischen den Membrantypen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch den Review von *Needleman et al.* (2006), die 17 Studien von 1990 bis 2002 heranzogen, wobei die GTR-Behandlung bei allen wichtigen Parametern wie Attachmentgewinn, Reduktion der Sondierungstiefe und geringerer Rezession sowie Knochengewinn signifikant bessere Ergebnisse lieferte im Vergleich zur reinen Lappenoperation.

Gute Ergebnisse lieferten auch eine 12-Monats- und 5-Jahres Studie, die jeweils zwei resorbierbare Materialien, eine Membran (ResolutXT®) und ein Bioglas (PerioGlas®) bei der Behandlung von intraalveolären Defekten sowie Furkationsdefekten miteinander verglichen.

Der mittlere Attachmentgewinn lag nach 12 Monaten in der ResolutXT®-Gruppe bei 3,4±2,3 mm und in der PerioGlas®-Gruppe bei 2,8±1,9 mm (*Mengel. et al.* 2003*)*. Nach 5 Jahren liegt der mittlere Attachmentgewinn in der ResolutXT®-Gruppe bei 3,0±2,0 mm und bei den mit PerioGlas® versorgten Defekten 3,3±2,1 mm (*Mengel et al.* 2006).

1.4. Verschiedene regenerative Operationsmethoden

Regenerative Therapieverfahren lassen sich in drei Kategorien unterteilen: Die *gesteuerte Geweberegeneration* mit Barrieremembranen, die Anwendung von *Knochen- oder Knochenersatzmaterialien* und der Einsatz von sogenannten *biologischen Verfahren zur Modifizierung der parodontalen Wundheilung (Biomimetik & Tissue Engeneering).*

GTR mit Membranen

Mittlerweile steht eine Reihe von Materialien als Membranen zur Verfügung, die bei der Durchführung einer GTR-Behandlung den gewünschten Attachmentgewinn versprechen. So konnten seit Ende der 80iger Jahre nicht-resorbierbare Membranen aus expandiertem Polyterafluorethylen (e-PTFE) diesen Anforderungen entsprechen und zeigten in verschiedenen klinischen Studien gute Ergebnisse (*Flores-de-Jacoby et al.* 1991b, 1992; *Becker & Becker* 1993; *Eickholz & Benn* 1995; *Karapataki et al. 2000; Salata et al.* 2001).
Die guten Erfahrungen mit den nicht resorbierbaren Membranen ermutigten die Wissenschaftler, an der Entwicklung von resorbierbaren Membranen zu arbeiten. Die bioresorbierbare Membrane erspart den zweiten chirurgischen Eingriff (Re-Entry) für das Entfernen der Membran. Traumatische Gewebereaktionen und das mögliche Auftreten von Infektionen können so wesentlich verringert werden.
Die mögliche Exponierung der Membran und die oftmals beobachtete entzündungsfreiere Einheilung, lassen ebenfalls eine gute Gewebeintegration vermuten (*Gottlow et al.* 1994a, *Lundgren et al.* 1995, *Cortellini et al.* 1996b). Ein weiterer Vorteil des nicht mehr notwendigen Re-Entrys ist die Reduktion der psychischen und physischen Belastung der Patienten. Ebenso spielen eine Verringerung der Behandlungszeit und Minimierung der Kosten eine große

Rolle, die zusammen mit den anderen Punkten auch die Akzeptanz der Patienten einer GTR-Behandlung wesentlich erhöhen.

Die entscheidenden Probleme bei der Verwendung resorbierbarer Membranen ist die zeitliche Steuerung der Membranresorption. Durch eine frühe Resorption kann die Membran nicht die Barrierefunktion des einwachsenden Epithels erfüllen. Somit kann die für die Regeneration benötigte Zeit nicht zur Verfügung gestellt werden. Andererseits muss ein kompletter Abbau der Membran erfolgen, der einen möglichst gering ausfallenden Entzündungs-Prozess nach sich zieht.

Es wurden resorbierbare Membranen entwickelt bei denen das Material wird vom Körper abgebaut und resorbiert wird. Vergleichsstudien brachten sowohl unterschiedliche Ergebnisse (*Gottlow et al.* 1993) als auch sehr ähnliche Ergebnisse bei der Bildung eines New Attachment, das durch die Regeneration der parodontalen Gewebe entsteht (*Eickholz et al.* 1996; *Christgau et al.* 1997; *Teparat et al.* 1998; *Needleman et al.* 2002; *Eickholz et al.* 2006; *Pretzl et al.* 2008).

Für das Gelingen einer GTR-Behandlung mit resorbierbaren Membranen gelten ähnliche Anforderungen an das Material wie bei der Behandlung mit nicht resorbierbaren Membranen.

Es sollten aber nicht nur hohe Anforderungen an die Gewebeverträglichkeit gestellt werden, sondern auch solche, die den Erfahrungen aus zahlreichen Studien Rechnung tragen.

- Gewebeverträglichkeit/Biokompatibilität

Die Biokompatibilität muss ausreichend oft in klinischen Tests nachgewiesen worden sein. Das Material darf nicht toxisch sein und sollte keine immunologischen oder entzündlichen Reaktionen auslösen.

- Resorption

Der Abbau der Membran und die daran anschließende Resorption sollte vollständig erfolgen, um auf einen weiteren chirurgischen Eingriff verzichten zu können. Die Zeit, in welcher der Abbau erfolgt, sollte jedoch kalkulierbar und nicht von körpereigenen Faktoren abhängig sein. Diese könnten im Falle übermäßiger Aktivität die für die Regeneration notwendige Zeit durch einen verfrühten Abbau verkürzen.

- Handhabung

Die Membran sollte über eine für den Operateur angenehme klinische Handhabung verfügen und sich widerstandslos an individuelle anatomische Gegebenheiten anpassen lassen. Um dem Chirurgen das Einpassen zu erleichtern, sollte das Material schneidbar sein. Gleichzeitig muss es so flexibel sein, dass eine einfache Adaption und Platzierung möglich ist. Die Festigkeit des Membranmaterials soll eine sichere Fixation durch Nahtmaterialien zulassen. Eine vollständige Entfernung der Membran bei Komplikationen sollte möglich sein.

- Stabilität

Sehr wichtig ist, dass die Membran über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen so stabil bleibt, dass sie ihrer Funktion gerecht werden kann (*Iglhaut et al.* 1988). Dies bedeutet, dass sie einen Raum unter sich offen lässt, der dem parodontalem Gewebe die Möglichkeit der Regeneration gewährt (*Aukhil & Iglhaut* 1988). Die Membran sollte jedoch gleichzeitig biegsam sein und darf keineswegs eine solche Rigidität aufweisen, dass sie traumatische Reaktionen im Weichgewebe auslöst.

- Zellokklusivität

Die Barrierefunktion sollte für einen gewissen Zeitraum gewährleistet sein, um den Epithel- oder Bindegewebe keine Möglichkeit zu geben, in den Defekt einzuwachsen. Gleichzeitig sollte die Membran aber für die Stoffe durchlässig sein, welche für die Ernährung des darunter liegenden Gewebes benötigt werden.

- Wirksamkeit

Die Membran sollte nicht nur über die Fähigkeit verfügen, ein Einwachsen von Bindegewebe in den Defekt zu verhindern. Vielmehr sollte in histologischen Untersuchungen der Beweis erbracht worden sein, dass auch das gingivale Epithel in Anwesenheit der Membran nicht in die Tiefe wächst.

- Bakterienresistenz

Gegenüber Bakterienansammlungen sollte die Membran widerstandsfähig sein, um nicht durch Entzündungsreaktionen des umgebenden Gewebes die Neubildung parodontalen Ligaments zu stören.

- Gewebeintegration

Der Aufbau der Membran sollte so gestaltet sein, dass einwachsendes Gewebe das Material an der vorgesehenen Stelle stabilisiert, um eine korrekte Defektdeckung zu garantieren (*W.L. Gore & Associates* 1995). Dies kann z.B. durch eine offene Mikrostruktur der Membranoberfläche möglich sein.

- Keimfreiheit

Aus Gründen der Keimbelastung sind synthetisch hergestellte Materialien den natürlichen Materialen vorzuziehen, da bei letzteren weder die Frage des Antigencharakters geklärt noch das Risiko einer Infektion ausgeschlossen ist.

Die nachfolgend entwickelten bioresorbierbaren Membranen können sowohl aus natürlichen als auch aus synthetischen Materialien hergestellt werden. Weil die natürlichen Membranen meist aus tierischem oder menschlichen Kollagen aufgebaut sind, können sie jedoch nicht allen oben angesprochenen Anforderungen gerecht werden, da ihre Wirkung als Antigen nicht unterschätzt werden sollte. Ebenso kann hier das Risiko einer möglichen Infektionsübertragung nicht ausgeschlossen werden.

Die Herstellung der synthetischen Membranen erfolgt vorwiegend aus Polymeren, die vom menschlichen Körper abgebaut werden können, z.B. Polylaktiden, Polyglykoliden oder Polyurethanen. Diese können durch einfache Filtration oder im Anschluss an eine Biodegradation und intrazelluläre Metabolisierung rückstandslos aus dem Körper eliminiert werden.

Knochen- oder Knochenersatzmaterialien

Ebenso wie das Abdecken eines Defektes mit einer Membran das Bilden eines New Attachment unterstützen soll, kommen auch zunehmend Knochenersatzmaterialen zur Auffüllung intraalveolärer Defekte zur Anwendung. Mit Knochenersatzmaterialien soll die Knochenneubildung in operativ versorgten Gebieten wie intraalveolären Defekten, Furkationen, Extraktionsdefekten und Knochenzysten besser vorhersagbar und steuerbar werden. So ist von einem idealen Knochenersatzmaterial auch zu fordern, dass es sowohl zur Defektauffüllung führt, als auch die Zementogenese und die Neubildung von funktionellem parodontalem Ligament auslöst und unterstützt.

Im Gegensatz zu dem körpereigenen (autogenen) Knochentransplantat stehen heute auch zahlreiche verschiedene nicht-autogene Knochenersatzmaterialien zur Verfügung, die sich in ihrer biologischen Wirkung auf das Knochengewebe des Empfängerorganismus unterscheiden. Es werden ihnen osteopromotive, osteoinduktive oder osteokonduktive Eigenschaften zugeordnet (*Karring et al.* 1997). Die meisten Knochenersatzmaterialien zeigen osteokonduktive Eigenschaften, da sie aufgrund ihrer Struktur ein Leitgerüst in Form einer künstlichen Extrazellulärmatrix für das appositionelle Wachstum der Knochenzellen bilden. Nur einige wenige Knochenersatzmaterialien sind in der Lage, eine osteoinduktive Wirkung auf das Knochenwachstum auszuüben. Dies bezeichnet die Fähigkeit, eine phänotypische Umwandlung von im Wundbereich vorhandenen Progenitorzellen zu knochenbildenden Zellen (Osteoblasten) zu stimulieren und so eine indirekte Knochenbildung zu fördern. Die osteoinduktive Wirkung der Transplantate wird durch die in natürlicher Menge und Bindung vorhandenen Proteine und Wachstumsfaktoren erreicht (BMPs), wie es zum Beispiel bei allogenem (Spender-) Knochenmaterial nur nach Demineralisation der Fall ist.
Nur frischer autogener Knochen besitzt osteopromotive Eigenschaften, die das Wachstum des Knochengewebes direkt durch transplantierte Osteoblasten ermöglichen (*Karring et al.* 1997, *Nasr et al.* 1999).
Idealerweise sollte ein Knochenersatzmaterial vollständig resorbierbar sein, wobei der Abbau simultan zur körpereigenen Knochenneubildung erfolgen sollte. Einige Ersatzmaterialien verbleiben jedoch lebenslang als inerte Füllkörper im Defektbereich.

- Autogenes Knochenmaterial (körpereigener Knochen)

Für die regenerative Parodontalchirurgie werden die Transplantate meist intraoral entnommen. Als Spenderorte für spongiösen und kortikalen Knochen kommen dann z.B. die Tuberregion oder zahnlose Kieferabschnitte in Frage. Kortikaler Knochen kann auch direkt aus dem Operationsgebiet entnommen werden. Knochenentnahme außerhalb der Mundhöhle (z.B. Crista iliaca) ist in der zahnärztlichen Praxis nicht realisierbar und daher weitestgehend als obsolet anzusehen. Auch die Notwendigkeit eines zweiten chirurgischen Eingriffs und die intraoral begrenzte Verfügbarkeit sind wesentliche Nachteile dieses Verfahrens. Recht gute Ergebnisse bei der Verwendung autogenen Knochens

erzielten *Hiatt* und *Schallhorn* schon 1973, wogegen *Ellegaard et al.* 1976 Ankylosen und Wurzelresorptionen nach Implantation autogenen Knochens beschrieben. Die Behandlung des Wurzelzementes mit Schmelz-Matrix-Proteinen vor Auffüllung des parodontalen Defktes mit autogenem Knochen brachte zum Beispiel in einer Studie von *Cochran et al.* (2003) histologisch über 30% mehr Knochengewinn als ohne die Behandlung mit Schmelz-Matrix-Proteinen. Eine 6-Jahres-Studie zur Versorgung von mehrwandigen parodontalen Defekten mit autologogem Knochen in Kombination mit Calcium-Sulfat im Vergleich zur Kombination von autologem Knochen mit bioresorbierbaren Membranen liefert statistisch keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Der mittlere Attachmentgewinn lag in der ersten Gruppe bei 2,6±1,2 mm und in der Membran-Gruppe bei 2,4±1,1 mm nach 6 Jahren (*Orsini et al.* 2008).

- Allogenes Knochenmaterial

Sie werden meist aus langen Röhrenknochen von Multiorganspendern hergestellt. Es gibt ausschließlich demineralisierte gefrorene oder gefriergetrockneten allogenen Knochen. Kontrollierte humanhistologische Studien konnten zeigen, dass die Anwendung von DFDBA (engl. Demineralized freeze-dried bone allograft) zu signifikant mehr neuem bindegewebigem Attachment führt als die alleinige Lappenoperation (*Bowers et al.* 1989b). Das Material wird als osteokonduktiv und gering osteoinduktiv eingestuft.

Es bleibt jedoch immer ein Restrisiko einer Krankheitserregerübertragung, wie z.B. für eine HIV-Infektion auf 1:8 x 10^6 geschätzt (*Mellonig et al.* 1992, *Ehmke & Flemming* 1999).

- Xenogene Knochenimplantate

Sie werden aus Tierknochen hergestellt und deproteiniert. Risiken der Krankheitserregerübertragung, insbesondere Prionen, und Allergisierung sind ähnlich dem allogenen Knochenmaterial. Ebenso wie dort muss auch hier vor der Anwendung eine gründliche Abschätzung der Nutzen-Risiko-Relation erfolgen und der Patient umfassend aufgeklärt werden.

- Alloplastische Knochenersatzmaterialien

Dies sind synthetische Materialien mit guter Biokompatibilität. Dazu zählen Kalziumcarbonat, Biokeramiken (Tricalciumphosphat, Hydroxylapatit), Bioglass,

sowie kalziumbeschichtete Polymere (Polymethacrylate und Hydroxymethylmethacrylate).

Biokeramiken und Biogläser entstehen aus Verbindungen der Kieselsäure (Silikate, SiO_4^{4-}). Die Kristallstruktur, die bei den keramischen Massen vorzufinden ist, fehlt bei den Gläsern. Diese besitzen ein amorphes, nichtkristallines Grundgefüge. Beide werden aufgrund ihrer Fähigkeit mit dem menschlichen Gewebe zu reagieren als Biokeramiken bzw. Biogläser bezeichnet (*Hench et al.* 1971).

Vom Hydroxylapatit (HA) gibt es sowohl resorbierbares als auch nahezu inertes Material. Das Tricalciumphosphat (TCP) kann in zwei unterschiedlichen Kristallmodifikationen vorliegen (α und β). Da sich α-TCP teilweise spontan zu nichtresorbierbarem HA umwandelt, wird bevorzugt resorbierbares β-TCP verwendet (*Terheyden* 2000). In histologischen Studien konnte jedoch nur eine geringe Neubildung von bindegewebigem Attachment festgestellt werden. In den meisten Fällen wurden ein langes Saumepithel und eine fibröse Kapselbildung um die TCP-Partikel beobachtet (*Baldock et al.* 1985, *Stahl & Froum* 1986). *Kenney et al.* beschrieb 1986, dass auch HA lediglich als biokompatibles Füllmaterial mit wenig regenerativem Potential anzusehen ist.

Biomimetik und Tissue Engeneering

In den letzten Jahren werden große Erwartungen an den Einsatz von so genannten biologisch aktiven Faktoren zur Biomimetik (Nachahmung biologischer Abläufe) besonders im Rahmen des Tissue Engeneering (Geweberegeneration durch Kombination von Zellen, Matrizes und biologisch aktiven Faktoren) geknüpft (*Jepsen et al.* 2002).

Schmelzmatrixproteine sind ein Beispiel für Biomimetik in der Parodontologie. Sie üben während der embryonalen Zahnentwicklung eine wichtige Funktion bei der Zementbildung aus. Diese so genannten Amelogenine werden während der Wurzelbildung von den Ameloblasten der Hertwig-Epithelscheide (einer Duplikatur des Schmelzepithels) sezerniert. Bei einem Kontakt mit mesenchymalen Zahnfollikelzellen induzieren sie deren Differenzierung zu Zementoblasten. Nachfolgend kommt es auf der Wurzeloberfläche zur Bildung von azellulären Zement, welcher die Grundlage für die Ausbildung des

parodontalen Faserapparates darstellt (*Slavkin & Boyde* 1974, *Hammarström* 1997). Bei Versuchen das biologische Potenzial der Amelogenine zur Regeneration von parodontalen Defekten auszunutzen, fand man heraus, dass die Schmelzmatrixproteine auch die Zellaktivitäten im Verlauf der parodontalen Wundheilung regulieren können. Einerseits beeinflussen sie die Aktivität der Zementoblasten und Osteoblasten (*Tokiyasu et al*. 2000), andererseits stimulieren sie auch die Proliferation von desmodontalen Fibroblasten (*Gestrelius et al.* 1997). Nach Anwendung von Emdogain® kann auch eine gute Wundheilung beobachtet werden, die auf einen antimikrobiellen Effekt des Produktes auf dentale Plaquebakterien und auf eine Beeinflussung der Bakterienadhäsion zurückgeführt wird (*van der Pauw et al.* 2000, *Sculean et al* 2001a). Der genaue Wirkungsmechanismus dieser Eigenschaften ist bisher noch ungeklärt.

Das im Handel unter dem Namen Emdogain® (Firma Biora, Malmö, Schweden) erhältliche Präparat enthält gefriergetrocknete Amelogenine tierischer Herkunft (vom Schwein). Sie befinden sich in einer gelförmigen Trägersubstanz aus resorbierbarem Propylenglykoalginat. Nach Applikation erfolgt zunächst eine Ausfällung der Proteinkomplexe auf der vorbehandelten Wurzeloberfläche.

Eine anschließende Besiedlung der Proteinmatrix mit zementbildenden Zellen führt nachfolgend zur Ausbildung von Wurzelzement und induziert die Regeneration der desmodontalen Fasern.

Heijl et al. konnte 1997 nach 36 Monaten in einer kontrollierten klinischen Multicenterstudie nach der Behandlung von humanen intraalveolären Defekten mit Emdogain® einen Attachmentgewinn von 2,2 mm sowie einen Knochengewinn von 2,6 mm (66%) beobachten. Auch andere Studien konnten nach der Behandlung von intraalveolären Defekten einen signifikant höheren Attachmentgewinn belegen als nach Anwendung von reinen Lappenoperationen (*Froum et al.* 2001). Die Ergebnisse mit den Resultaten nach Anwendung von GTR-Membranen sind vergleichbar (*Pontoriero et al.* 1999, *Sculean et al.* 2001b).

Andererseits zeigen klinische Studien über die Anwendung von Emdogain® in Kombination mit koronalen Verschiebelappen zur Behandlung gingivaler Rezessionen keine besseren Ergebnisse als die chirurgischen Behandlungen ohne Emdogain® (*Modica et al.* 2000, *Hägewald et al.* 2002).

Emdogain TS ist eine Kombination von Emdogain® mit dem bioaktiven PerioGlas®. *Sculean et al.* (2002) konnten ein Jahr nach der Behandlung von intraalveolären Defekten einen mittleren Attachmentgewinn von 3,2 mm ermitteln, jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied ($p > 0,05$ ns) zur alleinigen Behandlung mit PerioGlas®.

Ein weiteres Beispiel für Tissue Engeneering in der Parodontologie ist der Einsatz von gentechnisch hergestellten Wachstums- und Differenzierungsfaktoren. Rekombinante humane BMPs (*B*one *M*orphogenetic *P*roteins) sind seit Ende der 90er Jahre für eingeschränkte orthopädisch-chirurgische Indikationen in Europa und USA zugelassen. Studien zur parodontalen Regeneration am Tier sind äußerst viel versprechend verlaufen (*Jepsen et al.* 2002).

Die BMPs sind mit den TGFs (*T*ransforming *G*rowth *F*actor*)* strukturell verwandt und bestehen aus 13 verschiedenen Proteinen (BMP-1 bis BMP-13). Der osteoinduktive Einfluss der BMPs lässt undifferenzierte mesenchymale Stammzellen zu funktionsfähigen Osteoblasten reifen (*Harakas* 1984, *Bartold et al.* 2000). *King & Hughes* konnten 2001 in Untersuchungen zeigen, dass z.B. BMP-2 zu einer signifikant gesteigerten Proliferation und Migration von Zellen des parodontalen Ligaments in den Wundbereich führt. Es besitzt also das Potential, die Regeneration des Parodonts zu fördern.

Die Gruppe körpereigener polypeptider Hormone (GDFs/ Growth and Differentation Factors) hat einen entscheidenden Einfluss auf Wundheilungsprozesse des Körpers. Sie regulieren als Mediatoren elementare Zellfunktionen und können die Differenzierung mesenchymaler Stammzellen beeinflussen (*Terranova & Wikesjö* 1987). Da die regulierten Zellfunktionen zu den Schlüsselmechanismen der parodontalen Wundheilung zählen, kann eine pharmakologische Applikation von bestimmten GDFs zu einer Verbesserung der Geweberegeneration führen.

Weitere GDFs sind der *Platelet-derived GrowthFactor* (PDGF), der *Insulin-like Growth Factor* (IGF) und der *Transforming Growth Factor* (TGF). Das PRP-Verfahren (Platelet Rich Plasma), mit dem es möglich ist patienteneigene Wachstumsfaktoren zu konzentrieren. Mithilfe von Zellseparationsprozessen aus patienteneigenem Blut gewonnen, enthält PRP körpereigene Wachstums-

faktoren in höchsten Konzentrationen (z.B. PDGF, TGF-β, IGF-I). Histologische Untersuchungen nach Anwendung von PRP in Verbindung mit osteokonduktiven Trägersubstanzen zeigen eine signifikant gesteigerte Osteogenese (*Marx et al.* 1998). Nach *Jepsen et al.* (2002) war das ursprüngliche Konzept der Verwendung von PRP zusammen mit autologem Knochen. Nur so seien Zellen in ausreichender Zahl vorhanden, die auf die autologen konzentrierten Wachstumsfaktoren ansprechen können. Es gibt auch wenig publizierte Studien, so dass der Stellenwert dieses Verfahrens erst noch durch entsprechende klinische Studien validiert werden muss.

Ein Problem der Wachstumsfaktoren ist die relativ kurze Halbwertszeit der biologisch aktiven Faktoren in der Wunde. Gentherapeutische Verfahren sollen nun eine länger dauernde Zufuhr von Wachstums- und Differenzierungsfaktoren während der parodontalen Wundheilung ermöglichen. Studien berichten von der Möglichkeit, die Konzentration der GDFs im Wundbereich durch die Implantation von gentechnisch manipulierten Fibroblasten zu erhöhen.

Die veränderten Zellen sind für einen begrenzten Zeitraum zu einer gesteigerten Synthese von spezifischen GDFs in der Lage (*Giannobile et al.* 2001).

Zusammenfassend bleibt fest zu stellen, dass das biologische Potential der Wachstumsfaktoren weiterhin wichtiger Bestandteil der Untersuchungen zur regenerativen Parodontaltherapie sein sollte. Wichtig für den Einsatz am Patienten sollten die Erforschung der speziellen Wirkungsmechanismen der Faktoren, sowie die Entwicklung von zweckmäßigen Freisetzungssystemen für eine zeitabhängige Wirkung während der Wundheilung sein.

1.5. Resorbierbare Membran

Geschichte und Entwicklung

Bereits in den 70er Jahren wurde GORE-TEX® (Firma W.L. Gore & Associates, Flagstaff, USA), dieser Stoff aus gestrecktem Polytetrafluorethylen (ePTFE), in medizinischen Gefäßprothesen verwendet. Erst später im Zuge der Entwicklung der „Guided tissue regeneration“ wurde man auch auf das Material für die Anwendung in der Parodontalchirurgie aufmerksam. Als nicht-resorbierbare

Membran etablierte sie sich bald und noch heute gilt diese Membran als der „Gold Standard“ der GTR-Technik.

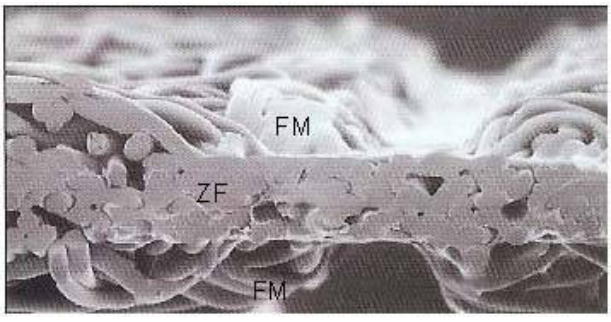
Im Laufe der Jahre entwickelten Wissenschaftler die biologisch abbaubare Membran, die nun schon seit einigen Jahren in der Parodontalchirurgie ihre Anwendung findet. Sie stellten eine Membran aus reinen Laktid- und Glykolidpolymeren in 3 Lagen mit einer Barrierefunktion von 4 bis 6 Wochen dar. 1997 war dann erstmals das Nachfolgemodell *Gore Resolut XT*® auf dem Markt erhältlich. Sie ist ebenso aus 3 Schichten aufgebaut, besitzt jedoch eine veränderte Zusammensetzung der beiden äußeren Schichten zur Verlängerung ihrer Barrierefunktion (XT für engl. extended time) sowie eine modifizierte Oberfläche für eine bessere Handhabung.

Makroskopischer und mikroskopischer Aufbau der RESOLUT XT®

Die Resolut-XT®-Membran ist dreischichtig aufgebaut, wobei die beiden äußeren Lagen identisch sind.

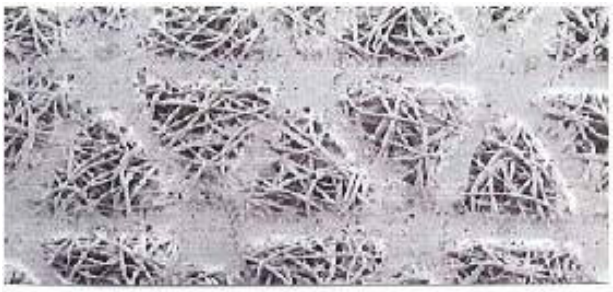
Sie bestehen aus unregelmäßig miteinander verflochtenen Fasern, die in ihrer Gesamtheit ein mikroporöses Netzwerk entstehen lassen. Diese so genannte Fiber-Matrix soll die schnelle Integration der Membran in das Gewebe gewährleisten und gleichzeitig das apikal gerichtete Wachstum des Saumepithels verhindern. Zwischen den beiden oberflächlichen Schichten befindet sich ein zellokklusiver Film, er hat die eigentliche „Barrierefunktion“ inne. Im Rasterelektronenmikroskop (REM) kann man den okklusiven Film erkennen und wie er aus einer von dicht gedrängten Fasern undurchlässigen Schicht gebildet wird (Abb. 4).

Abb. 4 REM-Aufnahmen der ResolutXT®-Membran



Oben: Deutlich zu erkennen ist die dreilagige Struktur der Membran. Der in der Mitte liegende zellokklusive Film (**ZF**) wird von den beiden Fiber-Matrix-Schichten (**FM**) umschlossen.

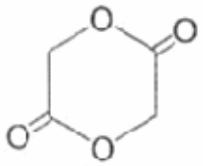
Unten: In der Aufsichtaufnahme kann man die Trimetric-Struktur erkennen.
(W.L. Gore & Associates, Inc. 2003)



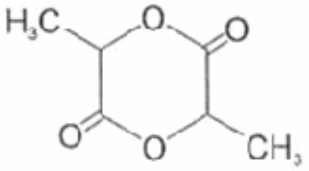
Die beiden äußeren Schichten der Membran sind zudem noch mit einer wabenartigen Struktur versehen, die als Trimetric-Struktur bezeichnet wird.
Sie ist makroskopisch durch ein Muster mit triangulärer Grundform zu erkennen (Abb. 4). Randleisten umgeben die innerhalb dieser Dreiecke sichtbare Fiber-Matrix. Diese Randleisten erscheinen bei entsprechender Vergrößerung im REM zusammengepresst.
Neben einer erleichterten Handhabung und Adaptation der Membran durch eine höhere Flexibilität soll durch die Trimetric-Oberfläche ein für die Geweberegeneration notwendiger Abstand zur Wurzeloberfläche aufrechterhalten werden. Zusätzlich soll es zu einer Verbesserung der Raumhalterfunktion kommen.

Chemischer Aufbau

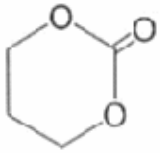
Chemisch sind die Schichten der Membran aus bioresorbierbaren Kunststoffen hergestellt, die sich aus niedermolekularen Bausteinen, den Monomeren zusammensetzen. Monomere können durch so genannte Polyreaktionen zu Makromolekülen (Polymeren) verbunden werden. Sind verschiedene Monomerarten am Aufbau beteiligt entsteht ein Kopolymer. Wird nur ein Typ Monomer verwendet, entsteht eine Homopolymer (*Zeeck et al.* 2000).
Die Resolut-XT-Membran setzt sich aus zwei verschiedenen Kopolymeren zusammen, die aus folgenden drei Monomeren hergestellt werden:
Glykolid (1,4-Dioxan-2,5-dion), *Laktid* (3,6-Diemthyl-1,4-dioxan-2,5-dion) und *Trimethylenkarbonat* (1,3-Dioxan-2-dion) (*W.L. Gore & Associates Inc.* 1998).



Glykolid

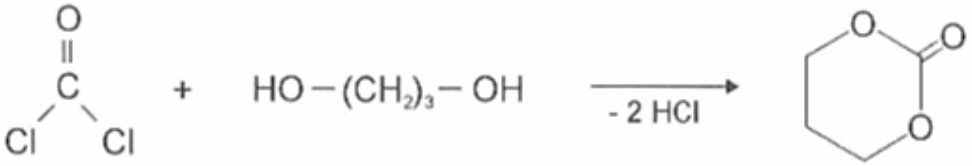


Laktid



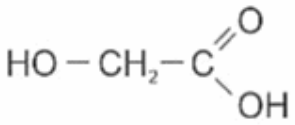
Trimethylenkarbonat

Das Trimethylenkarbonat wird technisch durch Umsetzung von Phosgen mit 1,3-Propandiol unter Abspaltung von Salzsäure hergestellt.

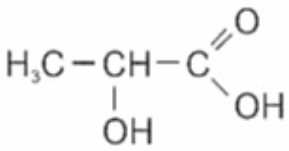


Phosgen 1,3-Propandiol Trimethylenkarbonat

Glykolid und Laktid entstehen technisch aus je zwei kleineren Molekülen. Sie werden durch intermolekulare Esterbildung aus den beiden α-Hydroxykarbonsäuren *Glykolsäure* (2-Hydroxyethansäure) und *Milchsäure* (2-Hydroxypropionsäure) erzeugt. Dabei entstehen das Glykolid aus zwei Glykolsäuremolekülen und das Laktid aus zwei Milchsäuremolekülen (*Hutmacher et al.* 1996).

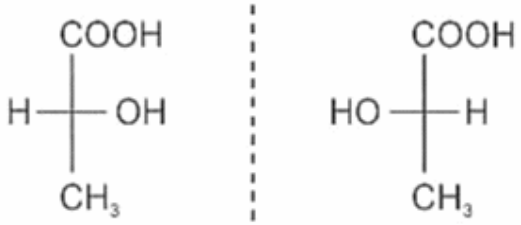


Glykolsäure



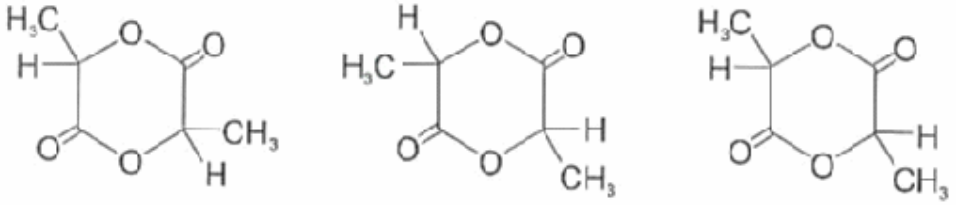
Milchsäure (Laktat)

Da das Molekül der Milchsäure über ein asymmetrisches Kohlenstoffatom mit vier verschiedenen Substituenten verfügt, besitzt es ein chirales Zentrum. Es gibt demnach in der Natur zwei verschiedene räumliche Konfigurationen der Milchsäure, die man als Stereoenantiomere bezeichnet. Sie werden besonders bei Naturstoffen häufig noch anhand der älteren D,L-Nomenklatur nach Fischer unterschieden (*Zeeck et al.* 2000).



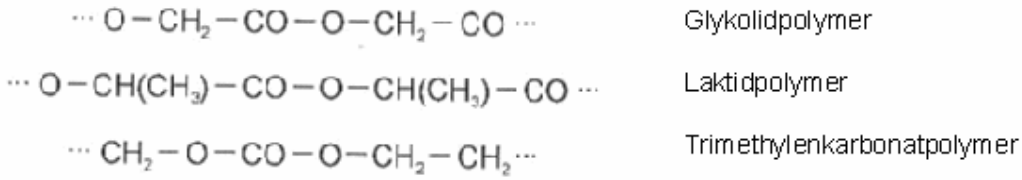
D- und L-Milchsäure in der Fischer-Projektion

Aufgrund dieser Eigenschaft kann bei der Bildung eines zyklischen Laktidmoleküls aus zwei Milchsäuremolekülen als Reaktionsprodukt neben reinem D- oder L-Laktid auch D,L-Laktid entstehen (*Hutmacher et al.* 1996).



D-Laktid L-Laktid D, L-Laktid

Die drei zyklischen Monomere Glykolid, Laktid und Trimethylenkarbonat haben zudem gemeinsam, dass sie alle mithilfe einer katalysierten Ringöffnungspolymerisation zu hoch molekularen aliphatischen Polymeren chemisch zusammengefügt werden können. Die entstehenden Homopolymerisate werden Poly(glykolid), Poly(laktid) und Poly(trimethylenkarbonat) genannt. Man bezeichnet sie kurz mit PGA (engl. Polyglycolic acid), PLA (engl. Polylactid acid) und TMC (engl. Trimethylene carbonate) (*Lewis* 1990).



Aufgrund ihrer gemeinsamen Eigenschaft durch Ringöffnung polymerisierbar zu sein, können aus den drei Monomeren technisch relativ einfach verschiedene Kopolymere hergestellt werden (*Hutmacher et al.* 1996). Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der daraus resultierenden Kunststoffe sind dabei stark abhängig von dem Verhältnis der einzelnen Monomere zueinander (*Lewis* 1990, *Hutmacher et al.* 1996).

Der zentrale, okklusive Film der Resolut-XT®-Membran wird von einem Kopolymer gebildet, welches sich zu 85 % aus Poly(D,L-laktid) und zu 15 % aus

Poly(glykolid) zusammensetzt. Dieser Aufbau entspricht dem der früheren Resolut-Membran. Im Gegensatz dazu wurde die Zusammensetzung der äußeren Fiber-Matrix geändert. Neben dem reinen Poly(glykolid) bestehen die Fasern der Resolut-XT®-Membran zusätzlich aus 33 % TMC. Durch diesen Zusatz konnte die Biodegradation verlangsamt und die Barrierefunktion von ursprünglich 4 bis 6 Wochen (Resolut) auf 8 bis 10 Wochen (Resolut XT) verlängert werden. Laut Herstellerangaben werden keine weiteren Zusätze oder Weichmacher verwendet (*W.L. Gore & Associates Inc.* 1998).

Klinische Handhabung

Zur Erleichterung der Anpassung der Membran an den vorliegenden parodontalen Knochendefekt wird sie in neun verschiedenen Konfigurationen angeboten. Es stehen drei Grundformen „single tooth", „wrap around" und „interproximal" in verschiedenen Größen und Modifikationen zur Verfügung.

Zur vereinfachten Handhabung kann das Material individuell beschnitten werden, um es an die Defektgröße anzupassen.

Die Membran sollte den Defekt immer vollständig, faltenfrei und dicht bedecken. Die Kanten sollten abgerundet sein und den Defektrand lateral und apikal um mindestens 3 mm überragen.

Zur Fixierung der Membran am Zahnhals empfiehlt der Hersteller das *Gore Resolut Nahtmaterial*, eine Ligatur aus bioresorbierbarem Polyglykolid mit einer Beschichtung aus inertem, nichtantigenem Polykaprolat (*W.L. Gore & Associates Inc.* 1999b).

Resorptionsmechanismus

Nach *Vert et al.* (1992) erfolgt zunächst die Definition der Begriffe *Biodegradation, Bioresorption* und *Bioabsorption.* Die *Biodegradation* bezeichnet die Eigenschaft einer polymeren Substanz durch biologische Prozesse in kleinere Bruchstücke zerlegbar zu sein. Jedoch beinhaltet diese Bezeichnung weder die anschließende Aufnahme der degradierten Partikel durch die Körperzellen noch ihre lokale oder systemische Elimination. Dies geschieht durch den Prozess der *Bioresorption.* Der Organismus ist in der Lage den polymeren Stoff durch einfache Filtration oder im Anschluss an eine

Biodegradation und intrazelluläre Metabolisierung aus dem Körper rückstandslos zu eliminieren. *Bioabsorbierbar* wird eine polymere Substanz bezeichnet, wenn sie ohne jegliche Veränderung ihrer Struktur in einer Körperflüssigkeit löslich ist.

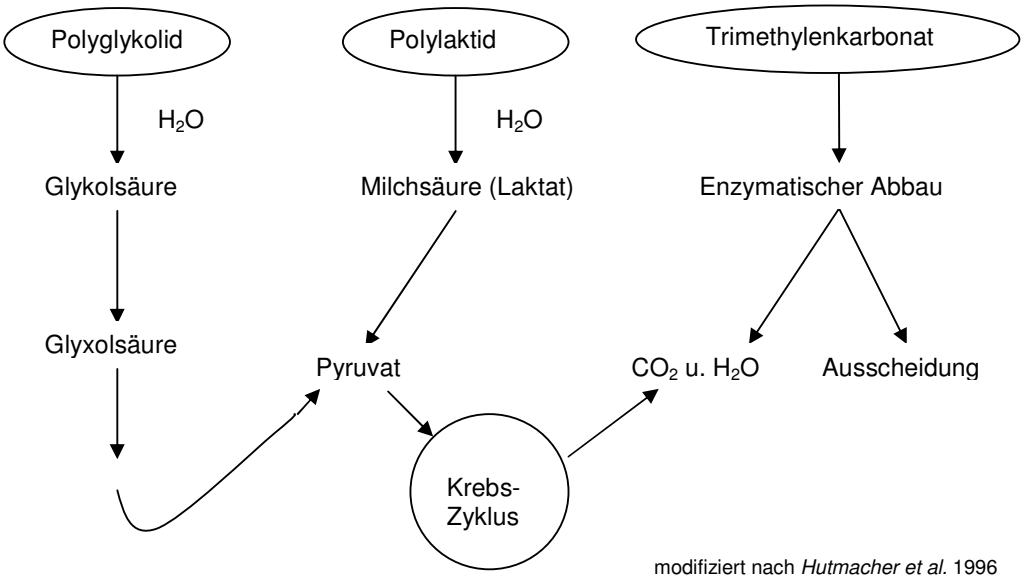
Die Kopolymere der Resolut-XT®-Membran sind in vivo durch einfache Hydrolyse ihrer Esterbindungen biodegradierbar. Allein Wassermoleküle reichen aus, um sie zu zerlegen (*Hutmacher et al.* 1996).

Die Frage, inwieweit ein zusätzlicher enzymatischer Abbau erfolgen kann, wird kontrovers diskutiert (*Holland et al.* 1986).

Anschließend werden die Degradationsprodukte auf unterschiedlichen Wegen bioresorbiert (*Hollinger* 1983). Die aus Poly(laktid) entstehende Milchsäure wird mithilfe der Laktatdehydrogenase zu Puryvat oxidiert. Die aus dem Poly(glykolid) entstehende Glykolsäure wird entweder mit dem Urin ausgeschieden oder zu Glyoxolsäure oxidiert. Diese wird anschließend mittels einer Transaminase über die Zwischenstufen Glycin und Serin in Pyruvat umgewandelt. Das Pyruvat kann über den Krebs-Zyklus (oder: Zitratzyklus) zu CO_2 und Wasser abgebaut oder zur Proteinbiosynthese verwendet werden (Abb. 5). Das Trimethylenkarbonat wird durch enzymatische Reaktionen gespalten und über die Lungen als Kohlendioxid und Wasser abgeatmet oder über die Exkremente ausgeschieden (*W.L.Gore & Associates Inc.* 1998*).*

Das Verhältnis der Komonomere zueinander bestimmt die Geschwindigkeit der Resorption und kann so entsprechenden Bedingungen angepasst werden (*Miller et al.* 1977). Die vollständige Biodegradation des Homopolymers Poly(L-laktid) dauert durch den hohen Anteil an hydrophoben Strukturen etwa 18 bis 24 Monate. Das hydrophilere Poly(D-laktid) reduziert die Degradationsdauer von Poly(D,L-laktid) auf 12 bis 16 Monate. Das für den zellokklusiven Film der Membran im Verhältnis von 85:15 verwendete Poly(D,L-laktid-co-glykolid) ist nach 5 Monaten komplett biodegradiert (*Lewis* 1990). In den ersten 8 bis 10 Wochen kann aufgrund der geringen Resorption von einer uneingeschränkten Barrierefunktion ausgegangen werden. Nach 6 bis 7 Monaten ist im Bereich des ehemaligen parodontalen Defektes kein Bestandteil der Membran mehr nachweisbar (*Katz et al.* 1985, *Caffesse et al.* 1994). (Abb.5)

Abb. 5 Biodegradation und Bioresorption der Membranbestandteile in vivo



modifiziert nach *Hutmacher et al.* 1996

Biokompatibilität

Biokompatible Materialien zeichnen sich dadurch aus, dass sie bei Implantation nur eine geringste mögliche Gewebereaktion hervorrufen, die sich histologisch durch einen ungestörten oder unbedenklich beeinflussten Zellstoffwechsel des umgebenden Gewebes kennzeichnet (*Gross* 1988).

Bei einer reaktionslosen Einheilung des Materials, wird es als *bioinert* bezeichnet. *Bioinkompatible* Substanzen rufen nach Anwendung inflammatorische, toxische oder allergische Reaktionen hervor oder zeigen Hinweise auf eine mutagene oder kanzerogene Wirkung.

Die in der Resolut-XT®-Membran zur Anwendung gekommenen Polymere werden schon seit mehr als zwei Jahrzehnten in der Medizin in Form von Nahtmaterial, als Trägersubstanz für Arzneimittel oder als Osteosynthesematerial angewandt (*Leenslag et al.* 1987, *Lewis* 1990, *Hutmacher et al.* 1996). Zahlreiche klinische und tierexperimentelle Untersuchungen belegen, dass von ihnen keinerlei zellschädigende oder die Wundheilung störende Wirkungen ausgehen und sie gesundheitlich unbedenklich sind (*Lewis* 1990).

Die näheren Bestimmungen für diese Bioverträglichkeitsprüfungen sind im Medizinproduktegesetz (MPG 1998) festgesetzt und unterliegen strengen europäischen und internationalen Normvorschriften (EN 30993, ISO 10993). Die erfolgreiche Zulassung eines Medizinproduktes muss in Europa seit 1998

durch das CE-Konformitätszeichen zertifiziert werden. Die Resolut-XT®-Membran wurde den genannten Bioverträglichkeitsprüfungen unterzogen und weist die CE-Kennzeichnung auf. Ebenso besitzt sie die entsprechende Zertifizierung der U.S. Food and Drug Administration (FDA), der obersten US-Bundesbehörde für die Zulassung von Lebensmitteln, medizinischen Produkten und Arzneimitteln.

1.6. Bioglas

In den 60iger Jahren gelang die Entwicklung der bioaktiven Glasmaterialien. *Prof. Larry L. Hench* gelang es 1969 an der Universität von Florida ein Implantatmaterial auf Silikatbasis zu synthetisieren. Dieses Material besitzt den zum menschlichen Knochen identischen Gehalt an Kalzium und Phosphat (*Hench et al.* 1971*).* Es war das erste synthetisch hergestellte Produkt, welches aufgrund einer speziellen Oberflächenreaktion zu menschlichem Gewebe eine dauerhafte Bindung einzugehen schien (*Greenspan* 1999). Daher werden diese Gläser als biologisch aktiv oder bioaktiv bezeichnet (*Hench et al.* 1971).

Die Biogläser fanden ihr Einsatzgebiet in der gesamten Medizin. In der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie wurden die Implantate als Augmentationsmaterial eingesetzt und in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde verwendet man sie zum Ersatz der Gehörknöchelchen im Mittelohr (*Hench & West* 1996). *Giannini et al.* beschrieben 1992 die Anwendung in der orthopädischen Chirurgie zur Fusion von Wirbelkörpern oder als Beschichtung von Hüftgelenksprothesen.

Mitte der Siebziger Jahre kamen Biogläser in der Parodontologie erstmals zur Anwendung. Bei Pavianen wurden dentale Implantate aus Bioglas in frische Extraktionswunden eingesetzt. Histologische Untersuchungen nach 6 Monaten zeigten die Neubildung eines desmodontalen Faserapparates (*Stanley et al.* 1976).

In der vorliegenden Studie wurde das Produkt *PerioGlas® (Bioglass Synthetic Bone Graft Particulate*, USBiomaterials Corp., Alachua, FL, USA) verwendet. Es wird seit 1994 hergestellt und ist seit 1996 in Europa erhältlich. PerioGlas® wird der Materialgruppe der bioaktiven Gläser zugeordnet und eignet sich zur Therapie von intraalveolären, interradikulären, sowie periimplantären Knochen-defekten. Der chemische Aufbau ist identisch mit *Bioglass* (USBiomaterial,

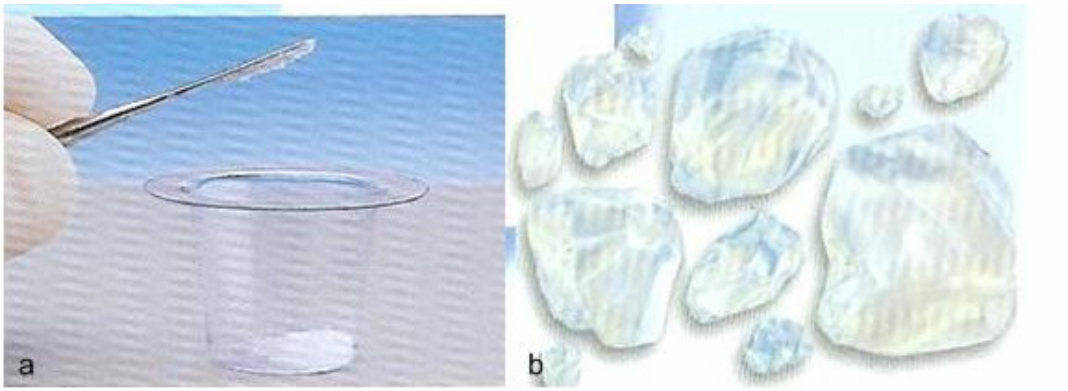
Alachua, FL, USA). Während *Bioglass* ein sehr grobes Implantatmaterial ist, besteht PerioGlas® aus kleineren Glaspartikeln, wodurch die Auffüllung der meist irregulären parodontalen Knochendefekte verbessert werden soll.

Makroskopische und mikroskopische Struktur von PerioGlas®

PerioGlas® ist eine synthetisch hergestellte Glaskeramik, die in Form von Granulat vorliegt. Klinisch erscheint es als weißes grobkörniges Pulver. Die mittlere Partikelgröße von etwa 340 µm ergibt sich aus den mikroskopischen Korngrößen von 90 bis 710 µm (*Karatzas et al.* 1999) (Abb. 6).

1998 fanden *Wheeler* und seine Mitarbeiter heraus, dass die ungleiche Partikelgröße und das spezielle Mischungsverhältnis Einfluss auf die Knochenneubildung zu haben scheinen. In einer Studie an Kaninchen wurde die Wundheilung von zylindrischen femoralen Knochendefekten nach der Behandlung mit PerioGlas® bzw. dem chemisch nahezu identischen Produkt Biogran (Implant Innovations, Karlsruhe, Deutschland), welches lediglich ein anderes Partikelgrößenspektrum von 300-350 µm aufweist, untersucht. Die computergestützte histometrische Analyse nach 12 Wochen zeigte bei den mit PerioGlas® behandelten Defekten eine signifikant bessere Auffüllung als bei den mit Biogran aufgefüllten Läsionen (24,9% ws. 19,0% mit $p<0,05$*). Die Autoren führen den Unterschied auf die größere bioaktivere Oberfläche bei PerioGlas® aufgrund der differenzierten Partikelgröße zurück (Abb. 6). Eine andere tierexperimentelle Studie von *Schepers & Ducheyne* (1997) in der die Extraktionsalveolen von Hunden 3 Monate nach der Defektauffüllung mit PerioGlas® und Biogran untersucht wurden, widersprach diesen Ergebnissen. Die mit PerioGlas®® behandelten Läsionen zeigten eine geringere Knochenneubildung, wobei hier jedoch keine quantitative Auswertung erfolgte.

Abb. 6 Makroskopische und Mikroskopische Struktur von PerioGlas®



a) Das als weißliches Pulver erscheinende PerioGlas wird in sterilen kleinen Bechern geliefert und mit steriler Kochsalzlösung oder Blut aus dem Operationsfeld angemischt. Nach 10-15 Sekunden kann das standfeste Glas in den Defekt eingebracht werden und ist 2-3 Minuten modellierfähig.
b) Mikroskopisch sind die unterschiedlich großen Glaspartikel zu erkennen.
(aus Dumex GmbH 2000)

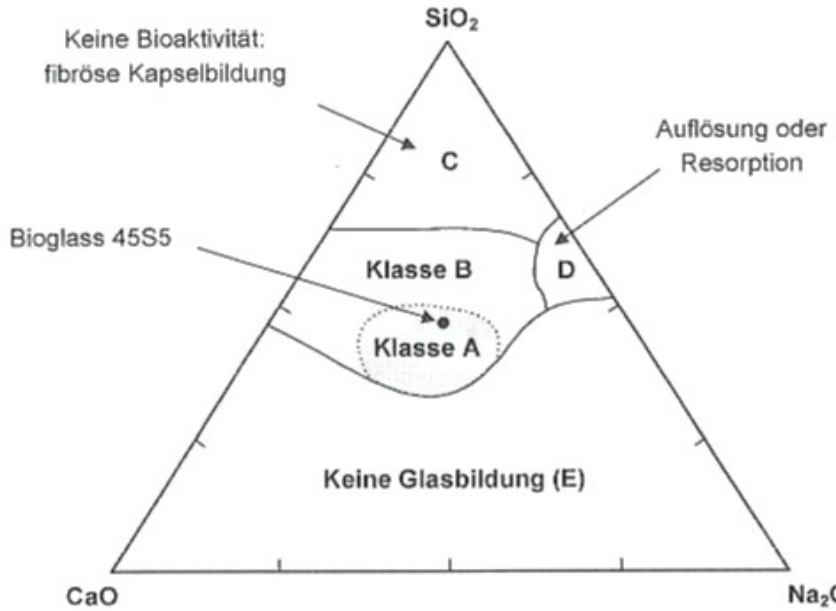
Chemische Struktur von PerioGlas®

Die chemische Struktur von PerioGlas® basiert auf einem amorphen, nicht-kristallinen Grundgefüge. Röntgenspektroskopische Untersuchungen belegen die Abwesenheit jeglicher kristalliner Strukturen. Die Glaspartikel setzen sich aus vier rein anorganischen Grundstoffen zusammen. Siliziumdioxid (SiO_2) zu 45,0 Gew.-% und Phosphorpentoxid (P_2O_5) zu 6,0 Gew.-% werden als Glasbildner eingesetzt. Weiterhin sind Natriumoxid (Na_2O) und Kalziumoxid (CaO) zu je 24,5 Gew.-% enthalten. Diese spezielle Glaskomposition nannten *Hench & West* 1996 das *Bioglass* 45S5.

Abhängig von der Zusammensetzung des Materials kennzeichnen sich die besonderen Eigenschaften der Biogläser. So weiß man heute, dass nur bei einer bestimmten Konzentration der Inhaltsstoffe die entsprechende Bioaktivität erwartet werden kann. Alle Gläser mit einer Zusammensetzung von 42-50 Gew.-% SiO_2, 3-9 Gew.-% P_2O_5, 14-28 Gew.-% Na_2O sowie 12-26 Gew.-% CaO bilden ebenso wie Bioglass 45S5 einen Verbund zum Knochen als auch zum Weichgewebe aus (*Greenspan* 1999). Dies nennt man auch eine so genannte Klasse-A-Bioaktivität. Daneben existieren ähnliche Glasgemische, die in vivo lediglich einen Verbund mit dem Knochen und nicht dem Weichgewebe eingehen. Sie verfügen über eine so genannte Klasse-B-Aktivität. Diese Eigen-

schaften aufgrund verschiedener Zusammensetzungen werden in Abb. 7 dargestellt.

Abb. 7 Ternärdiagramm von Gläsern aus SiO_2, Na_2O und CaO.



Die Eigenschaften der erstarrten Glasschmelze sind in Abhängigkeit von ihrer prozentualen Zusammensetzung dargestellt. Als vierte Komponente liegt P_2O_5 mit konstanten 6 Gew.-% vor. Bioaktive Oberflächen sind lediglich bei Gläsern der Klasse A (Knochen- und Weichgewebeverbund) oder Klasse B (nur Knochenverbund) zu beobachten. Bei Gläsern mit der Zusammensetzung C kommt es zur fibrösen Kapselbildung und bei D zur Auflösung und Resorption. In Bereich E entstehen keine Glasformationen.

(modifiziert aus *Hench & West* 1996)

Klinische Handhabung

PerioGlas® wird in grobkörniger Pulverform in verschiedenen Packungsgrößen angeboten. Es wird in sterilen Bechern mit 0,3 cm^3, 0,5 cm^3 und 1,5 cm^3 Inhalt angeboten, in denen es direkt angemischt werden kann. Vor der Applikation werden dem Pulver 4-6 Tropfen sterile Kochsalzlösung oder Blut aus dem Operationsfeld hinzugefügt und dann mit einem sterilen Spatel 10-15 Sekunden angemischt. Überschüssige Flüssigkeit kann mit einem sterilen Baumwolltupfer aufgesaugt werden. Innerhalb von 2-3 Minuten nach dem Anmischvorgang sollte das Material mit einem passendem Instrumentarium in den Knochendefekt eingebracht worden sein, da sonst die Wundheilung durch die beginnende Oberflächenreaktion des Glases beeinträchtigt werden kann (*USBiomaterials Corp.* 1996).

Einige Studien beschreiben die einfache klinische Handhabung des Materials (*Low et al.* 1997*, Shapoff et al.* 1997*).* Die nach dem Anmischen des Pulvers entstehende kohäsive Masse erweist such als gut modellierbar und nach Einfüllung als standfest (*Wilson & Low* 1992). Zusätzlich günstig wirken sich die hämostatischen Eigenschaften von PerioGlas® aus, welche hauptsächlich auf eine mechanische Blutstillung zurückgeführt werden (*Wilson & Low* 1992*, Fetner et al.* 1994).

Bioaktivität und Biokompatibilität

Nach der Implantation von PerioGlas® kann die Ausbildung einer Verbundschicht zwischen Implantat und Körpergewebe beobachtet werden (*Hench & Wilson* 1984). Diese Eigenschaft wird als *Bioaktivität* bezeichnet. Sie kennzeichnet das Merkmal der *bioaktiven Materialien.* Sie bilden im wässrigen Körpermilieu eine mit Hydroxylkarbonapaptit angereicherte Oberflächenschicht aus, die einen Verbund zum Knochengewebe initiiert. Das bioaktive (Perio)Glas der Klasse A geht dabei zusätzlich eine Verbindung zum Weichgewebe des menschlichen Körpers ein und hier insbesondere zum Kollagen (*Wilson & Merwin* 1988). Schon 1974 beschrieb *Hench* den genauen Mechanismus, der zur Ausbildung dieser Verbundschicht führt (*Hench & Paschall* 1974).

Nachdem das Material mit Körperflüssigkeit in Kontakt kommt, entsteht innerhalb von wenigen Minuten ein initialer Ionenwechsel auf dessen Oberfläche. Durch den entstehenden Verlust von Natriumionen im Austausch gegen Wasserstoff erfolgen eine Erniedrigung des pH-Wertes und eine lokalisierte Auflösung des Silikatnetzwerks. Die dabei entstehenden $Si(OH)_4$-Gruppen repolymerisieren auf der Partikeloberfläche zu einer hoch porösen, siliziumreichen Gelschicht, über der es nachfolgend zur Ausbildung einer amorphen Kalziumphosphatschicht kommt. In diese werden biologische Substanzen, wie Blutproteine, Wachstumsfaktoren oder Kollagen, eingeschlossen. Innerhalb von 3 bis 6 Stunden kristallisiert die Kalziumphosphatschicht zu einer Hydroxylkarbonapatitschicht (HKA) aus. Diese wächst im weiteren Verlauf auf eine Dicke von bis zu 100 µm an und wird als die eigentlich bindende Schicht angesehen. Sie unterscheidet sich zu diesem Zeitpunkt weder chemisch noch strukturell vom natürlichen Knochenapatit und ermöglicht

somit eine direkte Bindung der körpereigenen Gewebe an die Partikeloberfläche. Die innerhalb der ersten 24 bis 72 Stunden in den Knochendefekt infiltrierenden osteogenetischen Zellen, Osteoblasten oder mesenchymale Stammzellen, finden so eine knochenähnliche Oberfläche mit organischen Komponenten vor und stellen einen festen Verbund zum natürlichen Körpergewebe her. Da kein körperfremdes Material exponiert wird, findet keinerlei Fremdkörperreaktion statt. Durch die strukturelle Integration des Kollagens in die HKA-Schicht kann es zu einem festen Verbund mit dem Weichgewebe kommen (*Greenspan* 1999).

Im Jahr 1997 gelangten verschiedene Wissenschaftler zu den Erkenntnissen, dass Bioglass 45S5 offenbar weitere die Wundheilung beeinflussende Eigenschaften besitzt. Schon 1992 beschreiben *Wilson & Low* eine Beeinflussung des Wachstums von menschlichen Fibroblasten. *Price et al.* zeigte 1997 in einer In-vitro-Studie, dass die Anwesenheit von Bioglass 45S5 günstige Voraussetzungen für die Proliferation und Funktionalität von humanen Osteoblasten schafft. *Schepers & Ducheyne* veröffentlichten ebenfalls 1997 eine Studie an Beagle-Hunden, in der es um Implantate aus bioaktivem Glas zu einer Ausbildung von kleinen Knocheninseln kam, von denen weiteres Knochenwachstum ausging. So wurden nach der histologischen Analyse die umfangreichen osteoinduktiven Eigenschaften nachgewiesen.

Im Jahr 2000 konnten Untersuchungen zeigen, dass die Stimulation der osteogenen Differenzierung und des Osteoblastenwachstums mit den ionischen Produkten in Verbindung zu stehen scheint, die beim Transformationsprozess an der Oberfläche der Glaspartikel entstehen. *Hench* und *Polak* konnten in einer Studie beobachten, dass es in Anwesenheit dieser ionischen Produkte zu einer Zunahme der Genexpression des potenten osteoblastische Wachstumsfaktors *Insulin-like Growth Factor-II* kommt und infolgedessen ein Anstieg der Osteoblastenproliferation auf bis zu 155 % zu sehen ist (*Xynos et al. 2000).* 2001 entdeckte dieselbe Forschergruppe bestimmte Genfamilien, deren Expressionsraten bei Anwesenheit von bioaktivem Glas um den Faktor zwei variieren. Als Beispiel dient die Expression des Oberflächenrezeptors CD44 oder einiger Matrix-Metallproteinasen (MMPs) um das Doppelte *(Xynos et al. 2001).* MMPs stellen eine Enzymfamilie von Kollagenasen dar, die u.a. eine

Rolle bei der Angioneogenese spielen *(Pepper 2001).* Der CD44-Rezeptor ist ein Transmembranglykoprotein von z.B. T- und B-Lymphozyten oder Makrophagen, welches an Zell-Matrix-Interaktionen und Prozessen der Signaltransduktion beteiligt ist *(Bajorath 2000).*

Andere Studien zeigen auch die osteoinduktive Wirkung von Biogläsern. *Yuan et al.* beschreibt 2001 die ektope Neubildung von Knochengewebe in den Poren von Implantaten in Oberschenkelmuskulatur von 16 Hunden nach 3 Monaten.

Auch an 8 parodontalen Knochendefekten an Affenzähnen konnte nach der Versorgung mit PerioGlas® nicht nur eine signifikante Knochenneubildung, sondern auch von parodontalem Ligament und Wurzelzement beobachtet werden. Die Bindegewebsfasern inserierten dabei im neuen Zement sowie an der Oberfläche des Knochens und der Glaspartikel *(Karatzas et al. 1999).* Ähnliche Ergebnisse zeigte auch die Studie von *Fetner et al.* bereits im Jahr 1994 nach der Behandlung von 12 intraalveolären Knochendefekten bei Affen mit PerioGlas®. Es konnte eine Neubildung von Knochen, Wurzelzement und parodontalem Ligament beobachtet werden. Im Jahr 1993 zeigte *Kubo et al.,* dass die bioaktiven Gläser einen direkten Einfluss auf das Wachstum der parodontalen Fibroblasten haben.

Die hemmende Wirkung auf das Tiefenwachstum des Saumepithels nach der Verwendung von PerioGlas® wird nicht in allen Studien bestätigt. Einige histologische Untersuchungen zeigten regelmäßig eine deutliche Hemmung des apikalen Wachstums *(Wilson & Low* 1992, *Fetner et al.* 1994, *Karatzas et al.* 1999). Andere Autoren konnten diesen Effekt nicht in jedem Fall bestätigen (*Nevins et al.* 2000*).* So basiert die Hemmung des epithelialen Tiefenwachstums beim Einsatz von PerioGlas® neben dem inhibitierenden Effekt auf das Saumepithel auch auf der mechanischen Behinderung des apikalen Wachstums durch die raschere Regeneration des parodontalen Faserapparates im Defektbereich (*Wilson & Low* 1992).

Nach *Hench & West* (1996) werden die bioaktiven Eigenschaften eines Biomaterials mit dem Bioaktivitätsindex I_B beschrieben. Der Index ist umso größer, je schneller ein Knochenverbund hergestellt wird und entspricht mathematisch dem reziproken Wert des Zeitraums t (in Tagen), in der 50% der Materialoberfläche mit dem Knochen verbunden sind ($I_B = 100 \cdot t^{-1}$).

Bioglas vom Typ 45S5 besitzt einen hohen Index von 12,5 d^{-1}. Demnach ist innerhalb von 8 Tagen die Hälfte der Partikeloberfläche an Knochen gebunden.
Die Resorption von Biogläsern scheint abhängig von der Partikelgröße abzulaufen. Eine Studie in der an Kaninchen die Wundheilung von Femurdefekten nach der Implantation von Bioglas 45S5 mit Partikelgrößen von 100 bis 300 µm untersucht wurde, zeigte, dass bereits nach 8 bis 12 Wochen der größte Teil der Partikel vollständig durch natürlichen Knochen ersetzt worden war (*Oonishi et al.* 1997). Eine weitere tierexperimentelle Studie von *Fetner et al.* (1994) zeigte nach der Versorgung von 12 zweiwandigen Defekten bei 6 Affen mit PerioGlas® eine vollständige Resorption der kleineren PerioGlas®-Partikel nach 4 bis 6 Monaten.
Bioglas konnte in neueren Untersuchungen ein antibakterieller Effekt bestätigt werden. Aufgrund der Reaktionen auf der Glasoberfläche entsteht ein stark alkalischer pH-Wert (> pH 10), der vermutlich zu einer lokalen Hemmung der Bakterienkolonisation im Wundbereich führt (*Allan et al.* 2001).
Da alle in PerioGlas® verwendeten Inhaltsstoffe als natürliche Bestandteile des Knochengewebes ohnehin im menschlichen Körper vorkommen, sind bioinkompatible Reaktionen des Materials nicht zu erwarten. PerioGlas® wurde vor dem klinischen Einsatz strengen Bioverträglichkeitsprüfungen unterzogen. In der EU wurde PerioGlas® nach den Sicherheitsrichtlinien des Medizinproduktegesetzes geprüft und 1996 mit dem CE-Symbol ausgezeichnet.

1.7. Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Studie sollte die Effektivität von zwei verschiedenen Materialien in der regenerativen Behandlung von intraalveolären Defekten und Furkationsbefällen bei Patienten mit fortgeschrittener chronischer Parodontitis verglichen werden. Es sollte klinisch und radiologisch überprüft werden, ob die bioresorbierbare Membran Resolut XT® (W.L. Gore & Associates, Flagstaff, AZ, USA) zu einem besseren Heilungserfolg führt als die Anwendung des bioaktiven Glases PerioGlas® (USBiomaterials, Alachua, FL, USA).

2. Material und Methode

2.1. Patientenkollektiv

In der Abteilung für Parodontologie des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Philipps-Universität Marburg (Leiterin: Prof. Flores-de-Jacoby) wurden 20 Patienten mit fortgeschrittener Parodontitis ausgewählt. Das Alter der Patienten lag zu Beginn der Studie zwischen 27 und 65 Jahren. Alle Patienten wiesen weiterhin eine mindestens 6 Wochen vor dem Operationszeitpunkt erfolgreich abgeschlossene parodontale Vorbehandlung mit sehr guter Mundhygiene (API <15%) auf. Es erfolgte eine eingehende Motivation und Instruktion zur Mundhygiene. Hierzu gehörte auch die Beseitigung von Kofaktoren wie z.B. überstehende Füllungsränder und kariöse Läsionen. Zur Motivationssteigerung wurde in jeder Sitzung ein API erhoben. Die Behandlung der parodontalen Defekte erfolgte nach der Methode der gesteuerten Geweberegeneration. Es wurden parodontale Defekte an Inzisiven, Prämolaren und Molaren des Oberkiefers und Unterkiefers behandelt, die entweder intraalveoläre Defekte mit Sondierungs-tiefen über 7mm oder einem klinischen Furkationsbefall, Grad II oder Grad III, aufwiesen. An den betroffenen Stellen musste eine keratinisierte Gingiva von mindestens 2mm Breite vorhanden sein. Der Margo gingivalis musste koronal der entsprechenden Furkation gelegen sein.

Der Patient musste einverstanden sein, über einen Zeitraum von mindestens 3 Jahren an der Studie teilzunehmen. Waren die Patienten mit der Teilnahme an der Studie einverstanden, wurde in einem operativen Eingriff entweder eine resorbierbare Membran eingesetzt, die den knöchernen Defekt bedeckte oder der Defekt mit einem Bioglas aufgefüllt und jeweils mit dem präparierten Mukoperiostlappen wieder verschlossen.

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes erfolgte bei allen Patienten in dreimonatigen Abständen eine professionelle Zahnreinigung mit Instruktion und Remotivation zur Mundhygiene.

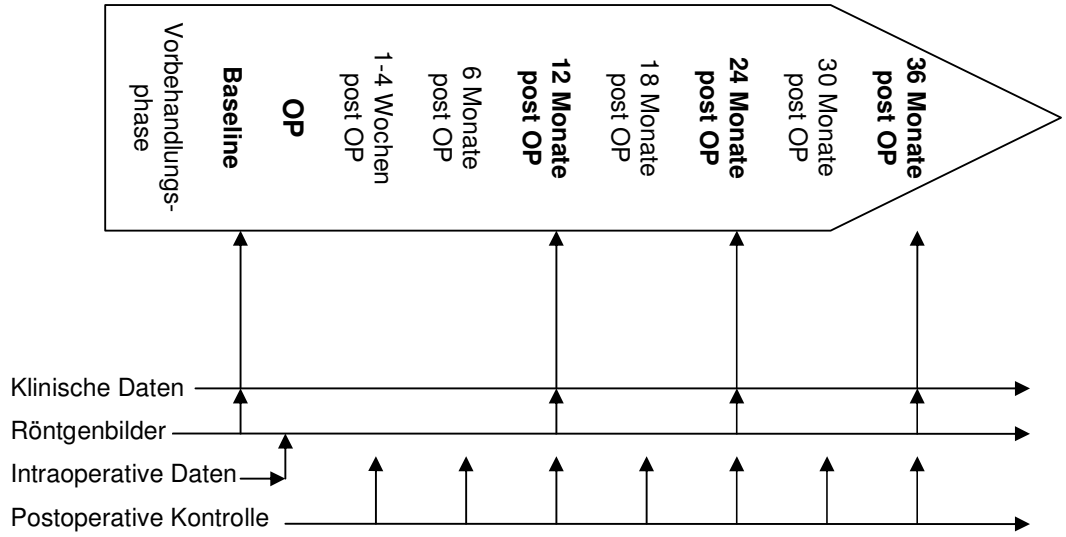
2.2. Zeitlicher Ablauf der Studie

Es handelt sich um eine klinische und radiologische Langzeitstudie. Das Studienprotokoll unterliegt den Richtlinien der Deklaration von Helsinki (1964) der World Medical Association (WMA) in der Revision von 1996.

Vor dem parodontal-chirurgischen Eingriff wurden im Rahmen einer parodontalen Vorbehandlung neben einer genauen Anamnese die klinischen Parameter erhoben und radiologische Aufnahmen angefertigt.

Abb. 8 gibt eine Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Studie.

Abb. 8 Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Studie



Professionelle Zahnreinigung alle 3 Monate

OP-Operationszeitpunkt, chirurgischer Eingriff

Die beiden verwendeten Materialien, die Membran Resolut XT® (*W.L.Gore & Associates Inc., Flagstaff, AZ, USA)* und das Bioglas Perioglas® (*USBiomaterials Corp., Alachua, FL, USA)* kamen bei zwei verschiedenen Defektklassen zum Einsatz. Einerseits bei Furkationsbefällen an Molaren Grad II und III und andererseits bei intraalveolären Defekten, die beide operativ nach der GTR-Methode versorgt wurden. Das zu verwendende Material wurde kurz vor jeder Operation durch Münzwurf ausgewählt.

In beiden Gruppen erfolgte zur Anonymisierung der Patientendaten die Verteilung von Patientenidentifikationsnummern. Jede operierte Fläche eines Zahnes wurde als statistischer Einzelfall betrachtet.

Postoperativ spülten die Patienten für acht bis zehn Tage zweimal täglich mit einer 0,2%igen Chlorhexidin-Lösung. Anschließend ist nur noch einmal täglich für weitere vierzehn Tage eine Spülung erforderlich, da der Patient wieder wie gewohnt Zähne putzen kann. Weiterhin wurden im ersten Monat postoperativ alle behandelten Zähne wöchentlich professionell gereinigt und inspiziert.
Im Abstand von drei Monaten wurde bei den Patienten eine professionelle Zahnreinigung mit Remotivations- und Instruktionsmaßnahmen zur Mundhygiene durchgeführt.
Die Erhebung der klinischen Befunde liefern die Messdaten zur postoperativen klinischen Beurteilung des Operationsergebnisses. Ohne weiteren chirurgischen Eingriff kann zusammen mit der radiologischen Kontrolle der Defekte das Operationsergebnis gut beurteilt werden. Zur Auswertung wurden die Daten der Baseline-Untersuchung vor dem chirurgischen Eingriff mit den erhobenen Parametern nach 12, 24 und 36 Monaten verglichen.

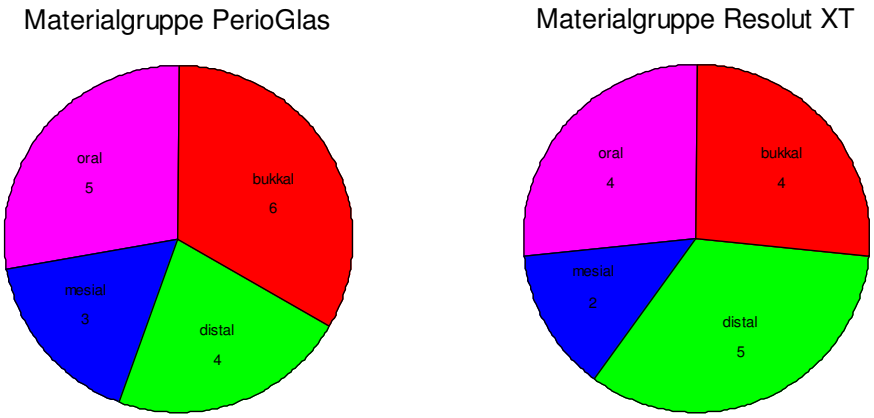
2.3. Statistische Ausgangsdaten

Die Patienten wurden in zwei Hauptgruppen unterteilt:

1. Gruppe der Patienten mit operierten Furkationsbefällen,
2. Gruppe der Patienten mit operierten intraalveolären Defekten.

In der ersten Gruppe wurden bei 8 weiblichen und 4 männlichen Patienten an 21 Zähnen 33 Zahnflächen versorgt. Die Patienten waren zu Beginn der Studie zwischen 27 und 57 Jahren alt (Ø 43,7 Jahre). Unter den Patienten befanden sich 2 Raucher mit jeweils 2 und 5 Zigaretten/Tag. 18 Flächen wurden mit PerioGlas® und 15 Flächen mit Resolut XT® versorgt, wobei mesial und distal gelegene Furkationen nur bei Oberkiefermolaren zu finden sind (siehe Abb. 9).

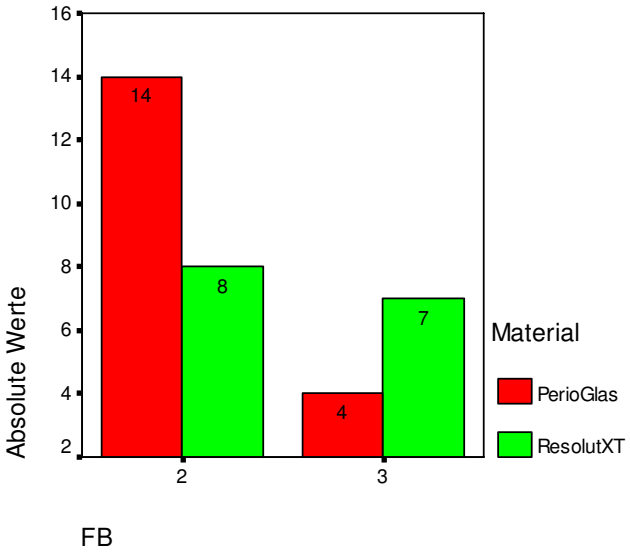
Abb. 9 Flächenverteilung auf die Materialgruppen



Es wurden 11 Furkationsbeteiligungen Grad III und 22 Grad II operiert. Die betroffenen Zahnflächen verteilen sich mit 22 Flächen auf 12 Oberkiefermolaren (8 x I. Quadrant, 14 x II. Quadrant) und mit 11 Flächen auf 8 Unterkiefermolaren (3 x III. Quadrant, 3 x IV. Quadrant).

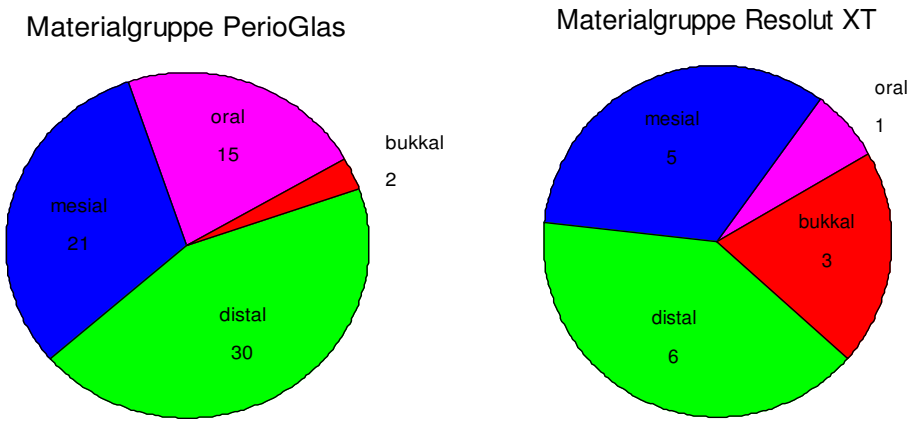
14 der operierten Grad II-Furkationsbeteiligungen wurden mit dem Bioglas versorgt, 8 mit der Membran. 4 der operierten Grad III-Furkationsbeteiligungen wurden mit dem Bioglas und 7 Grad III-Fälle mit der Membran therapiert (Abb. 10).

Abb. 10 Verteilung der Furkationsbefälle auf die Materialien



In der zweiten Gruppe waren bei 14 männlichen und 8 weiblichen Patienten 83 Flächen an 61 Zähnen. Die Patienten waren zwischen 29 und 65 Jahre alt (Ø 45,5 Jahre). Es befanden sich vier Raucher unter den Studienteilnehmern, die zwischen 2 und 12 Zigaretten täglich rauchen.
68 Defektflächen wurden mit dem Material PerioGlas und 15 Defektflächen mit der Membran Resolut XT versorgt. (Abb. 11).

Abb. 11 Flächenverteilung auf die Materialgruppen



Weiterhin lag folgende Verteilung der operierten Defektarten Knochendefekt 1 (vertikal) und 2 (horizontal+vertikal) und Knochentaschen 1 - 4 (Abb. 12,13) vor.
Gruppe: Intraalveoläre Defekte

Abb. 12 Verteilung der Knochendefektarten (KD)

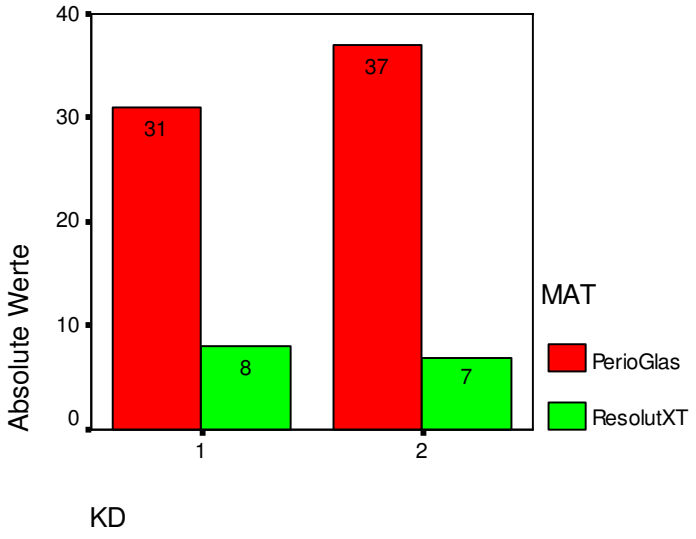
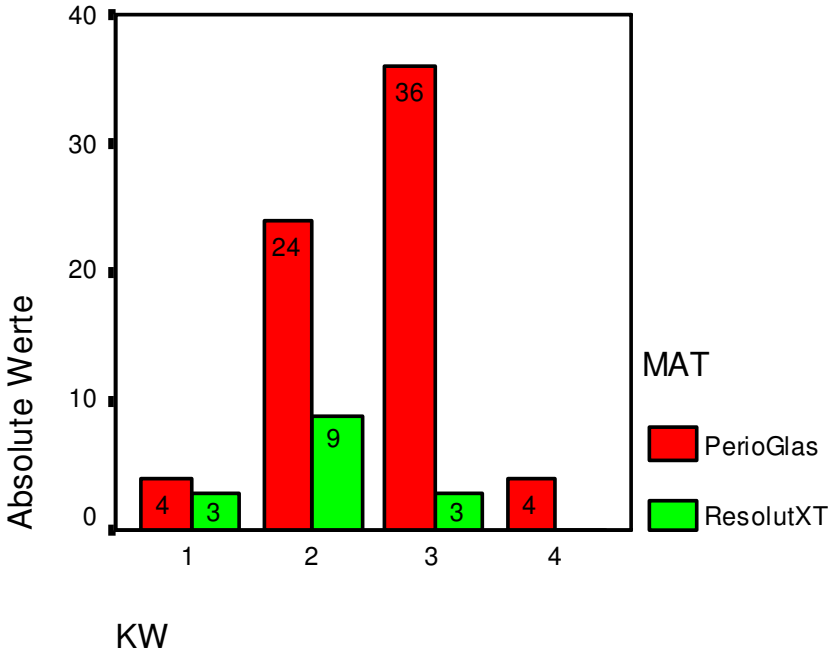


Abb. 13 Verteilung der Knochentaschen (KW)



2.4. Erhobene Parameter

Anamnestische Angaben

Die Daten zur allgemeinen Eigenanamnese der Patienten wurden ergänzt durch Angaben zur häuslichen Mundghygienegewohnheiten (Häufigkeit des Zähneputzens, Anwendung von zusätzlichen Pflegeartikeln wie Zahnseide, Zwischenraumbürstchen oder Mundspüllösungen). Weiterhin wurde bei Rauchern die Anzahl der Zigaretten pro Tag erfasst und ob bei den Patienten eine Mundatmung vorlag.

Klinische Daten

Alle klinischen Parameter wurden mit standardisierten, graduierten Parodontalsonden erhoben. Für vertikale Messungen kam die Plast-o-Probe (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Schweiz) mit einer Skalierung von 3, 6 und 9 mm zum Einsatz. Für die Untersuchung der Furkationsbeteiligung wurde eine Sonde nach Nabers (Hu-Friedy, Chicago, IL, USA) verwendet. Die Untersucherin war zum Zeitpunkt der postoperativen Erhebung der Daten in Bezug auf die operativen Daten und auf das verwendete Material verblindet.

Die folgenden Messdaten wurden in einem PAR-Status-Bogen protokolliert.

a) Plaque-Index (PI) nach Silness und Löe 1964

Die Untersuchung des trockenen Zahnhalsbereichs erfolgt mit Spiegel und Sonde. Auf allen vier Flächen der Zähne wird die Plaque im Sulkusbereich wie folgt bewertet:

Grad 0 = keine Plaque bei Inspektion und Sondierung.

Grad 1 = hauchdünner Bakterienbelag, der klinisch nicht sichtbar ist, je doch beim Abschaben mit einer Sonde aufgespürt wird.

Grad 2 = weiche Zahnbeläge,die im Sulkus gingivae in kontinuierlicher Linie sichtbar vorhanden sind; die Plaque füllt jedoch den Interdentalraum nicht aus.

Grad 3 = dickere Zahnbeläge, die den Interdentalraum ausfüllen

Formel zur Indexberechnung: PI = Summe der Bewertungsziffern/Zahl der bewerteten Flächen

b) Gingival-Index (GI) nach Löe und Silness

Dieser Index wird in vier Arealen pro Zahn als Durchschnitt gerechnet. Es werden vier Bewertungsgrade unterschieden und in den Befundbogen eingetragen:

Grad 0 = Abwesenheit von Entzündung, keine pathologische Farbveränderung.

Grad 1 = leichte Entzündung mit leichten Farbveränderungen

Grad 2 = mäßige Entzündung mit Rötung, Ödem und Blutung

Grad 3 = schwere Entzündung, gekennzeichnet durch Rötung, Ödem und Tendenzen zur Spontanblutung sowie Auftreten von Ulzerationen

c) Sondierungstiefe (ST)

Die parodontale Sondierungstiefe wird definiert als Distanz zwischen Gingivarand und klinisch sondierbarem Boden der Zahnfleischtasche. Gemessen wurden alle vier Flächen sämtlicher Zähne (distal, bukkal, mesial, lingual/palatinal) mit einer Parodontalsonde (Plast-o-probe (Dentsply®:REF 6 180B, Kalibrierung von 3, 6 und 9 mm). In einem speziell hierfür entwickelten Befundbogen wurden die Parameter eingetragen.

Taschen, die nach der Sondierung eine Blutung aufwiesen, wurden ebenfalls aufgezeichnet (Abb. 14).

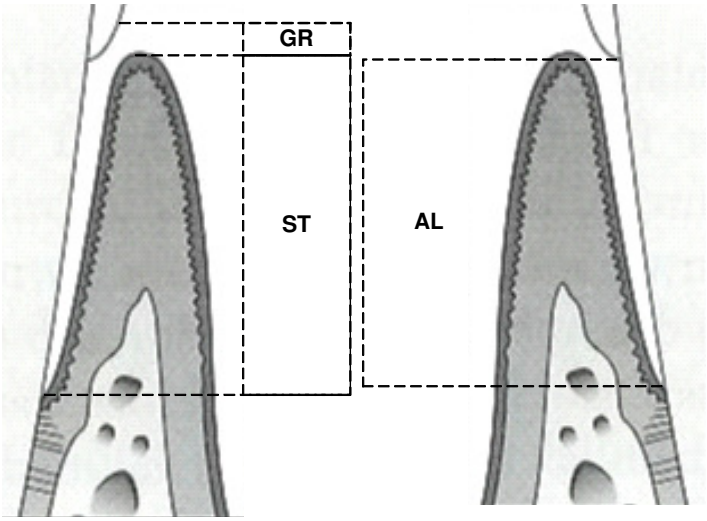
d) GingivaleRezession (GR)

Die gingivale Rezession bezeichnet das Ausweichen des gesamten Parodonts nach apikal, verursacht durch die partielle Denudation der Wurzeloberfläche. (Guinard & Caffesse 1977). Gemessen wird der Abstand 2mm koronal der Schmelz-Zement-Grenze bis zum marginalen Rand der Gingiva, wiederum an allen vier Flächen aller Zähne (Abb. 14)

e) Attachmentlevel (AL)

Der Attachmentlevel ist definiert über den Abstand von Schmelz-Zementgrenze bis zum Boden einer Zahnfleischtasche. Die ebenfalls mit der Plasto-probe gemessenen Werte wurden in den Befundbogen eingetragen.

Abb. 14 Darstellung der erhobenen Meßparameter



Sondierungstiefe (**ST**), Gingivale Rezession (**GR**) und Attachmentlevel (**AL**)

f) Furkationsbefall (FB)

Die Furkationsbeteiligung einer parodontalen Läsion wurde mit Hilfe einer speziell vorgebogenen und skalierten Sonde (Nabers-Sonde (Hu-Friedy®: farbcodiert, Q-2N)) kontrolliert. Die Einteilung erfolgte in drei Grade. Grad I bezeichnet die Messung bis 3 mm, Grad II von mehr als 3 mm und Grad III die Möglichkeit der durchgängigen Sondierbarkeit. Auch diese Werte wurden auf dem Befundbogen festgehalten.

g) Zahnbeweglichkeit

Ebenfalls im Befundbogen festgehalten wurde die Zahnbeweglichkeit. Sie wurde manuell mit Hilfe von 2 Instrumentengriffen in nachfolgenden Schweregraden gemessen:

Grad I: Krone bis etwa 1 mm auslenkbar

Grad II: Krone mehr als 1 mm auslenkbar

Grad III: Zahn bewegt sich auf Lippen- und Wangendruck, auch in axialer Richtung; starke Einschränkung der Funktion.

Desweiteren wurde während der Vorbehandlungsphase zur Mundhygienekontrolle und Motivation der Patienten der ***API*** (Approximalraum-Plaque-Index) erhoben. Hierbei handelt es sich um einen dichotomen Mundhygiene-Index nach *Lange et al.* (1977). Er gibt prozentual die Menge der interdental vorhandenen supragingivalen Plaque an. Der Wert wird nach dem Anfärben mit einem Plaqueelevator (Erythrosin) aus dem Verhältnis der positiven Plaquestellen zur Gesamtzahl aller approximalen Messwerte errechnet.

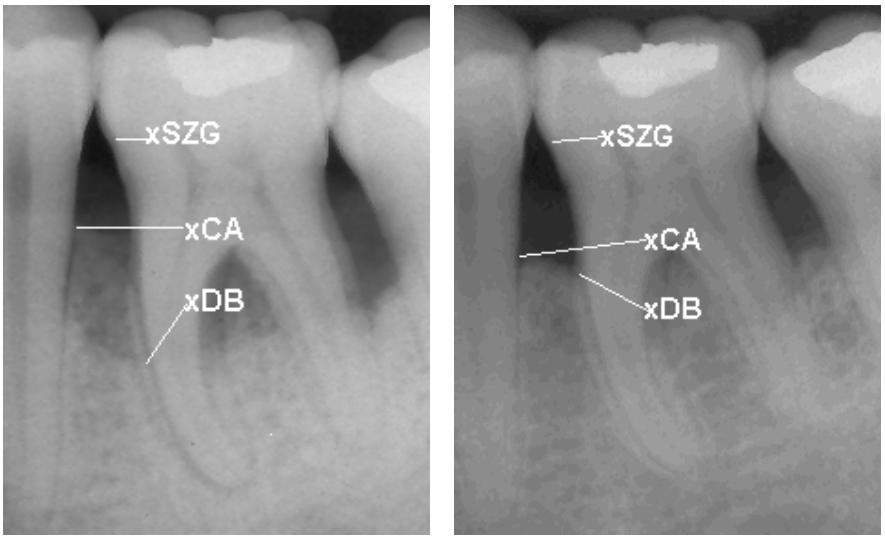
Intraoperative Messungen

Nach Darstellung des Defektes hat der Behandler mithilfe einer WHO-Sonde die intraossären Defekte vermessen. Es wurde die Anzahl der Knochenwände (KW: 1-wandig, 2-wandig, 3-wandig, 4-trichterförmig) notiert und die Art des Knochendefektes (KD: vertikal, vertikal+horizontal). Bei Furkationsbeteiligung wurde der intraoperativ gemessene Grad notiert.

Radiologische Untersuchungen

Zusammen mit der Baseline-Untersuchung wurden vor dem chirurgischen Eingriff sowie jeweils nach 12, 24 und 36 Monaten standardisierte radiologische Untersuchungen in Form von konventionellen Einzelzahnfilmen (Ektaspeed Plus, Kodak, Rochester, NY, USA) der behandelten Zähne durchgeführt.

Abbildung 15 Einzelzahnfilme Zahn 36



a **b**

a) Präoperative Aufnahme bei der Baselineuntersuchung.
b) Postoperative Aufnahme nach 36 Monaten.

Die Röntgenbilder wurden mittels orthoradialer Paralleltechnik (Updegrave 1951) aufgenommen. Bei diesem Verfahren trifft der Zentralstrahl senkrecht auf den Bildträger, welcher mit einer Filmhaltevorrichtung (XCP Kit, Rinn, Elgin, IL, USA) parallel zum abzubildenden Objekt angeordnet wird. Der Zentralstrahl verläuft zusätzlich senkrecht zur Tangente des Alveolarkamms. Es kam das Dentalröntgengerät Oralix 65 (Philips, Hamburg, Deutschland) mit Langtubus (Rinn-Tubus, Rinn, Elgin, IL, USA) zum Einsatz.

Da Summationseffekte eine radiologische Analyse von oral oder vestibulär lokalisierten Knochendefekten verhindern, konnten in der vorliegenden Studie lediglich die 68 interproximal (17 Membran, 68 bioaktives Glas) vorgefundenen Defekte röntgenologisch untersucht werden. Sie bilden eine eigene Gruppe an vertikalen Defekten, die ausgelöst aus den beiden anderen Gruppen röntgenologisch den Beweis zur Knochengewinnung nach einer GTR-Operation mit der Resolut XT®-Membran und dem PerioGlas® antreten sollen.

Die mithilfe eines Automaten (Periomat Plus 1307-01, Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland) entwickelten Filme wurden mit einem Kleinbildscanner (Sprint Scan 35 Plus, polaroid, Cambridge, MA, USA) digitalisiert und unkomprimiert im Bitmap-Format gespeichert.

Mit einer Ortsauflösung von ungefähr 500 dpi ergab sich im Seitenzahnbereich bei einem Filmformat von 3 x 4 cm ein Bild von etwa 590 x 790 Punkten. Eine Bilddatei dieser Größe benötigte bei der gewählten Farbtiefe von 8 Bit (256 Graustufen) einen Speicherplatz von etwa 460 kByte (590 x 790 Byte). Im Bereich der Frontzähne wurde ein Filmformat von 2 x 3 cm verwendet.
Nach Digitalisierung erfolgte die lineare Vermessung der Röntgenaufnahmen mithilfe der Digora1.51N-Software.
Für die Vermessung am Bildschirm wurden zunächst –analog zu den intraoperativen Messungen- pro Bild die drei folgenden Referenzpunkte definiert (siehe auch Abbildung 15).

Schmelzzementgrenze (xSZG): Apikalster Punkt des Schmelzes an der defektseitigen Approximalfläche des Zahnes.

Crista alveolaris (xCA): Der Punkt auf der Approximalfläche des Defektzahnes, an dem die projizierte Crista alveolaris die Wurzeloberfläche kreuzt.

Defektboden (xDB): Der am weitesten koronal gelegene Punkt an der defektseitigen Approximalfläche des Zahnes, bis zu dem der Desmodontalspalt eine gleichmäßige Breite zeigt.

Mithilfe dieser Punkte wurden die röntgenologischen Distanzen von der Schmelzzementgrenze zur Crista alveolaris (xSZG-xCA) bzw. zum Defektboden (xSZG-xDB) sowie von der Crista alveolaris zum Defektboden (xCA-xDB) bestimmt. Der Untersucher hatte keinen Zugang zu den klinischen und intraoperativen Daten. Alle Bilder wurden zweimal vermessen und die ermittelten Werte jeder Strecke arithmetisch gemittelt.

2.5. Operativer Eingriff

Verwendete Materialien

Die chirurgische Behandlung sowohl der intraalveolären Defekte als auch der Furkationsbefälle wurde entweder mit dem bioaktiven Glas (PerioGlas®, USBiomaterials, Alachua, FL, USA) oder mit der resorbierbaren Membran (Resolut XT®, W.L. Gore & Associates, Flagstaff, AZ, USA) durchgeführt.

Die Methode der Operation zur Applikation baute auf den Erfahrungen früherer Eingriffe der gesteuerten Geweberegeneration (*Flores-de-Jacoby et a. 1991a, b, c, Mengel et al.* 2003, 2006*).* Unmittelbar vor jeder Operation wurde das zu verwendende Material für jeden Knochendefekt oder Furkationsbefall einzeln durch Münzwurf bestimmt.

Chirurgisches Protokoll

Die chirurgischen Eingriffe fanden unter sterilen Bedingungen statt. Nach ausreichender Lokalanästhesie (Ultracain DS, Hoechst, Frankfurt, Deutschland) erfolgte eine intrasulkuläre Inzision unter maximaler Schonung der Interdentalpapillen. Es folgt die Präparation eines basal gestielten Mukoperiostlappens. Bei unzureichender Einsicht in das Operationsgebiet wurden paramediane, vertikale Entlastungsschnitte mit einem Abstand von mindestens einer Prämolarenbreite zum behandelten Zahn angelegt. Das an der Innenseite des Weichgewebes anhaftende Taschenepithel wurde vorsichtig mit einer Gingivaschere entfernt, ohne den Mukoperiostlappen auszudünnen. Der Knochendefekt und die Wurzeloberflächen wurden mit Handinstrumenten von Ablagerungen und Granulationsgewebe gesäubert und mehrfach mit Ringerlösung gespült. Die anschließende Glättung der Wurzeloberflächen erfolgte mit manuellen sowie rotierenden (Desmoclean, Meyer-Haake, Oberursel, Deutschland) und oszillierenden Instrumenten (Per-io-tor, Dentatus, New York, NY, USA) durchgeführt mit dem Ziel der Entfernung sämtlicher weicher und harter bakterieller Beläge. Wurzelzement wurde nur dann entfernt, wenn es als infiziert oder erweicht erkennbar war.

Nun wurden durch den Behandler die intraoperativen Parameter erfasst. Die ermittelten Daten dienten zur Charakterisierung und Klassifikation der Ausgangsdefekte. Das weitere chirurgische Vorgehen richtete sich nach dem verwendeten Material.

Zur Vorbereitung der Versorgung des Knochendefektes mit dem bioaktiven Glas musste dieses mit einer entsprechenden Menge von 0,9%iger NaCl-Lösung angemischt werden.

Nach Spülung des Operationsgebietes mit steriler Kochsalzlösung wurde das angemischte Granulat in kleinen Portionen mithilfe eines Raspatoriums in den Defekt eingebracht. Überschüssige Flüssigkeit wurde vorsichtig abgesaugt. Das Material wurde nicht besonders verdichtet, auch eine Überfüllung des Defektes erfolgte nicht.

Sollte der Defekt mit einer Membran versorgt werden, wurde zunächst eine zur Defektmorphologie passende Membrankonfiguration ausgewählt. Zur Individualisierung wurde die Membran beschnitten. Besondere Aufmerksamkeit musste hierbei auf einen dichten koronalen Abschluss der Membran an den Zahn gelegt werden, um eine Proliferation des Saumepithels unter die Membran in den Defekt zu verhindern. Zur Fixierung am Zahnhals wurde die Membran mit einer Umschlingungsnaht aus resorbierbarem Nahtmaterial (Dexon II, Sheerwood Davis & Geck, St. Luis, MO, USA) am Zahnhals befestigt. Die Einstichstellen an den koronalen Ecken der Membran sollen etwa 1 bis 2 mm vom Membranrand angelegt werden. Der chirurgische Knoten kam im vestibulären oder oralen Drittel des Approximalraumes zu liegen. Das Belassen von relativ langen Knotenenden verhinderte eine spätere Perforation des Mukoperiostlappens durch das Nahtmaterial.

Nach Readaptation des mobilisierten Mukoperiostlappens über dem behandelten Knochendefekt wurde der Lappen mithilfe von Einzelknopfnähten aus nichtresorbierbarem Nahtmaterial (Gore-tex Suture, W.L.Gore & Associates, Flagstaff, AZ, USA) zunächst interdental fixiert. Um einen spannungsfreien Sitz des Schleimhautlappens zu erreichen, musste unter Umständen eine horizontale Periostschlitzung erfolgen.

Anschließend wurden die vertikalen Entlastungsschnitte vernäht und der Wundbereich abschließend mit einem NaCl getränkten Tupfer gereinigt. Es kam kein systemisches oder lokales Antibiotikum zum Einsatz.

Die Patienten erhielten nach der Operation eingehende Informationen über mögliche postoperative Komplikationen wie Nachbluten, Infektionen usw. Zum Kühlen der operierten Wangenseite wurde dem Patienten eine Kühlkompresse mitgegeben (Kalt-Sofort-Kompresse, Gello, Ahaus, Deutschland).

Den Patienten wurde nochmals die Relevanz einer sehr guten Mundhygiene für das Behandlungsergebnis aufgezeigt, jedoch die mechanische Zahnreinigung für die operierten Zahnflächen für 8 Tage untersagt. Nach Anweisung sollten die Patienten für 4 Wochen täglich zweimal eine halbe Minute lang mit einer 0,2%igen Chlorhexidindiglukonatlösung (Corsodyl Lösung, SmithKline Beechham, München, Deutschland) spülen. Für zwei Tage nach der Operation wurde der Genuss von Tabak und Bohnenkaffee untersagt.

2.6. Recalluntersuchungen

Eine Woche nach der Operation wurden die Patienten zur ersten Recalluntersuchung einbestellt, um den Heilungsverlauf zu kontrollieren und die Naht zu entfernen. Anschließend wurden die Patienten im ersten Monat wöchentlich zu einer Recalluntersuchung einbestellt, für die folgenden zwei Monate alle vier Wochen. Danach erschienen die Patienten in Abständen von drei Monaten. Ab der zweiten Woche wurden die Termine mit einer supragingivalen professionellen Zahnreinigung und falls nötig einer Remotivation zur Mundhygiene kombiniert. Neben eingehenden Untersuchungen wurden Unregelmäßigkeiten im Heilungsverlauf, wie Membranexposition, das Auftreten von übermäßigen Schmerzen oder Entzündungsreaktionen usw. dokumentiert. Die in Abschnitt 2.4. beschriebenen klinischen Messungen wurden jeweils nach 12, 24 und 36 Monaten erhoben. Jeweils einmal pro Jahr wurde eine Kontrollröntgenaufnahme der Defektzähne angefertigt.

2.7. Statistische Analyse

Zunächst wurden die Daten personenbezogen dokumentiert. Zur statistischen Auswertung der Daten erfolgte zur Anonymisierung der Patientendaten eine Zuweisung von Identifikationsnummern. Die statistische Auswertung wurde mithilfe der Software SPSS 12.0 (*SPSS, Chicago, IL, USA*) durchgeführt.
Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden zu nominal und ordinal skalierte Größen absolute und prozentuale Häufigkeiten angegeben.

Metrisch skalierte Größen wurden anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie Median und 25. und 75. Perzentil beschreibend dargestellt. Mittels Kolmogorov-Smirnov-Test wurden diese Größen auf Normalverteilung geprüft, so dass zur statistischen Analyse entsprechend parametrische oder nicht-parametrische Verfahren herangezogen wurden.

Insbesondere zur Auswertung von Häufigkeiten mussten teilweise einzelne Ausprägungen aufgrund sehr geringer Fallzahlen zusammengefasst werden, um eine statistische Prüfung zu ermöglichen. Zur Gegenüberstellung zweier Größen mit dichotomer Ausprägung wurde im Falle kleiner Fallzahlen der Exakte Test nach Fisher eingesetzt. Mittels Chi-Quadrat-Test wurden nominal und ordinal skalierte Größen auf Abhängigkeit geprüft.

Der Vergleich zweier intervallskalierter unabhängiger Größen erfolgte bei Normalverteilung mittels T-Test für unabhängige Stichproben und bei nicht normal verteilten Größen mittels U-Test nach Man, Whitney und Wilcoxon. Die Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen mehr als zwei Gruppen wurde bei Normalverteilung mittels ANOVA durchgeführt und im Falle nicht normalverteilter Zielgrößen mittels Kruskal-Wallis-Test.

Post-Hoc-Paarvergleiche erfolgten bei signifikantem Kruskal-Wallis-Test mittels Dunn-Test. Die Berechnungen mittels ANOVA brachten keine signifikanten Ergebnisse hervor, so dass hier keine weiteren Paarvergleiche notwendig waren.

Verbundene Beobachtungen wie Messungen zu Studienbeginn (Baseline) und nach Beendigung der Beobachtungszeit (nach 36 Monaten) wurden bei dichotomer Ausprägung mittels McNemar-Test auf Veränderung geprüft, bei mindestens ordinaler Skala wurde der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen eingesetzt.

Bei allen verwendeten statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt. Aufgrund multiplen Testens sollte eine Adjustierung der p-Werte nach dem Verfahren von Bonferroni und Holm durchgeführt werden. Die Ergebnisse wurden jedoch aus rein explorativer Sicht dargestellt.

3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisse der operierten Furkationsbeteiligungen

Zur Beurteilung der Mundhygiene wurde bei allen Patienten dieser Gruppe der Plaque-Index (PI) gemessen. Hier zeigen sich in beiden Gruppen im Verlauf der Studie keine Auffälligkeiten, wie in Tab. 1 dargestellt. Alle Werte, die sich verbessert haben sind hellgrau unterlegt.

Tab. 1 Entwicklung des Plaque-Indexes

Material	Plaque-Index Baseline	Anzahl (%)	Plaque-Index nach 36 Monaten Anzahl (%)		
			0	1	2
PerioGlas® N=18	0	5 (27,8%)	5 (27,8%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	1	9 (50,0%)	7 (38,9%)	2 (11,1%)	0 (0,0%)
	2	4 (22,2%)	2 (11,1%)	0 (0,0%)	2 (11,1%)
ResolutXT® N=15	0	3 (20,0%)	3 (20,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	1	7 (46,7%)	4 (26,7%)	3 (20,0%)	0 (0,0%)
	2	5 (33,3%)	2 (13,3%)	3 (20,0%)	0 (0,0%)

Der Gingiva-Index (GI) gibt zusammen mit dem Wert BOP (Bleeding on Probing (Bluten nach Sondieren)) Information über den Entzündungsgrad.

In der nachfolgenden Tab. 2 sind die Werte noch einmal zusammengefasst. Verbesserte Werte sind hellgrau und verschlechterte Werte sind dunkelgrau hinterlegt.

Tab 2 Entwicklung des Gingiva-Indexes

Material	Gingiva-Index Baseline	Anzahl (%)	Gingiva-Index nach 36 Monaten Anzahl (%)		
			0	1	2
PerioGlas® N=18	0	11 (61,1%)	8 (44,4%)	3 (16,7%)	0 (0,0%)
	1	4 (22,2%)	3 (16,7%)	1 (5,6%)	0 (0,0%)
	2	3 (16,7%)	3 (16,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
ResolutXT® N=15	0	14 (93,3%)	8 (53,3%)	5 (33,3%)	1 (6,7%)
	1	1 (6,7%)	1 (6,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	2	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)

In Tab. 3 sind die entsprechenden Messungen zum Bluten nach Sondieren (BOP) bei Baseline und die Entwicklung der entsprechenden Werte in beiden Materialgruppen dargestellt. Auch hier zeigen sich im Laufe der 36 Monate bei fast allen Fällen Verbesserungen.

Tab. 3 Entwicklung de BOP-Indexes

Material	BOP Baseline	Anzahl (%)	BOP nach 36 Monaten Anzahl (%)	
			0	1
PerioGlas®	0	8 (44,4%)	6 (33,3%)	2 (11,1%)
	1	10 (55,6%)	7 (38,9%)	3 (16,7%)
ResolutXT®	0	9 (60,0%)	8 (53,3%)	1 (6,7%)
	1	6 (13,3%)	2 (13,3%)	4 (26,7%)

14 der mit PerioGlas® versorgten Furkationsbefällen zeigen einen Ausgangsdefekt Furkationsbefall Grad 2. Davon haben sich acht auf Grad 0 und sechs auf Grad 1 nach 36 Monaten verbessert. Von den vier versorgten Ausgangsdefekten mit Grad 3 konnte sich ein Fall klinisch auf Grad 0 verbessern, zwei auf Grad 2 und nur ein Fall zeigte auch nach 36 Monaten Grad 3.

In der Gruppe der mit ResolutXT® versorgten Furkationsbefälle verbesserten sich sieben Fälle von Grad 2 auf Grad 1 und vier Fälle zeigten bei einem Ausgangsdefekt Grad 3 nach 36 Monaten Grad 1.

Keiner der mit der Membran versorgten Defekte konnte klinisch messbar komplett verschlossen werden und 3 Fälle Grad 3 bleiben 36 Monate nach der OP unverändert. In Tab. 4 werden die Veränderungen der Furkationsbefälle in Abhängigkeit vom Ausgangbefund für jede Materialgruppe einzeln dargestellt. Verbesserte Befunde nach 36 Monaten wurden hellgrau unterlegt.

Tab. 4 Entwicklung des Furkationsbefalls

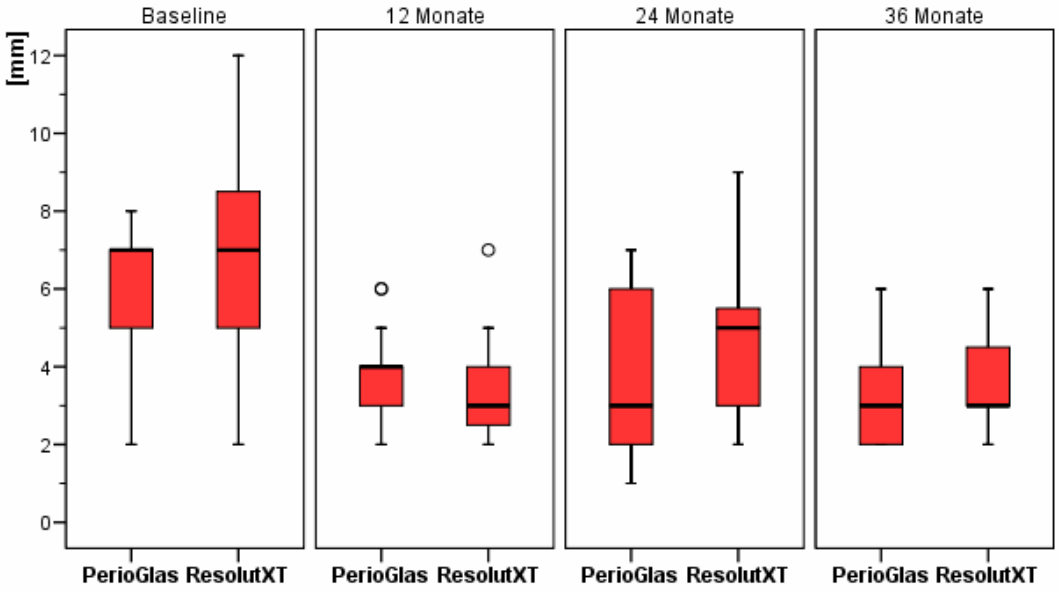
Material	Furkationsbefall Baseline	Anzahl (%)	Furkationsbefall nach 36 Monaten Anzahl (%)			
			0	1	2	3
PerioGlas® N=18	2	14 (77,8%)	8 (44,4%)	6 (33,3%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	3	4 (22,2%)	1 (5,6%)	0 (0,0%)	2 (11,1%)	1 (5,6%)
ResolutXT® N=15	2	8 (53,3%)	0 (0,0%)	7 (46,7%)	1 (6,7%)	0 (0,0%)
	3	7 (46,7%)	0 (0,0%)	4 (26,7%)	0 (0,0%)	3 (20,0%)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der PerioGlas®-Gruppe bei siebzehn Fällen (94,4%) eine klinische Verbesserung und sogar bei neun Fällen (50%) eine vollständige Defektauffüllung erzielt werden konnte. In der ResolutXT®-Gruppe zeigten insgesamt elf (73,4%) eine klinische Verbesserung um mindestens einen Grad, wobei jedoch keine vollständige Defektauffüllung erzielt werden konnte.

Um die beiden Materialien hinsichtlich der Entwicklung der Furkationsbefälle miteinander vergleichen zu können, wurden jeweils zwei Gruppen untersucht. Die Gruppe der operierten Furkationsbefälle, die sich im Verlauf der Studie verbessert hatten wurde mit der Gruppe verglichen, die sich nicht verändert hatte im Befund Furkationsbefall. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Materialien nachgewiesen werden (Exakter Test nach Fischer).

Die Erhebung der Sondierungstiefe (PD) gibt den klinisch gemessenen Abstand vom Gingivarand bis zum Taschenboden wieder. Bei beiden Materialgruppen wurde bei der Baseline-Untersuchung im Median eine Sondierungstiefe von 7mm und nach 36 Monaten 3mm gemessen. Einen Überblick über die Entwicklung der erhobenen Werte gibt die Abb. 16.

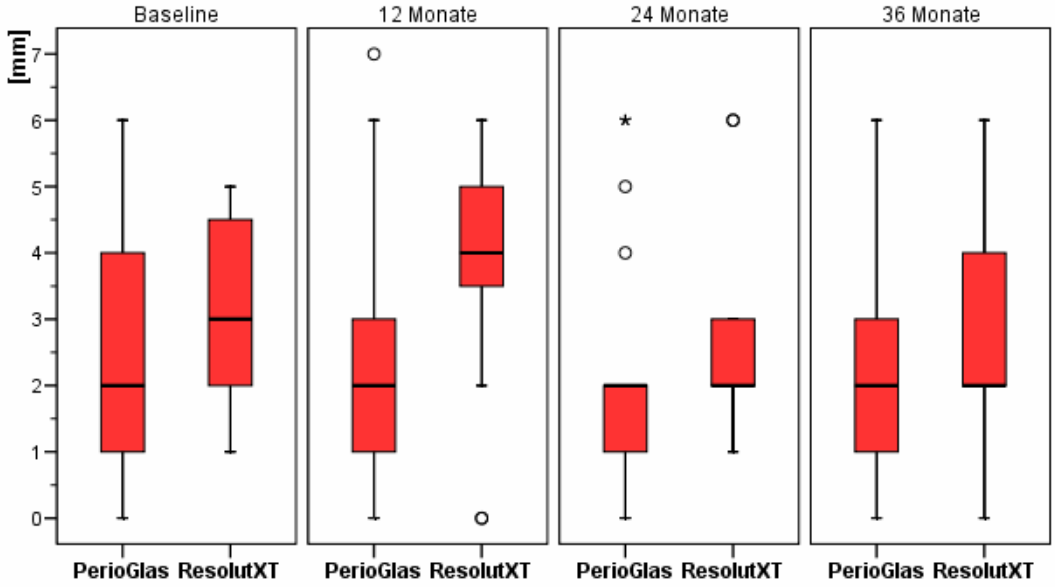
Abb. 16 Entwicklung der Sondierungstiefe



Die PerioGlas®-Gruppe weist im Median sowohl zur Baseline als auch nach 12, 24 und 36 Monaten eine Gingivale Rezession von 2mm auf. In der ResolutXT®-Gruppe finden wir zu Beginn der Studie eine Rezession von 3mm, der nach 12 Monaten bei 5mm und nach 24 und 36 Monaten bei 2mm liegt.

Abb. 17 zeigt die Entwicklung der gingivalen Rezession im Verlauf der Studie.

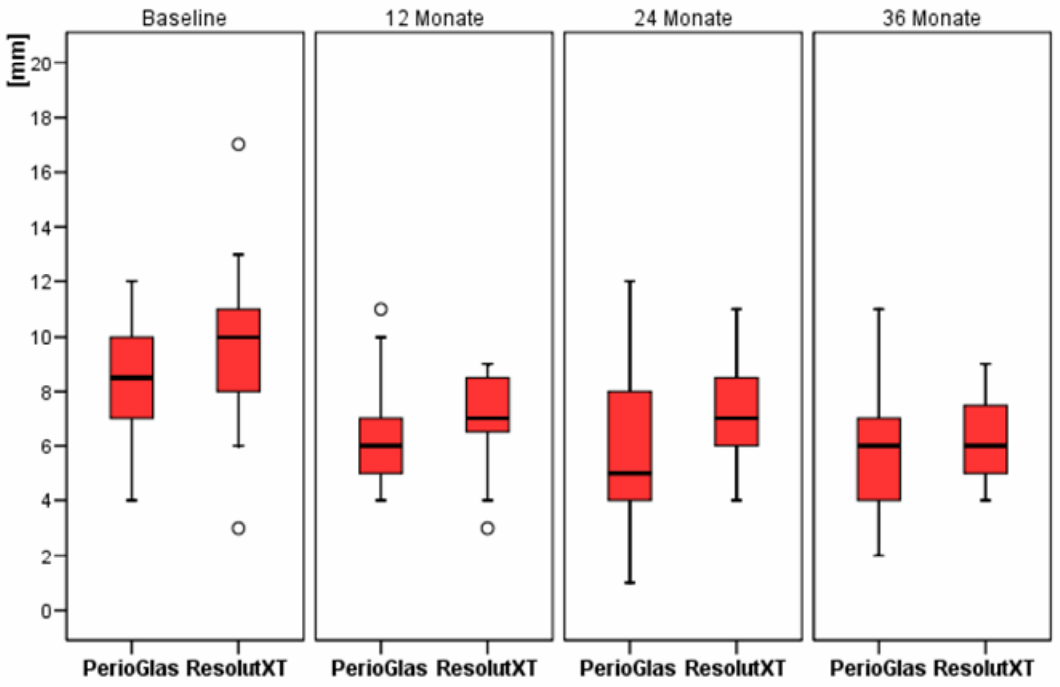
Abb. 17 Entwicklung der gingivalen Rezession



Ein wichtiger Wert, der sich aus den beiden Werten Gingivale Rezession (GR) und Sondierungstiefe (PD) errechnen lässt (siehe Kapitel 2.5), ist der klinische Attachmentlevel (CAL). Er beschreibt den Abstand von der Schmelz-Zement-Grenze zum Taschenboden. Da hier der unveränderbare Referenzpunkt der Schmelz-Zement-Grenze mit einbezogen wird, kann so am besten Aufschluß über die klinisch messbare Entwicklung des jeweils vorliegenden intraalveolären Defektes gegeben werden.

Der Median des klinischen Attachmentlevels liegt bei der PerioGlas®-Gruppe zu Beginn der Studie bei 8,5mm, nach 12 und 36 Monaten bei 6mm. Die ResolutXT®-Gruppe zeigt in der Baseline-Untersuchung einen Median von 10mm und nach 36 Monaten 6mm. Zur Veranschaulichung Abb. 18.

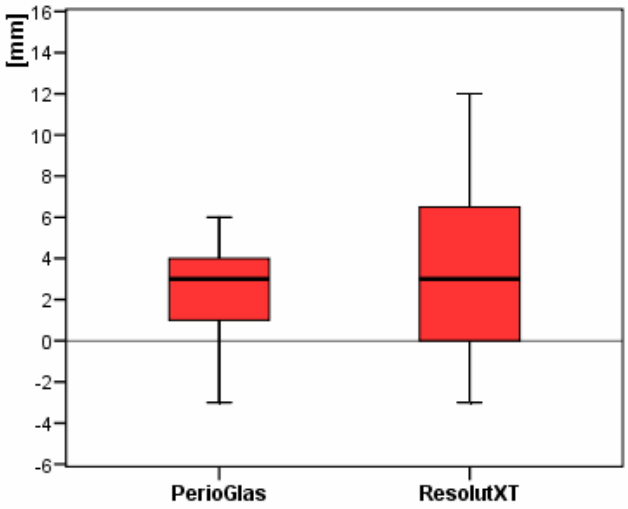
Abb. 18 Entwicklung des Klinischen Attachmentlevels



In beiden Materialgruppen liegt der Attachmentgewinn im Median bei 3mm. In der Gruppe der mit PerioGlas® operierten Defekte haben 50% der Fälle einen Attachmentgewinn von 1-4mm zu verzeichnen. Die ResolutXT®-Gruppe verteilt sich in 50% der Fälle auf einen Attachmentgewinn von 0-6,5mm.

Es folgt eine grafische Darstellung des Attachmentgewinns nach 36 Monaten

Abb. 19 Entwicklung des Attachmentgewinns nach 36 Monaten



In Bezug auf die Reduzierung der Sondierungstiefe, gingivale Rezession und klinischer Attachmentlevel konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden verwandten Materialien festgestellt werden (T-Test).

Die Entwicklung der Lockerungsgrade der Zähne aus beiden Materialgruppen der operierten Furkationsbefälle ist in Tab. 5 zu sehen.

Tab. 5 Entwicklung der Lockerungsgrade

Material	**Lockerungsgrad Baseline**	**Anzahl (%)**	**Lockerungsgrad nach 36 Monaten Anzahl (%)**		
			0	1	2
PerioGlas® N=18	0	6 (33,3%)	5 (27,8%)	1 (5,6%)	-
	1	11 (61,1%)	4 (22,2%)	7 (38,9%)	-
	2	1 (5,6%)	0 (0,0%)	1 (5,6%)	-
ResolutXT® N=15	0	5 (33,3%)	3 (20,0%)	2 (13,3%)	0 (0,0%)
	1	7 (46,7%)	6 (40,0%)	0 (0,0%)	1 (6,7%)
	2	3 (20,0%)	1 (6,7%)	2 (13,3%)	0 (0,0%)

Um die Entwicklung der Lockerungen während der Studie statistisch prüfen zu können, wurden die Ausprägungen „Verbesserung“, „keine Veränderung“ des Lockerungsgrades und „Verschlechterung“ des Lockerungsgrades während der Studie untersucht. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Materialien nachgewiesen werden (Chi-Quadrat-Test).

Abhängigkeit der Ergebnisse von bestimmten Faktoren

Die oben beschriebenen Ergebnisse sollen im Folgenden auf den Einfluss durch verschiedene Faktoren untersucht werden.

Zur Überprüfung des Behandlungserfolges in Bezug auf den Furkationsbefall wurden die Ausprägungen „keine Veränderung“ und „Verbesserung“ des Furkationsbefalls hinsichtlich des verwendeten Materials untersucht. Es konnte kein signifikanter Einfluss auf das Ergebnis Verbesserung des Furkationsbefalls zwischen den beiden Materialien nach 36 Monaten bei den Faktoren Geschlecht, Lage des Zahnes im Ober- oder Unterkiefer und hinsichtlich der Lage der Furkation am Zahn selbst (Fläche) gefunden werden (Exakter Test nach Fisher).

Ebenso konnte kein signifikanter Einfluss des verwendeten Materials auf die Verbesserung des Attachmentlevels gefunden werden (T-Test).

In der ResolutXT®-Gruppe konnte (vor Adjustierung) ein signifikanter Einfluss des Geschlechts der Studienteilnehmer auf den Erfolg hinsichtlich des Attachmentgewinns nachgewiesen werden. (T-Test: p=0,011 (CAL))

In der PerioGlas®-Gruppe konnte (vor Adjustierung) ein signifikanter Einfluss der Lage des Zahnes (Ober- oder Unterkiefer) auf den Erfolg hinsichtlich des Attachmentgewinns gefunden werden. (T-Test: p=0,018 (CAL))

Da sich nur zwei Raucher unter den Patienten befanden, ist eine statistische Analyse bezüglich des Einflusses auf das Studienergebnis nicht durchführbar.

Hinsichtlich des Einflusses der Mundhygiene- und Entzündungs-Indizes (Plaque-Index, Gingiva-Index und Bleeding on Probing) konnte kein signifikanter Einfluss in beiden Materialgruppen auf die Veränderung/Verbesserung des Furkationsbefalls nachgewiesen werden. (Exakter Test nach Fisher)

3.2. Ergebnisse der operierten intraalveolären Defekte

Die nachfolgende Tab. 6 gibt einen Überblick über den Plaque-Index im Verlauf der Studie. Verbesserte Werte sind hellgrau und verschlechterte Werte sind dunkelgrau unterlegt.

Tab. 6 Entwicklung des Plaque-Indexes

Material	Plaque-Index Baseline	Anzahl (%)	Plaque-Index nach 36 Monaten Anzahl (%)		
			0	1	2
PerioGlas® N=68	0	35 (51,5%)	34 (50%)	0 (0,0%)	1 (1,5%)
	1	25 (36,8%)	22 (32,4%)	1 (1,5%)	2 (2,9%)
	2	8 (11,8%)	7 (10,3%)	1 (1,5%)	0 (0,0%)
ResolutXT® N=15	0	8 (53,3%)	5 (33,3%)	3 (20%)	0 (0,0%)
	1	4 (26,7%)	1 (6,7%)	3 (20%)	0 (0,0%)
	2	3 (20%)	2 (13,3%)	1 (6,7%)	0 (0,0%)

Tab. 7 gibt eine kurze Übersicht über die Entwicklung des Gingiva-Indexes.

Tab. 7 Entwicklung des Gingiva-Indexes

Material	Gingiva-Index Baseline	Anzahl (%)	Gingiva-Index nach 36 Monaten Anzahl (%)		
			0	1	2
PerioGlas® N=68	0	21 (30,9%)	20 (29,4%)	1 (1,5%)	-
	1	32 (47,1%)	32 (47,1%)	0 (0,0%)	-
	2	12 (17,6%)	12 (17,6%)	0 (0,0%)	-
	3	3 (4,4%)	3 (4,4%)	0 (0,0%)	-
ResolutXT® N=15	0	10 (66,7%)	1 (6,7%)	1 (6,7%)	-
	1	3 (20%)	3 (20%)	0 (0,0%)	-
	2	2 (13,3%)	2 (13,3%)	0 (0,0%)	-

Der Wert BOP (Bleeding on Probing) beschreibt das Bluten nach Sondieren und dokumentiert die ersten Entzündungszeichen. Nachfolgende Tab. 8 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Werte im Verlauf der Studie.

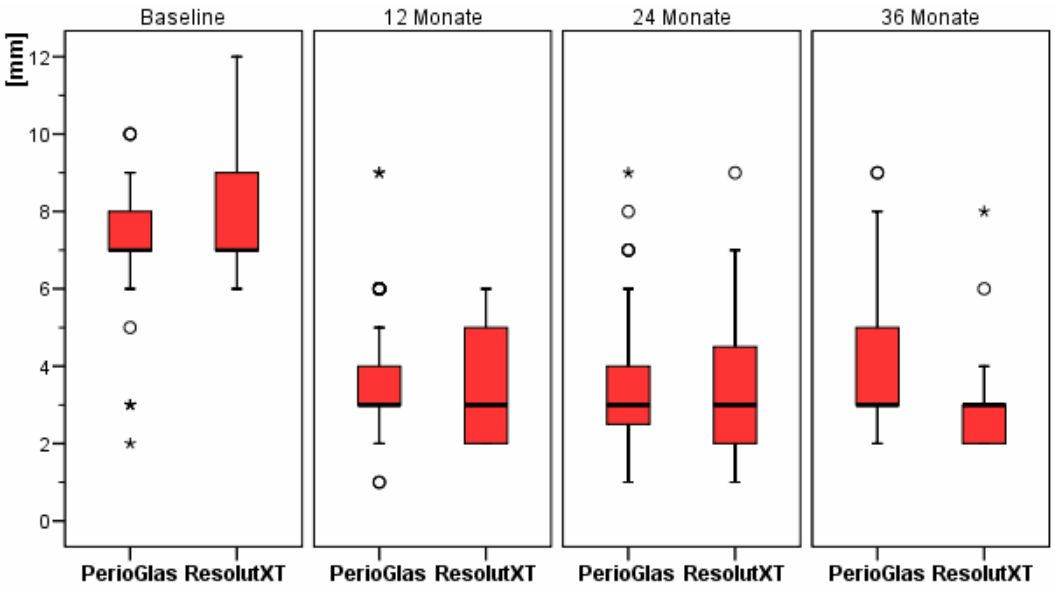
Tab. 8 Entwicklung des BOP-Indexes

Material	BOP Baseline	Anzahl (%)	BOP nach 36 Monaten Anzahl (%)	
			0	1
PerioGlas® N=68	0	44 (64,7%)	33 (48,5%)	11 (16,2%)
	1	24 (35,3%)	19 (27,9%)	5 (7,4%)
ResolutXT® N=15	0	6 (40%)	5 (33,3%)	1 (6,7%)
	1	9 (60%)	6 (40%)	3 (20%)

Als Sondierungstiefe (PD) bezeichnet man den Abstand vom klinisch sichtbaren Gingivarand zum Boden der Parodontaltasche. Man setzt dies auch mit dem Knochenboden des intraalveolären Defektes gleich.

Der Median der Sondierungstiefe liegt bei beiden Materialgruppen zu Beginn der Studie (BL) bei 7mm und nach 36 Monaten bei 3mm. Nachfolgende Abb. 20 gibt eine Übersicht über die Entwicklung der Sondierungstiefe.

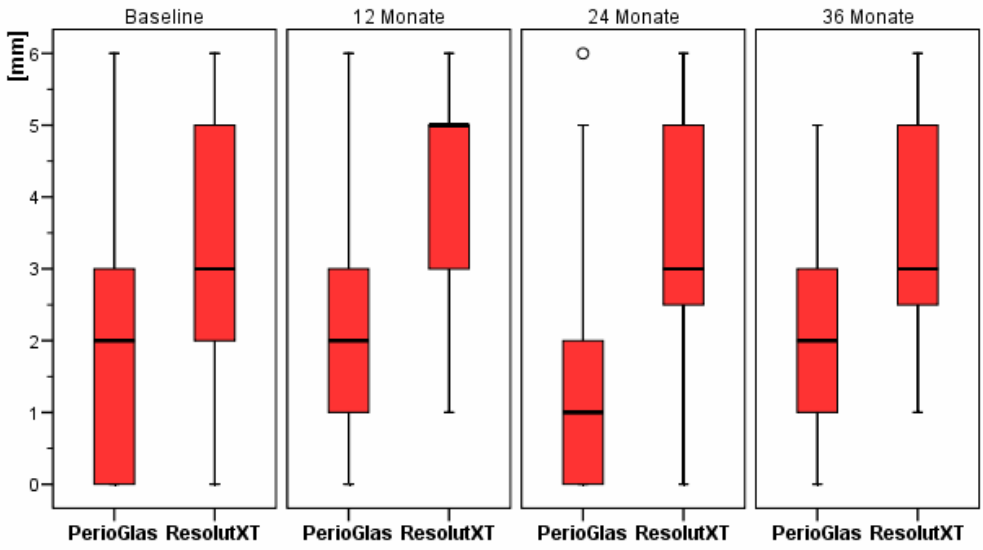
Abb. 20 Entwicklung der Sondierungstiefe



Die gingivale Rezession beschreibt den Abstand des Gingivarandes zur Schmelz-Zement-Grenze. Sie beschreibt die Verlängerung der klinischen Krone durch die Folgen einer Parodontitis mit Knochenverlust.

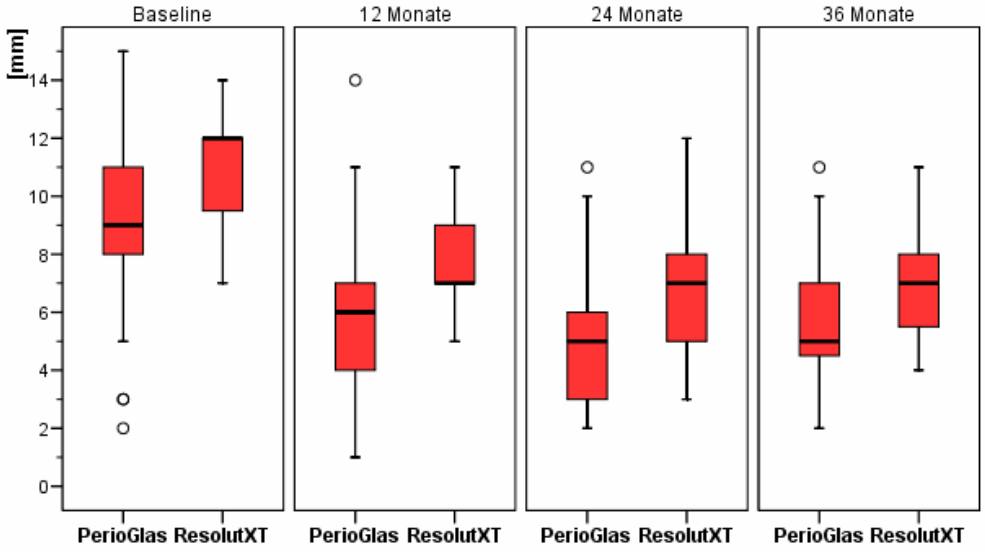
Die Abb. 21 zeigt die Entwicklung der Gingivalen Rezession im Verlauf der Studie.

Abb. 21 Entwicklung der Gingivalen Rezession



Der Median des Attachmentlevels der PerioGlas®-Gruppe lag bei der Baseline-Untersuchung bei 9 mm. 36 Monate postoperativ liegt dieser Wert bei 5 mm.
In der ResolutXT®-Gruppe liegt der Median präoperativ bei 12 mm und nach 36 Monaten bei 7 mm. In der nachfolgenden Abb. 22 kann die Entwicklung des Klinischen Attachmentlevels betrachtet werden.

Abb. 22 Entwicklung des Klinischen Attachmentlevels



Nachfolgend wird die Reduzierung des Attachmentlevels, der gingivalen Rezession und der Sondierungstiefe aller Flächen beider Materialgruppen im Einzelnen betrachtet. 50% der mit PerioGlas® operierten Flächen zeigen eine Reduktion des Attachmentlevels von 3-5mm. 25% liegen zwischen 0 und 3mm Attachmentgewinn und 25% zwischen 5 und 7mm.

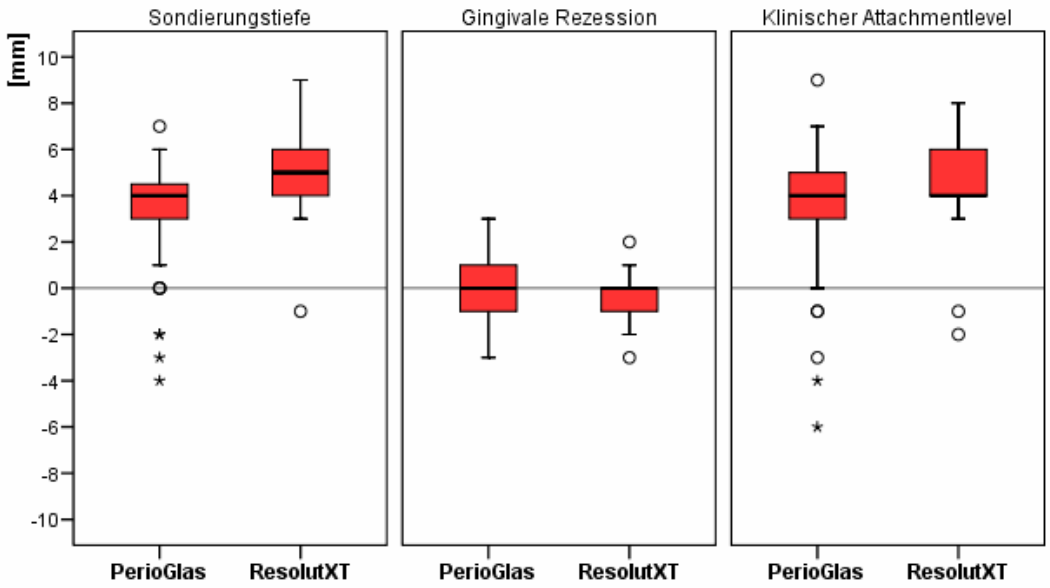
Der Median liegt in beiden Materialgruppen bei 4mm Attachmentgewinn nach 36 Monaten.

In der mit ResolutXT® versorgten Gruppe verteilen sich 50% der Attachmentgewinne auf 4 bis 6mm. 25% der Flächen weisen einen Attachmentgewinn von 3-4mm auf und 25% von 6-8mm.

Die Reduzierung der Sondierungstiefe beträgt in der PerioGlas®-Gruppe im Median 4mm. Hier liegen 50% aller Reduzierungen zwischen 3 und 4,5mm. 25% der Flächen weisen eine Verringerung der Sondierungstiefe zwischen 4 und 6mm auf, weitere 25% zwischen 1 und 3mm. In der ResolutXT®-Gruppe reduzieren sich 50% der Sondierungstiefen zwischen 4 und 6mm, wobei der Median bei 5mm liegt. 25% der Werte zeigen eine Reduzierung die zwischen 6 und 9mm liegen, sowie weitere 25% zwischen 3 und 4mm.

Die gingivale Rezession zeigt im Median in beiden Gruppen keine Veränderung, er liegt bei 0. Abb. 23 zeigt die Entwicklung der Werte.

Abb. 23 Erfolg Sondierungstiefe, Gingivale Rezession, Attachmentlevel nach 36 Monaten



Der Vergleich der Materialien in Bezug auf die Faktoren Reduzierung der Sondierungstiefe und der Gingivalen Rezession und Attachmentgewinn ergab (vor Adjustierung) einen signifikant höheren Erfolg in der ResolutXT®-Gruppe hinsichtlich der Reduzierung der Sondierungstiefe (U-Test, p=0,010).

In Tab. 9 ist die Veränderung des Lockerungsgrades in beiden Materialgruppen von der Baseline-Untersuchung und 36 Monate post OP dargestellt.

Es konnte in Bezug auf die Veränderung des Lockerungsgrades zusammengefasst in den Ausprägungen „keine Veränderung/Verschlechterung“ und „Verbesserung“ kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Materialien nachgewiesen werden (Chi-Quadrat-Test).

Tab. 9 Entwicklung des Lockerungsgrades

Material	Lockerungsgrad Baseline	Anzahl (%)	Lockerungsgrad nach 36 Monaten Anzahl (%)		
			0	1	2
PerioGlas® N=68	0	33 (48,5%)	21 (30,9%)	12 (17,6%)	0 (0,0%)
	1	19 (27,9%)	12 (17,6%)	6 (8,8%)	1 (1,5%)
	2	16 (23,5%)	0 (0,0%)	14 (20,6%)	2 (2,9%)
ResolutXT® N=15	0	6 (40%)	5 (33,3%)	0 (0,0%)	1 (6,7%)
	1	3 (20%)	2 (13,3%)	0 (0,0%)	1 (6,7%)
	2	6 (40%)	3 (20%)	2 (13,3%)	1 (6,7%)

Die Furkationsbeteiligungen konnten in den Gruppen der operierten intraalveolären Defekte nur eingeschränkt beobachtet werden, da sich nicht alle operierten Flächen an Zähnen befinden, die auch Furkationen aufweisen. So reduzierte sich hier die auszuwertende Fallzahl auf neun mit PerioGlas® versorgte Flächen und vier mit ResolutXT® versorgte Flächen. Acht Flächen waren in der PerioGlas®-Gruppe bei der Baseline-Untersuchung ohne Furkationsbefall gemessen worden. In Tab. 10 werden die erhobenen Werte dargestellt. Die negativ entwickelten Werte dunkelgrau unterlegt.

Tab. 10 Entwicklung des Furkationsbefalls

Material	Furkationsbefall Baseline	Anzahl (%)	Furkationsbefall nach 36 Monaten Anzahl (%)			
			0	1	2	3
PerioGlas® N=9	0	8 (88,9%)	6 (66,7%)	1 (11,1%)	-	1 (11,1%)
	1	1 (11,1%)	0 (0,0%)	1 (11,1%)	-	0 (0,0%)
ResolutXT® N=4	0	2 (50,0%)	1 (25,0%)	1 (25,0%)	-	-
	2	2 (50,0%)	0 (0,0%)	2 (22,2%)	-	-

Abhängigkeit der Ergebnisse von bestimmten Faktoren

Eine Untersuchung hinsichtlich der Abhängigkeit der Ergebnisse von Geschlecht und Alter der Patienten zeigt keine auffälligen Ergebnisse. Die Lage des Zahnes (Kiefer) hatte keinen Einfluss auf das Ergebnis des erzielten Attachmentgewinns nach 36 Monaten (U-Test). Auch für die operierte Fläche am Zahn konnte kein Einfluss auf den Erfolg des reduzierten Attachmentlevels in beiden Materialgruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-Test).

Bei den Mundhygiene-Indizes wurde nur auf eine Abhängigkeit des Attachmentgewinns nach 36 Monaten getestet.

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Verbesserung des Plaque-Indexes (PI-Erfolg) auf die Reduzierung des Attachmentlevels (CAL-Erfolg) (U-Test, p=0,033).

Es konnte kein Einfluss der Werte GI-Index und Bluten nach Sondieren auf den CAL-Erfolg nachgewiesen werden (U-Test).

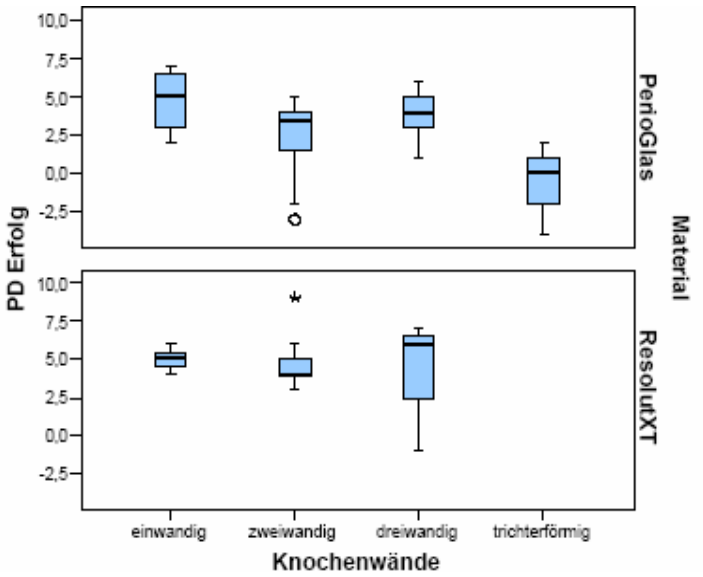
Bei beiden verwendeten Materialien ist kein signifikanter Unterschied im Ergebnis Reduzierung von Sondierungstiefe, gingivale Rezession und Attachmentlevel in Bezug auf die Art des Ausgangsknochendefektes (vertikal oder vertikal und horizontal) nachweisbar (U-Test).

In der PerioGlas®-Gruppe konnte ein Einfluss der Knochenwandigkeit des Ausgangsdefektes auf das Ergebnis Erfolg bei Sondierungstiefe, gingivaler Rezession und Attachmentlevel nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-Test).

Die dreiwandigen Defekte waren signifikant besser im Ergebnis Erfolg bei Sondierungstiefe als die trichterförmigen Defekte (multiple paarweise Vergleiche

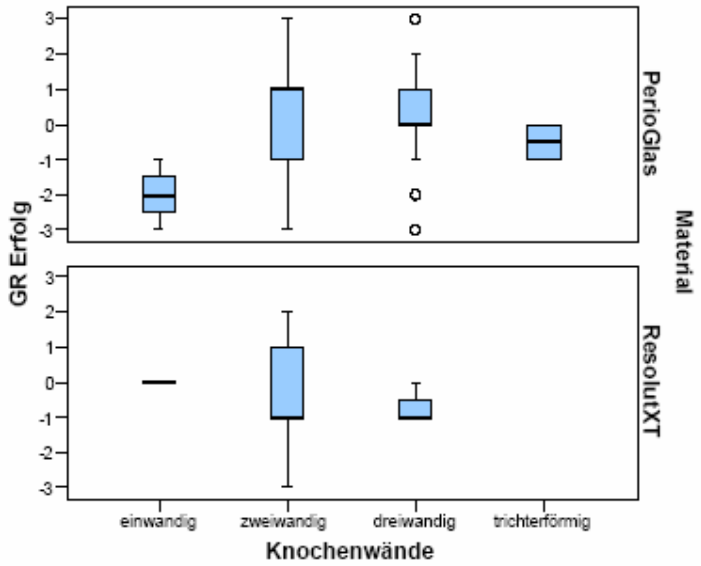
nach Dunn: p=0,006). Die einwandigen Defekte zeigten signifikant bessere Ergebnisse als die trichterförmigen Defekte (p=0,021) und die dreiwandigen Defekte waren signifikant besser als die zweiwandigen Defekte (p=0,040). Abb. 24 gibt einen Überblick über die Verteilung der Werte.

Abb. 24 **Verteilung der Reduzierung der Sondierungstiefe auf die Ausgangsdefekte der Anzahl der Knochenwände und Materialien**



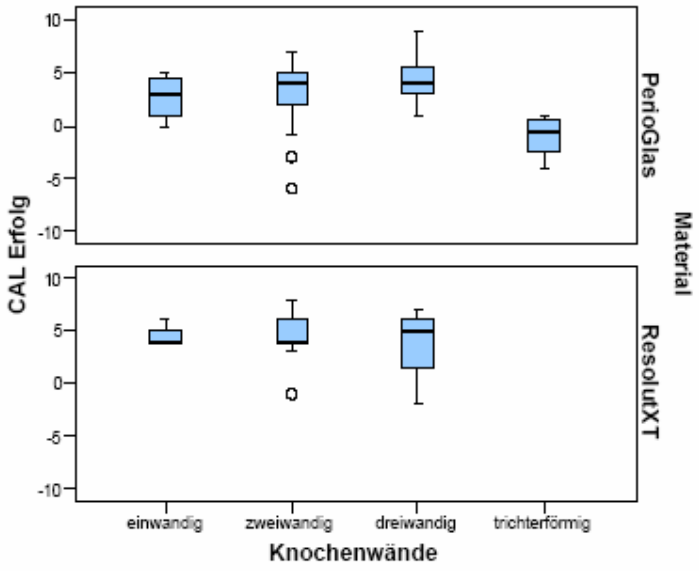
Bei der Reduzierung der gingivalen Rezession zeigen die einwandigen Ausgangsdefekte signifikant schlechtere Werte nach 36 Monaten als die zwei- und dreiwandigen Defekte (p=0,031). Die Darstellung erfolgt in Abb. 25.

Abb. 25 **Verteilung der Reduzierung der Gingivalen Rezession auf die Ausgangsdefekte der Anzahl der Knochenwände und Materialien**



Die Reduzierung des Attachmentlevels nach Monaten zeigt signifikant verbesserte Werte bei den dreiwandigen im Vergleich zu den trichterförmigen Defekten (p=0,005) in der PerioGlas®-Gruppe. Abb. 26 zeigt die Entwicklung des Attachmentlevels.

Abb. 26 **Verteilung der Reduzierung des Attachmentlevels auf die Ausgangsdefekte der Anzahl der Knochenwände und Materialien**



3.3. Röntgenuntersuchungen

In der Gruppe der operierten intraalveolären Defekte wurden prä- und postoperativ Röntgenbilder zur Verlaufskontrolle angefertigt. Da es sich um eine zweidimensionale Darstellung der Zähne in mesio-distaler Richtung handelt, konnten nur die mesial und distal liegenden Defekte röntgenologisch beobachtet werden. Hinzu kommt die besonders schwierige notwendige parallele Positionierung des Filmes im Oberkiefer aufgrund der anatomischen Gegebenheiten. So konnten insgesamt 38 von 68 Fälle der mit PerioGlas® operierten Fälle und 12 der 15 mit ResolutXT® operierten Fälle beurteilt und vermessen werden. Die dargestellten Werte in mm sind die tatsächlich gemessenen Strecken auf den Röntgenbildern. Es können daher nur die Differenzen der Werte zueinander oder in der prozentualen Entwicklung auf die Zähne klinisch übertragen werden. So werden Verkürzungen und Verlängerungen der Strecken entsprechend (▲▼XX%) dargestellt.

In der PerioGlas®-Gruppe verkürzt sich die Strecke Schmelz-Zement-Grenze zur Crista alveolaris im Median von 5mm auf 4,48mm von der Baseline bis 36 Monate postoperativ (▼10,4%). In der ResolutXT®-Gruppe ist hier eine Erhöhung des Medians von 5,23mm auf 6mm zu beobachten (▲14,7%).

Die Strecke Schmelz-Zement-Grenze bis zum Defektboden ist in der PerioGlas®-Gruppe im Median von 8,2mm auf 6,25mm gesunken (▼23,8%). In der Gruppe ResolutXT® ist hier wiederum ein Anstieg im Median von 10,85mm auf 11,6mm zu erkennen (▲6,9%).

Eine deutliche Streckenverkürzung ist in beiden Materialgruppen bei der Messung Crista alveolaris zum Defektboden zu sehen. In der PerioGlas®-Gruppe reduziert sich die Strecke im Median von 3,08mm auf 1,95mm (▼36,7%) und in der ResolutXT®-Gruppe von 4,2mm auf 1,38mm (▼67,1%).

Zusätzlich wurde die Strecke Crista alveolaris zum Zahn gemessen, die sich in der PerioGlas®-Gruppe im Median von 1,93 auf 0,8mm reduzierte (▼58,5%) und in der ResolutXT®-Gruppe von 1,43mm auf 0,48mm (▼66,4%).

In Tab. 11 im Anhang wurden zur besseren Übersicht im Median Streckenveränderungen positiv hellgrau und negativ dunkelgrau hinterlegt.

Tab. 11 Ergebnisse der Röntgenbildvermessungen

Material	Wert	SZG-CABL	SZG-CA36	SZG-DBBL	SZG-DB36	CA-DBBL	CA-DB36	Z-CABL	Z-CA36
PerioGlas® N=38	Mittelwert	5,53	4,82	9,18	6,95	3,68	2,08	1,78	1,00
	Standardabweichung	2,14	2,33	3,31	2,92	2,53	1,28	1,32	0,86
	Minimum	1,65	1,45	4,95	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximun	10,40	9,45	16,90	15,00	10,00	5,60	4,65	3,40
	25. Perzentil	4,00	2,88	6,29	4,64	1,79	1,24	0,40	0,30
	Median	5,00	4,48	8,20	6,25	3,08	1,95	1,93	0,80
	75. Perzentil	6,95	6,86	11,08	9,05	5,20	2,57	2,60	1,42
ResolutXT® N=12	Mittelwert	6,49	7,57	10,90	10,02	4,56	2,46	1,51	0,99
	Standardabweichung	3,59	2,89	3,72	3,32	3,01	2,55	1,28	1,34
	Minimum	1,15	3,75	6,45	5,35	1,00	0,00	0,00	0,00
	Maximun	12,25	12,10	16,55	14,95	11,50	7,90	3,65	4,20
	25. Perzentil	4,70	5,20	6,93	6,76	2,48	0,23	0,43	0,08
	Median	5,23	6,80	10,85	11,60	4,20	1,38	1,43	0,48
	75. Perzentil	10,12	10,20	14,47	12,56	5,31	4,45	2,73	1,40

3.4. Ergebnisse im Vergleich zu unbehandelten Referenzzähnen

Die Veränderungen der Sondierungstiefe, des Attachmentlevels, der gingivalen Rezession und des Lockerungsgrades beider Patientengruppen wurden mit den klinischen Messungen an je einem nicht behandelten Referenzzahn der Patienten verglichen. Die klinischen Messungen wurden in Bezug auf das verwendete Material verblindet durchgeführt. Da die vergleichbaren Zähne der kontralateralen Kieferseite sowie der ipsilateralen Antagonisten in mehreren Fällen entweder ebenfalls zur Therapie vorgesehen waren oder im Operationsgebiet lokalisiert waren, wurde als unbehandelter Referenzzahn der obere linke Schneidezahn ausgewählt.

Es konnte in beiden Patientengruppen (Furkationsbefälle und intraalveoläre Defekte) keine signifikante Veränderung der Werte Sondierungstiefe, gingivale Rezession und Attachmentlevel im Verlauf der Studie nachgewiesen werden (Wilcoxon-Test).

Auch für die Werte Plaque-Index, Gingiva-Index, Bluten nach Sondieren konnte bei keinem Patienten beider Studiengruppen eine signifikante Veränderung im Verlauf der Studie nachgewiesen werden (Mc-Nemar-Test).

4. Diskussion

4.1. Diskussion der Methode

Studiendesign und Fallselektion

Da in früheren klinischen Studien bereits hinreichend gezeigt werden konnte, dass sowohl die resorbierbare Membran Resolut (Cortellini et al. 1996b) als auch das bioaktive Glas PerioGlas (Zamet et al. 1997, Froum et al. 1998) gegenüber der reinen Lappenoperation signifikant bessere Behandlungsergebnisse zeigten, wurde aus ethischen Gründen auf eine nochmalige Darstellung dieses Sachverhaltes verzichtet.

Zum Vergleich von zwei Therapieformen werden im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen Halbseitenstudien durchgeführt (engl. split-mouth study). Durch die kontralaterale Anwendung der beiden Behandlungsverfahren an symmetrischen Läsionen in einer Mundhöhle sollen patientenspezifische Faktoren wie z.B. Mundhygiene oder Rauchen relativiert werden. Die Verschiedenartigkeit der gegenüberliegenden Defekte bezüglich ihrer Lokalisation oder Morphologie ist in den meisten Fällen jedoch so beträchtlich, dass ein direkter Seitenvergleich verhindert wird. Dieser Umstand erschwert letztlich die Auswahl einer genügend großen Patientenzahl erheblich. So wurde in der vorliegenden Untersuchung für jede der beiden Defektarten ein einfacher Gruppenvergleich durchgeführt. Es konnte so eine wesentlich größere Anzahl von operierten Defekten in die statistische Analyse einbezogen werden.

Die intraindividuelle Reliabilität der durchgeführten klinischen Messungen sollte vor Beginn der Studie durch Kalibrierung des Untersuchers verbessert werden. Eine recht gute Zuverlässigkeit der eigenen Messungen kann letztlich durch die parallel durchgeführten Untersuchungen der nicht behandelten Referenzzähne angenommen werden, da die ebenfalls verblindet gemessenen Parameter über einen Zeitraum von 36 Monaten erwartungsgemäß nahezu konstant blieben. Auch *Baderstein et al.* kamen 1984 zu übereinstimmenden Ergebnissen. Die Autoren konnten in ihrer Studie zur Reproduzierbarkeit von Messungen des Attachmentlevel zeigen, dass die Messergebnisse in 90% der Fälle weniger als 1mm voneinander abweichen.

Direkt vor Beginn des chirurgischen Eingriffs wurde nach dem Zufallsprinzip durch das Werfen einer Münze die Entscheidung getroffen, welches Material (bioaktives Glas oder Membran) verwendet werden sollte. Diese Methode wurde bereits von anderen Autoren praktiziert, wie z.B. *Froum et al.* (1998) oder *Lovelace et al.* (1998).

Die Aufteilung der beiden Materialien auf die behandelten 33 Defektflächen der Furkationsbefälle ergab fast die gewünschte Gleichverteilung (18 PerioGlas, 15 Resolut XT). Die Aufteilung der beiden Materialien auf die behandelten 83 intraalveolären Defektflächen sah hingegen anders aus (68 PerioGlas, 15 Resolut). Um eine hinreichend gleichmäßige Verteilung auch bei geringeren Fallzahlen mit einiger Sicherheit zu gewährleisten, sollten daher Randomisierungsverfahren zur Anwendung kommen. So könnte den Patienten per Losverfahren eine zuvor festgelegte Verteilung zugeordnet werden, beispielsweise durch eine entsprechende Anzahl von kodierten Zetteln, die jeweils vor der Operation zufällig gezogen werden (*Ong et al. 1998*). Dann sollte vor Beginn der Studie allerdings die Anzahl der Patienten und der zu operierenden Fälle genau vorliegen. Das hat zur Folge, dass innerhalb eines bestimmten Zeitraumes alle Fälle ausgewählt werden müssen, was auch im klinischen Praxisalltag als schwierig erscheint, da dies geringere Fallzahlen zur Folge hätte. Der Zeitraum zur Auswahl der Testpersonen umfasste in unserem Fall über ein Jahr. Somit stand zu Beginn keine genaue Fallzahl fest, was beim Auswahlverfahren der Materialien für die angewendete Methode spricht.

Als weitere Einschränkung der vorliegenden Studie werden die vorhandenen Ungleichmäßigkeiten in der Fallselektion zwischen den beiden Materialgruppen in der jeweiligen Behandlungsgruppe betrachtet. Eine randomisierte, aber zugleich kontrollierte Aufteilung der Fälle bezüglich wichtiger Einflussvariablen (z.B. präoperative Defektmorphologie, Alters- und Geschlechtsverteilung, Mundhygienegewohnheiten, usw.) erscheint in der praktischen Durchführung ebenfalls problematisch.

Des Weiteren sollte man berücksichtigen, dass einige der lediglich klinisch zu beobachtenden Zusammenhänge durch eine größere Fallzahl oder längere

Studiendauer möglicherweise einen statistisch signifikanten Grad erreicht hätten.
Zur Erhöhung der Objektivität der eigenen Ergebnisse wurde eine Verblindung des Untersuchers zum Zeitpunkt der klinischen und radiologischen Datenerhebungen gegenüber den vorangegangenen Messungen bzw. gegenüber dem eingesetzten Material durchgeführt.
Um auch die Langzeitstabilität der erzielten Behandlungsergebnisse zu untersuchen, wurden die Ergebnisse über einen Zeitraum von 3 Jahren validiert.

Methodik der Testverfahren

Da das Ziel jeder regenerativen Parodontalbehandlung die völlige Wiederherstellung des zerstörten Gewebes in seine ursprüngliche Form und Funktion ist, sollte zur vollständigen Beurteilung des Behandlungserfolges eine histologische Untersuchung des behandelten Zahnes und der umliegenden Weichgewebe erfolgen. Diese Untersuchungsmethode wird auch als „Gold-standard“ bezeichnet, da nur so der vollständige Beweis der parodontalen Regeneration erbracht werden kann. Eine solche Untersuchung setzt die Entfernung der Gewebe aus der Mundhöhle voraus, was jedoch bei einer randomisierten klinischen Studie am Menschen nicht möglich ist und somit auch nicht durchgeführt wurde.
Nur in seltenen Ausnahmefällen ist eine histologische Aufbereitung der Gewebe in einer humanen Studie möglich, daher bedient man sich in der Parodontologie zum Nachweis der Therapieeffektivität meist sog. Surrogatvariablen (Ersatzvariablen). Für die klinische Beurteilung einer regenerativen Parodontitistherapie gelten folgende Variablen als Hauptzielkriterien: 1. direkte Messungen von Knochenveränderungen nach erneuter Lappenmobilisation unter direkter Sicht (engl. reentry) oder durch eine Knochensondierung unter Lokalanästhesie mit einer spitzen Sonde durch die Schleimhaut hindurch. 2. indirekte Messungen der Knochenveränderungen durch Röntgenaufnahmen und 3. eine nichtinvasive Beurteilung der weichgewebigen Heilung durch

Erhebung von Sondierungsparametern wie Attachmentlevel, Sondierungstiefe und Furkationsbefall.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zum Nachweis des Therapieerfolges einerseits die Knochengewebsveränderungen durch standardisierte Röntgenbilder nach 12,24 und 36 Monaten ermittelt andererseits die Heilungsvorgänge der Weichgewebe durch die Messung von Attachmentlevel, Sondierungstiefe, gingivaler Rezession und Furkationsbeteiligungen nach 12, 24 und 36 Monaten dokumentiert. Ein rein diagnostisch motivierter Zweiteingriff (Reentry-Operation) wurde zur Schonung der neu gebildeten Gewebe unterlassen.

Für die Gruppe der operierten intraalveolären Defekte zur Untersuchung verwendeten Parameter (Attachmentlevel, Sondierungstiefe und gingivale Rezession) entsprechen den jüngsten Empfehlungen zum Studienaufbau von Untersuchungen zur regenerativen Parodontaltherapie von *Eickholz & Ratka-Krüger* (2001). Auch *Tonetti et al.* (1993b) bestätigen die gewählten Nachweismethoden. Aus ihrer methodologischen Studie folgerten die Autoren, dass die Erhebung des klinischen Attachmentlevel und die lineare Vermessung von Röntgenbildern als diagnostische Methoden zur Evaluation der Behandlungsergebnisse nach regenerativer Therapie von vertikalen Defekten geeignet und zweckmäßig sind.

Die operierten Furkationsbeteiligungen wurden ausschließlich anhand der Daten für Sondierungstiefe, dem klinischen Attachmentlevel, der gingivalen Rezession und dem Furkationsbefall beurteilt. Der Verzicht auf weitere Verfahren zum Nachweis neu gebildeter Gewebe sei im Folgenden erläutert.

Die Beurteilung einer Furkationsbeteiligung mit Hilfe einer Sonde als alleiniger diagnostischer Methode, wie in der vorliegenden Studie vorgenommen, erscheint bezüglich der Befundung diffizil. Es kann mit diesem Verfahren nicht mit letzter Sicherheit belegt werden, dass der knöcherne Defekt in all seinen Dimensionen beurteilt werden kann und so korrekte Werte für die präoperative sowie postoperative Furkationsbeteiligung miteinander verglichen wurden. Ebenso scheint die Beurteilung eines Attachmentgewinns durch alleiniges Messen mit einer Sonde schwierig. So kann z.B. ein klinischer Attachmentgewinn nicht nur durch echte parodontale Regeneration, sondern auch

durch ein langes Saumepithel mit oder ohne knöcherne Defektauffüllung, hervorgerufen werden. Des Weiteren wird die Bedeutung der Reduktion der Sondierungstiefen von verschiedenen Autoren unterschiedlich interpretiert. Allgemein wird die Aussage akzeptiert, dass Verringerungen der Taschentiefen einen Hinweis auf eine Besserung der Entzündung geben, da neu gebildetes Kollagen das Gewebe gegen Penetration widerstandsfähiger mache (*Listgarten* 1980). Jedoch zeigt er in dieser Studie auch, dass die Sondierungstiefe einer entzündlich veränderten Tasche um rund 0,3 mm bis 0,5 mm größer ist als bei gesunden Verhältnissen. Der Grund liegt in einer apikalen Penetration der Sondenspitze durch den entzündlich aufgelockerten Epithelansatz hindurch. Das nach einer Therapie entzündungsfreie und eben gefestigte Gewebe bietet der Sondenspitze einen größeren Widerstand und verhindert die Penetration. Hierdurch kann eine real nicht vorhandener Attachmentgewinn suggeriert werde. Dieser Punkt zwingt letztlich auch zu einer Relativierung der durch Taschen-sondierung gewonnenen Messergebnisse im Zuge einer jeden Parodontal-therapie. Ob jedoch reduzierte Sondierungstiefen nach der GTR-Behandlung als Zeichen einer parodontalen Regeneration betrachtet werden dürfen wird kontrovers diskutiert (*Schroeder* 1992).

Die radiologische Untersuchung der vertikalen Defekte postoperativ gibt zumindest einen Hinweis auf die parodontale Regeneration, da diese mit der knöchernen Defektauffüllung korreliert. Zur Beurteilung der Auffüllung der knöchernen Defekte bei Furkationsbeteiligungen ist jedoch auch die einfache radiologische Untersuchung aufgrund von Überlagerungseffekten ungeeignet. In unserer Studie wurde das Ausmaß des Defektes nicht in mm-Angaben beschrieben, sondern es erfolgte eine Einteilung der Messangaben in drei Graden. So wurden mitunter einzelne Furkationsbefälle, die sich in ihren Dimensionen sehr voneinander unterschieden mit der gleichen Gradeinteilung bewertet. Trotz scheinbar gleicher Defektgröße wiesen sie unterschiedliche Behandlungserfolge auf. Eine Darstellung der Defekte mittels einer dreidimensionalen Schichtaufnahme könnte das jeweilige Ausmaß der Erkrankung genauer erfassen. Die Rechtfertigung einer solch umfangreichen Strahlen-

belastung und kostenintensiven Diagnostik alleine zu Studienzwecken fällt jedoch schwer und sollte daher auf andere Indikationen beschränkt sein.
Allerdings könnte das in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnende DVT (Digitale Volumentherapie) durch die geringere Strahlenbelastung und die sehr hohe Detailgenauigkeit eine zuverlässige Alternative bieten, das durch die Möglichkeit der dreidimensionalen Bildgebung und nur einer durchschnittlichen Abweichung von <0,2mm sehr gute Ergebnisse liefert *Mengel et al.* 2005).
Die klinischen und radiologischen Parameter wurden nach 12, 24 und 36 Monaten erhoben. Für die manuell durchgeführten Messungen wurde eine standardisierte graduierte Parodontalsonde (Plast-o-Probe, Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Schweiz) verwendet.
Messergebnisse von manuellen Sondierungen werden von einigen Faktoren beeinflusst. Der Sondendruck, die Lokalisation und Angulation der Sonde in der parodontalen Tasche sowie der marginale Entzündungszustand spielen bei der Reproduzierbarkeit des Verfahrens eine große Rolle. Bei konsekutiven Messreihen wird daher versucht, die genannten Faktoren weitgehend konstant zu halten. Das Ziel ist eine möglichst geringe Abweichung der Messergebnisse von der anatomischen Realität. So sollten die Messungen – wie in dieser Untersuchung – mit standardisierten Parodontalsonden von einheitlicher Graduierung vorgenommen werden.
Die Versuche auch den Sondierungsdruck zu standardisieren führten zur Entwicklung von einfachen oder elektronischen druckkontrollierten Sondensystemen. Die bisherigen Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit dieser Systeme zeigen jedoch recht unterschiedliche Ergebnisse. Während *Wang et al.* (1995) und *Mayfield et al.* (1996) bei erfahrenen und kalibrierten Untersuchern eine signifikant höhere intra- und interindividuelle Reproduzierbarkeit bei manueller Sondierung als bei Verwendung druckkalibrierter Systeme feststellen konnten, beobachteten *Magnusson et al.* (1988), dass ein elektronisches Sondensystem (Florida-Probe, Florida Probe Corp., Gainesville, FL, USA) den manuellen Messungen überlegen ist. Eine abschließende Beantwortung dieser Fragestellung steht demnach noch aus.

Als praktische Vorteile der elektronischen Systeme sieht ein Autor die höhere Messgenauigkeit von bis zu 1/10 mm sowie die Vermeidung von Ablese- oder Dokumentationsfehlern durch die direkte Datenübertragung zum Computer an (*Gibbs et al.* 1988).

Durch die Verwendung von individuellen okklusalen Referenzschienen, z.B. aus Kunststoff, konnte *Clark et al.* (1987) eine signifikante Verringerung des Messfehlers beobachten. Durch Markierungen im Bereich des Schienenrandes können nicht nur reproduzierbare Referenzmarken für die vertikalen Messungen, sondern auch wieder auffindbare Sondierungsstellen erzeugt werden. Es ist allerdings zu beachten, dass es durch neu angefertigte Restaurationen oder Zahnwanderungen während des Untersuchungs-Zeitraumes zu Passungenauigkeiten kommen kann, die den Verlust der Referenzpunkte zur Folge haben können. Vorangegangene Messreihen können so wertlos werden. Auch ist der erhöhte apparative und zeitliche Aufwand bei der Herstellung und Anwendung der Schienen zu berücksichtigen. Aus den genannten Gründen wurden in der vorliegenden Untersuchung keine künstlichen sondern anatomischen Referenzpunkte gewählt.

Statistische Auswertung

In der statistischen Analyse wurden der arithmetische Mittelwert und der Median als Lageparameter der Verteilungen gewählt. Ihre Anwendung ist zur Beschreibung von Messwerten mit metrischer Skalierung (z.B. PD, GR, AL) statistisch sinnvoll, auch wenn eine durch die Genauigkeit des Testverfahrens bedingte Intervallskalierung (1, 2, 3, 4 mm usw.) vorzuliegen scheint. Eine gewisse Diskretisierung der Variablen ist letztlich durch die begrenzte Ablesegenauigkeit der verwendeten Messinstrumente unvermeidlich (*Harten et al.* 1993).

Bei den ordinalskalierten Variablen (z.B. BOP mit „Blutung“ bzw. „keine Blutung“ oder Plaque-Index mit Gradeinteilungen) ist die Verwendung von Mittelwerten nur begrenzt geeignet (*Zwerenz* 2000). Daher wurde in der vorliegenden Studie darauf verzichtet. Es wurde eine metrische Verschlüsselung der Parameter vorgenommen: beim BOP mit „keine Blutung“=

0 bzw. „Blutung“= 1 und beim Plaque-Index und Gingiva- Index mit einer Graduierung von 0 bis 3. So wurden diese Werte auch in ihrer Entwicklung rein deskriptiv dargestellt. Die Gradeinteilung steht per definitionem in keinem linearen Zusammenhang mit der Plaquemenge. Analoges gilt für den Gingiva-Index. Zur studienbegleitenden Kontrolle der Mundhygiene und des Entzündungszustandes der Gingiva kann diese metrische Kodierung doch sehr sinnvoll sein. Zur weiteren Auswertung wurden die Ausprägungen „verbessert“, „verschlechtert“ und „unverändert“ und ihre Auswirkung auf die anderen Ergebnisse untersucht.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es durch Zugehörigkeit von zwei oder mehreren untersuchten Zahnflächen zu einem gemeinsamen Zahn bzw. einer gemeinsamen Mundhöhle zu unerwünschten Abhängigkeiten zwischen den statistischen Einzelfällen gekommen ist. Diese Einschränkungen lassen sich durch statistische Analyseverfahren nicht kompensieren. Das Problem lässt sich durch zusätzliche Selektionskriterien lösen, z.B. durch die Auswertung nur einer Defektfläche pro Patient. Diese Vorgehensweise erschwert jedoch die Erreichung eines angemessenen Stichprobenumfanges erheblich und erscheint daher nur eingeschränkt praktikabel.

Aufgrund multiplen Testens sollte eine Adjustierung der p-Werte nach Bonferrroni und Holm vorgenommen werden. Die Ergebnisse wurden jedoch aus rein explorativer Sicht dargestellt. Auffällige Zusammenhänge, Effekte oder Unterschiede sollten daher durch nachfolgende Studien verifiziert werden. Erst dann können diese auf die Grundgesamtheit übertragen werden.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

Die GTR-Behandlung mit Membranen und Knochenersatzmaterialien ist eine sehr anspruchsvolle Operationstechnik. Vorraussetzungen für eine erfolgreiche Behandlung sind ein hohes Maß praktischer Erfahrung seitens des Operateurs und eine sehr gute Patientencompliance. Bei strenger Indikationsstellung stellt die gesteuerte Geweberegeneration eine gesicherte Behandlungsmethode zum Erhalt parodontal geschädigter Zähne dar (*Eickholz* 1998).

Auch wenn meist keine vollständige Regeneration erzielt werden kann, so kann die Prognose im Einzelfall erheblich verbessert werden (*Mengel et al.* 2003). Die Einschätzung des Regenerationserfolges sollte die Bildung bindegewebigen Attachments und Knochenneubildung berücksichtigen, da beides auch unabhängig von einander auftreten kann (*Hugoson et al.* 1995, *Christgau et al.* 1996).

Die vorliegende Untersuchung sollte quantitativ vergleichbare Ergebnisse zur Behandlung von zwei verschiedenen parodontalen Defekten mit jeweils zwei verschiedenen Materialien liefern.

Den histologischen Nachweis der Evidenz der verwendeten Materialien lieferten bereits andere Studien. So konnten *Quiñones* und Mitarbeiter 1994 sowie *Hürzler* und Mitarbeiter 1997 an Affen und an Hunden (*Mota et al.* 1996) histologisch eine Regeneration der Gewebe nach Behandlung mit bioresorbierbaren Membranen wie Resolut XT nachweisen. Es konnte eine Neubildung von Wurzelzement, bindegewebigem Attachment und Alveolarknochen nachgewiesen werden. Unbehandelte Kontrolldefekte verheilten über ein langes Saumepithel. Sculean untersuchte im Zusammenhang mit einer weiteren humanen Studie zur Behandlung von Knochendefekten 1999 zwei zuvor mit der Resolut-Membran behandelte extrahierte Zähne. Er konnte bei einer histologischen Untersuchung die Neubildung von Wurzelzement mit darin inserierenden Kollagenfasern sowie die Regeneration des Knochengewebes nachweisen. Ähnliche Ergebnisse lieferten 1999 Windisch und Mitarbeiter.

In der Vergangenheit wurde eine Vielzahl Methoden beschrieben, welche die Wiederherstellung der physiologischen und anatomischen Verhältnisse versprechen (*Evans et al.* 1996). Dabei gehört die Behandlung eines Furkationsbefalls zu den größten Herausforderungen der Parodontaltherapie (*Newell* 1998).

Obwohl es sich ätiologisch und pathologisch lediglich um eine Parodontaltasche handelt, gibt es bei der Behandlung der Furkationsbeteiligungen jedoch weit aus mehr Probleme und Komplikationen als bei einfachen Parodontaldefekten. Ein weites Vorragen des Saumepithels entlang von Schmelzvorwölbungen kann eine Taschenbildung im Furkationsbereich begünstigen. Zusätzlich können Schmelzperlen sowie atypisches hyperplastisches Zement

mit einer stark irregulären Oberfläche die Ansammlung einer parodontal-pathogenen Plaque fördern und so ein Fortschreiten der Läsion fördern (*Ramfjord & Ash* 1984, *Hutchens* 1996). Auch liegt im Furkationsbereich kein rein apikal gerichteter Attachment- und Knochenverlust vor, sondern auch horizontal zwischen den Wurzeln.

Eine Regeneration der Gewebe mit der GTR-Therapie mit Membranen und Knochenersatzmaterialien ist bei der Behandlung von Furkationsbefällen nur sehr schwer zu prognostizieren.

Eine mögliche Ursache für Misserfolge kann die komplexe Anatomie der Wurzeln und Furkationen darstellen. Hier wird die vollständige Entfernung der parodontalpathogenen Bakterien durch die schwere Einsehbarkeit in den Defekt zusätzlich behindert. Hier sind ein hohes Maß an Erfahrung und Geschicklichkeit seitens des Operateurs in Bezug auf die Operationsmethode und das Material gefordert. Dies sind natürlich die Grundvoraussetzungen zur Durchführung der vorliegenden Studie.

In der vorliegenden Studie wurden 11 Furkationsbeteiligungen Grad III (4 x PerioGlas®, 7 x ResolutXT®) und 22 Furkationsbeteiligungen Grad II (14 x PerioGlas® und 8 x ResolutXT®) operiert.

Mit PerioGlas® konnte insgesamt bei 94,4 % eine klinische Verbesserung um mindestens einen Grad erzielt werden, wobei in 50 % der Fälle eine vollständige Defektauffüllung erzielt werden konnte. In der ResolutXT®-Gruppe konnte bei 73,4 % eine klinische Verbesserung um mindestens einen Grad erreicht werden. In dieser Gruppe konnte nach 36 Monaten jedoch keine vollständige Defektauffüllung beobachtet werden.

Ein Furkationsbefall der PerioGlas®-Gruppe der zur Baseline Grad III aufwies zeigte nach 36 Monaten eine vollständige Defektauffüllung. Acht Fälle dieser Materialgruppe zeigten mit dem Ausgangsdefekt Grad II ebenfalls eine vollständige Auffüllung des Defektes nach 36 Monaten.

In der ResolutXT®-Gruppe fand sich nach 36 Monaten kein Fall mit vollständiger Defektauffüllung nach.

Ein signifikanter Unterschied der beiden Materialgruppen hinsichtlich des Erfolges (Verbesserung des Furkationsgrades) konnte nicht nachgewiesen werden. Hier sollte die geringe Fallzahl Beachtung finden.

Da der Furkationsbefall nicht mit einer absoluten Zahl gemessen werden kann, kann eine Gradveränderung nie eine genaue Aussage über die Höhe der Defektauffüllung machen. Hier sollte der klinische Attachmentlevel mit einbezogen werden. In beiden Materialgruppen der operierten Furkationsbefälle liegt der mittlere Attachmentgewinn bei 3mm. Es konnte zwischen den beiden Materialgruppen kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Reduzierung des klinischen Attachmentlevels festgestellt werden (T-Test).

Da jede parodontale Regeneration, auch im furkalen Bereich, mit dem Wiederaufbau von alveolärem Knochen einhergeht, ermittelten *Eickholz & Hausmann* (1997) die Veränderung der Höhe des Alveolarkamms mit Hilfe der Subtraktionsradiographie. Sie behandelten 34 Grad II-Furkationen, die über einen Zeitrum von 24 Monaten beobachtet wurden. In 82% der Fälle kam es zu einer signifikanten Verbesserung der Grad 2-Defekte. 10 untersuchte Grad III-Furkationen zeigten weniger deutliche Veränderungen.

Dies bestätigt auch die Aussagen anderer Autoren. *Eickholz & Hausmann 1997, Garrett et al. 1997, Pontoriero et al. 1988* beschreiben alle einen relativ vorhersagbaren Erfolg in der Behandlung von Grad II-Furkationsdefekten. *Pontoriero et al.* veröffentlichten 1988 und 1999 eine Studie, derzufolge 21 Molaren mit Furkationsbefall Grad II im Unterkiefer operiert wurden. In 90% der Fälle kam es zu einem vollständigen Verschluß der Läsion. Bei 21 Molaren mit Grad III-Defekten zeigten nach der GTR-Therapie lediglich 38% eine vollständige Defektauffüllung und 48% nur eine teilweise Auffüllung. 14% der operierten Furkationen blieben im Befund unverändert.

Auch aus diesem Grunde wird von vielen Autoren die GTR-Behandlung von Grad III-Furkationen mit durchgängigen Defekten abgelehnt.

Die Ergebnisse unserer Studie bestätigen diesen Standpunkt. Es kann in der Gruppe der mit PerioGlas® operierten Grad III-Furkationen klinisch bei 25% der Fälle eine vollständige Defektauffüllung erzielt werden. Bei 50% kann nach 36 Monaten eine Verbesserung auf Grad II beobachtet werden. In der ResolutXT®-

Gruppe kann bei keiner ursprünglichen Grad 3-Furkation eine vollständige Auffüllung erzielt werden. 3 von 7 mit ResolutXT® versorgten Fällen bleiben unverändert und 4 Fälle verbessern sich auf Grad I. Statistisch zeigen die beiden Materialien jedoch bezogen auf einen Behandlungserfolg jedoch keinen signifikanten Unterschied. Hier muss sicher auch die geringe Fallzahl der operierten Grad III-Furkationen diskutiert werden.

Betrachtet man das Erfolgsergebnis der operierten Grad II-Furkationen allein, so weisen 57% der mit PerioGlas® versorgten Grad II-Furkationen eine vollständige Defektauffüllung nach 36 Monaten auf. 43% zeigen nach 36 Monaten eine Verbesserung auf Grad I.

In der Gruppe der mit ResolutXT® versorgten Grad II-Furkationen wird in 88% der Fälle eine klinische Verbesserung nach 36 Monaten auf Grad I erzielt. Ein Defekt blieb in dieser Gruppe unverändert.

Somit kann bei 95,5% der operierten Grad II-Defekten eine Verbesserung der klinischen Situation nach 36 Monaten um mindestens einen Grad nachgewiesen werden, was mit den Ergebnissen der anderen Studien vergleichbar ist. Auch wenn statistisch zwischen den beiden Materialien kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, scheint bei klinischer Betrachtung der versorgten Fälle PerioGlas® etwas besser für die Versorgung von Furkationsdefekten geeignet zu sein.

Bisher liegen nur wenige Studien vor, die die Ergebnisse der parodontalen Behandlung von Furkationsbefällen nach Anwendung verschiedener Materialien vergleichen. Es sollte daher auch Gegenstand weiterer Untersuchungen sein, die Differenzen in der Wirksamkeit der beiden Materialien bezüglich der parodontalen Regeneration deutlich herauszustellen.

Eine vergleichbare aktuelle Studie liegt von *Cury et al.* (2003) vor. Hier wurden über einen Zeitraum von 24 Monaten Zähne beobachtet, die mit dem Befund Furkationsbefall Grad II nach der GTR-Methode mit einer bioresorbierbaren Membran oder mit einer klassischen Lappenoperation versorgt wurden. Es wurden nur insgesamt 18 Unterkiefermolaren versorgt bei 9 Patienten in dieser Split-Mouth-Studie versorgt. Zwei der neun Fälle der GTR-Gruppe zeigen nach 24 Monaten einen vollständigen Verschluss des Defektes und ein Fall eine

Verbesserung auf Grad I. Ein Zahn musste im Verlauf der Studie entfernt werden.

Die Ergebnisse der Kontrollgruppe zeigen eine Verschlechterung von zwei Fällen auf Grad III nach 24 Monaten.

Auch in dieser Studie zeigt die GTR-Behandlung bessere Erfolge als die klassische Lappenoperation. *Cury et al.* konnten einen mittleren Attachmentgewinn von 2,27mm in der GTR-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe von 1,01mm nach 24 Monaten ermitteln.

Die Behandlungsergebnisse werden in der Regel bezüglich Sondierungstiefe, gingivaler Rezession und Attachmentlevel an den Zähnen mit Furkations-defekten mit anderen Studien verglichen. Da die Frage, ob Reduktion von Sondierungstiefen und gingivaler Reduktion nach parodontalchirurgischer Behandlung tatsächlich einen Hinweis auf parodontale Regeneration geben (*Schroeder* 1992) sollten besser die Werte des Attachmentlevels zum Vergleich herangezogen werden. Die Reduktion des Attachmentlevels liefert die größte Aussagekraft über die parodontale Regeneration.

Der Attachmentgewinn wurde nach 36 Monaten an den operierten Zähnen mit Furkationsbefall ausgewertet. Der Attachmentgewinn liegt im Median in beiden Gruppen bei 3mm. In der PerioGlas®-Gruppe liegen 50% der Werte zwischen 1 und 4 mm Attachmentgewinn und in der ResolutXT®-Gruppe verteilen sich 50% der Fälle nach 36 Monaten auf einen Attachmentgewinn von 0-6,5 mm. Ein statistisch signifikanter Unterschied der beiden Materialien besteht auch bei der Betrachtung des Attachmentgewinns nicht, jedoch scheint die Verwendung von PerioGlas® stabilere vorhersagbare Ergebnisse zu liefern.

Froum et al. (1998) berichten von einem mittleren Attachmentgewinn von 3 mm nach der Behandlung mit PerioGlas® 1,5 mm höher als bei den Zähnen, die mit einer klassischen Lappenoperation versorgt wurden. Ähnliche Ergebnisse liefern *Zamet et al.* (1997) und *Ong et al.* (1998), die in der Diskussion zu den operierten intraalveolären Defekten noch Beachtung finden sollen.

Einige Studien beschäftigten sich mit der Versorgung von parodontalen Defekten mit der ResolutXT®-Membran im Vergleich zur klassischen Lappen-operation oder im Vergleich zu anderen Membranen. Auch hier konnten

ähnliche Attachmentgewinne bei der Membranverwendung wie in der vorliegenden Studie gefunden werden (*Becker et al.* (1996) (2,9mm), *Caffesse et al.* (1997) (2,3mm), *Grimm et al.* (1996) (3,5mm), *Mattson et al.* (1999) (2,8mm) und *Tonetti et al.* (1998) (3,0mm)). *Cortellini et al.* konnten 1996 sogar 4,6 mm Attachmentgewinn an Zähnen erzielen, die mit einer ResolutXT®-Membran versorgt wurden. *Windisch et al.* erzielten 1999 4,4 mm Attachmentgewinn.

Die Behandlungsergebnisse beider Materialien in der vorliegenden Studie sind vergleichbar mit anderen Studien. Insbesondere, wenn man berücksichtigt, dass es sich hier um die Behandlung von komplizierten parodontalen Defekten (Furkationsbefälle>Grad1) handelt, deren Ergebnisse nach Versorgung mit einem Bioglas oder einer Membran in Bezug auf den Attachmentgewinn mit Ergebnissen aus Studien verglichen werden, in denen intraalveoläre Defekte versorgt wurden.

In der vorliegenden Studie wurden verschiedene Einflussfaktoren auf das Behandlungsergebnis „keine Veränderung“ und „Verbesserung“ des Furkationsbefalls und auf einen Attachmentgewinn hinsichtlich des Materials nach 36 Monaten untersucht. Zwischen den beiden Materialien konnte kein signifikanter Unterschied bei den Faktoren Geschlecht des Patienten, Lage des Zahnes im Ober- oder Unterkiefer und die Lage der Furkation (Fläche) gefunden werden.

Svärdström und Wennström zeigten 1996 in ihrer Studie, dass im Oberkiefer die Prävalenz von Grad 2 und Grad 3-Furkationen höher ist als im Unterkiefer. Der Erfolg der Behandlung dieser Furkationen im vorliegenden Fall zeigt im Vergleich der beiden Materialien jedoch keinen signifikanten Unterschied.

Auch konnten anhand der Mundhygiene-Indizes kein signifikanter Unterschied beim Erfolg „Verbesserung des Furkationsbefalls nach 36 Monaten“ zwischen den beiden Materialien nachgewiesen werden.

Hierzu sollte die Tatsache Beachtung finden, dass klinische Untersuchungen bereits lange zeigen, dass die Progression der parodontalen Erkrankung in jedem Alter durch entsprechende therapeutische Maßnahmen und nachfolgendem Hygieneprogramm und Prophylaxe-Sitzungen aufgehalten werden kann (*Ramfjord* 1987, *Reich* 1989).

Aufgrund der regelmäßigen Recalls mit entsprechender Zahnreinigung und Remotivation der Patienten in der vorliegenden Studie sollte eine Beeinflussung verschiedener Mundhygiene-Gewohnheiten auf das Behandlungsergebnis ausgeschlossen werden.

Die prothetische Versorgung eines Zahnes zeigte nach 36 Monaten hinsichtlich des Erfolges zwischen den beiden Materialien keinen signifikanten Unterschied. Nach *Wang et al.* (1993) zeigen prothetisch versorgte Molaren eine signifikant höhere Prävalenz zur Furkationsbeteiligung. Der Verlust an bindegewebigem Attachment ist an restaurierten Zähnen größer als bei unversorgten. Die restaurative Versorgung, die Lage des Kronenrandes, die biologische Breite und Plaqueretention an nicht perfekten Kronenrändern werden für den parodontalen „Breakdown“ verantwortlich gemacht (*Chen et al.* 1987).

Ähnliche Untersuchungen mit Membranen und Knochenersatzmaterialien führten *Yukna et al.* 2001 durch. Sie verglichen in ihrer Studie 27 paarige Defekte von Grad 2-Furkationen nach Anwendung von bioaktiven Glas oder ePFTE-Membranen. Sie kamen zu keinem statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Materialien.

Ein Vergleich mit bioresorbierbaren Membranen und DBFDBA von *Harasty et al.* (1999) und *Parashis et al.* (1998) konnte ebenfalls statistisch keinen signifikanten Unterschied in den Ergebnissen erzielen.

Die vollständige funktionelle und morphologische Wiederherstellung parodontaler Gewebe, die durch entzündliche Prozesse verloren gegangen sind, ist eine der größten Herausforderungen in der Parodontologie. Zahlreiche histologische Untersuchungen nach der Versorgung parodontaler Defekte mit resorbierbaren Membranen konnten eine Neubildung parodontaler Strukturen zeigen (*Quinones et al.* 1994, *Hürzeler et al.* 1997). Eine Regeneration nach Membranbehandlung am Menschen konnte histologisch durch Neubildung von Knochengewebe sowie von Wurzelzement mit darin inserierenden Kollagenfasern nachgewiesen werden *(Windisch et a.* 1999, *Nyman et al.* 1982a,b, *Gottlow et al.* 1984, 1986).

Erfolgreiche Regeneration nach der Behandlung von intraalveolären Defekten mit bioaktiven Gläsern wie PerioGlas® konnten in mehreren histologischen

Untersuchungen an Tieren gezeigt werden (*Wilson & Low* 1992, *Fetner et al.* 1994, *Karatzas et al.* 1989). *Wilson et al.* konnten in ihrer Studie echte Regeneration von parodontalem Gewebe im gesamten Wurzelbereich nach der Behandlung von Defekten mit Bioglass 45S5 an Affen nachweisen. Hier wiesen die Kontrolldefekte nur geringes Knochenwachstum mit Wundheilung über ein langes Saumepithel auf. *Fetner et al.* erzielten ebenfalls ähnliche Ergebnisse. Es zeigten die mit PerioGlas® behandelten Defekte die besten Resultate. Ein höchstes Ausmaß an neu gebildetem Attachment, Wurzelzement und Knochengewebe sowie eine Hemmung epithelialen Tiefenwachstums konnte nachgewiesen werden. Auch *Karatzas et al.* konnten mit PerioGlas® im Vergleich zur klassischen Lappenoperation signifikant bessere Ergebnisse erzielen.

Den histologischen Beweis der Reneration mit PerioGlas® behandelter Defekte beim Menschen liefert nur eine einzige Studie von *Nevins et al.* (2000). Sie konnten an einem von 5 behandelten menschlichen Zähnen die Neubildung von Wurzelzement und bindegewebigem Attachment nachweisen. In den vier übrigen Fällen erfolgte eine reparative Heilung über ein langes Saumepithel.

In unserer Studie konnte nach 36 Monaten im Median eine Reduzierung der Sondierungstiefe nach Behandlung mit PerioGlas® von 4 mm erzielt werden. Die Behandlung mit der ResolutXT®-Membran brachte im Median eine Reduzierung der Sondierungstiefe von 5 mm. Die Gingivale Rezession bleibt nach 36 Monaten im Median in beiden Gruppen unverändert. Der klinische Attachmentlevel reduziert sich in beiden Gruppen im Median um 4 mm. In der Gruppe der mit PerioGlas® behandelten Defekte liegen 50 % der Defekte bei einer Reduktion zwischen 3 und 5 mm, wobei 50 % der mit der ResolutXT®-Membran behandelten Defekte zwischen 4 und 6 mm an Attachment gewinnen.

Statistisch signifikant (vor Adjustierung) ist der Vergleich der beiden Materialien nur bezüglich der Reduzierung der Sondierungstiefe. Hier zeigt die ResolutXT®-Gruppe signifikant höhere Erfolge (U-Test, p= 0,010) als die PerioGlas®-Gruppe. Beim Vergleich der beiden Materialien von Attachmentgewinn und Gingivaler Rezession zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

Die Reduktion der klinischen Sondierungstiefe stellt natürlich eine wichtige Hilfsgröße zur Überprüfung des Behandlungserfolges nach parodontalen

Therapiemaßnahmen dar. Sie sollte jedoch niemals ohne die Entwicklung der Gingivalen Rezession betrachtet werden. Als alleiniger Indikator für den Therapieerfolg kann, wenn überhaupt, nur der Gewinn an klinischem Attachment herangezogen werden.

In einer Studie von *Mengel et al.* von 2003 konnte nach der Behandlung von intraalveolären Defekten mit PerioGlas® nach 12 Monaten ein mittlerer Attachmentgewinn von 2,8 mm erreicht werden. Die mittlere Reduzierung der Sondierungstiefe betrug 3,8 mm.

Andere Studien konnten Attachmentgewinn von 1,9-3,0mm und eine Reduktion der mittleren Sondierungstiefe von 3,7-4,4mm erzielen (*Zamet et al.* 1997*, Froum et al.* 1998, *Lovelace et al.* 1998). *Low et al.* konnten 1997 anhand der linearen Vermessung der radiologischen Aufnahmen nach 24 Monaten eine Auffüllung von 3,47 mm (41%) nachweisen.

Shaphoff et al. konnten 1997 in einer Studie nach 12 Monaten einen mittleren klinischen Attachmentgewinn von 5,3mm aufweisen. Dies übersteigt die Werte der eigenen Studie. Es bleibt zu erwähnen, dass präoperativ eine mittlere Sondierungstiefe von 9,9 mm vorlag. In unserer Studie lag der Median in beiden Gruppen bei der Basline-Untersuchung bei 7mm.

DFDBA stellt neben den bioaktiven Gläsern das einzige nicht autogene Knochenersatzmaterial dar, für das ein histologischer Nachweis einer parodontalen Regeneration erbracht wurde. *Rosen et al.* stellten 2000 neun Studien mit insgesamt 171 intraalveolären Defekten zusammen und ermittelte einen mittleren Attachmentgewinn von 1,9 mm. Eine Kombination von bioaktivem Glas mit DFDBA oder autogenem Knochen soll laut *Shaphoff et al.* (1997) keinen Vorteil gegenüber der alleinigen Verwendung bringen.

Die bereits zitierten Studien, die bei der Behandlung von intraalveolären Knochendefekten signifikant bessere Ergebnisse unter Verwendung eines bioaktiven Glases als allein mit der klassischen Lappenoperation erzielten, wurden im vorhergehenden Kapitel bereits erläutert.

Windisch et al. (1999) haben ebenfalls über einen Zeitraum von 3 Jahren die Versorgung von 60 Defekten untersucht. Es wurden jeweils 20 Defekte mit einer ResolutXT®-Membran, einer titanverstärkten Gore-Tex-Membran oder

nicht resorbierbaren Gore-Tex-Membran versorgt. Es wurde ein mittlerer Attachmentgewinn von 4,15 mm erzielt, was unseren Ergebnissen entspricht. Auch in dieser Studie konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den verwendeten Materialien nachgewiesen werden.

Das Geschlecht oder Alter der Patienten ebenso wie die Lage des Zahnes hatten keinen signifikanten Einfluss auf den erzielten Attachmentgewinn nach 36 Monaten (U-Test, Kruskal-Wallis-Test).

In der vorliegenden Studie war kein signifikanter Einfluss des Ausgangsdefektes (intraoperativ rein vertikal oder vertikal und horizontal) bei beiden Materialgruppen auf das Ergebnis nachweisbar.

In der PerioGlas®-Gruppe zeigten (vor Adjustierung) die versorgten einwandigen Knochendefekte signifikant bessere Ergebnisse bei der Reduzierung des Sondierungstiefe als die trichterförmigen Defekte (multiple paarweise Vergleiche nach Dunn, p=0,021). Die dreiwandigen versorgten Defekte verzeichnen (vor Adjustierung) eine signifikant höhere Reduzierung der Sondierungstiefe als die trichterförmigen (p=0,006) und die zweiwandigen Defekte (p=0,040).

Ebenso zeigen in der PerioGlas®-Gruppe die dreiwandigen versorgten Defekte nach 36 Monaten signifikant höhere Attachmentgewinne als die trichterförmigen Defekte (p=0,005).

Dies bestätigt Ergebnisse anderer Studien. Nach *Flores-de-Jacoby et al.* 1991 und *Christgau et al.* 1995 können bei der Behandlung von vertikalen zwei- und dreiwandigen Defekten höhere Attachmentgewinne erzielt werden als bei einwandigen und trichterförmigen Defekten. Es wird davon ausgegangen, dass der Heilungserfolg von der Anzahl der Knochenwände abhängig ist. Bei mehrwandigen Defekten kann die Migration der progenitoren Zellen und Osteoblasten von mehreren Seiten erfolgen.

Langzeituntersuchungen nach 5 Jahren von *Gottlow et al.* (1992) und *Cortellini et al.* (1996) bestätigen ebenfalls die Stabilität des gewonnenen Attachments. Der Behandlungserfolg wurde danach bewertet, ob ein Gewinn von 2mm und mehr an dem sondierten Attachmentniveau beim Recall bestätigt wurde.

Genau wie in der vorliegenden Studie sind stabil gute Ergebnisse mit guter Mundhygiene und eine regelmäßiger Teilnahme am Recall eng verbunden (*Greenstein & Caton* 2000).

Neben dem Aufbau der Materialien ist auch deren Zusammensetzung von entscheidender Bedeutung für den Behandlungserfolg.

Keine der mit ResolutXT® oder PerioGlas® versorgten Defekte wies eine das normale Maß überschreitende Entzündungsreaktion auf. Basierend auf dieser Beobachtung kann man von einer hohen Gewebeverträglichkeit der beiden Materialien sprechen, die das postoperative Ergebnis in keiner Weise negativ beeinflusst. Werden beide Materialien in ihrer Handhabung miteinander verglichen, so decken sich die Erfahrungen in der vorliegenden Studie mit denen von *Andress et al.* (1999): die Biogläser sind einfacher und schneller in der klinischen Anwendung. Dies bedeutet einen entscheidenden Vorteil an Komfort für Patient und Operateur.

Neben der auch für erfahrene Operateure schwierigen Adaptation der Membranen an den Defekt scheint das Hauptproblem der Membranen zu sein größere Hohlräume abzudecken und nicht einzubrechen.

Die eigenen Beobachtungen deuten in Verbindung mit den Ergebnissen der genannten Studien darauf hin, dass der Einsatz von bioaktiven Gläsern wie PerioGlas® zur Behandlung von rein intraalveoären Defekten zu ähnlich guten Ergebnissen führt, wie die Anwendung von bioresorbierbaren Membranen wie der ResolutXT®-Membran

Über eine kombinierte Anwendung von Barrieremembranen und Knochenersatzmaterialien wurde bereits mehrfach berichtet. Bisher konnte nicht gezeigt werden, dass der Behandlungserfolg von GTR-Membranen durch die zusätzliche Anwendung von z.B. DFDBA (*Trejo et al.* 2000) oder bovinem anorganischen Knochen (*Batista, JR et al.* 1999) positiv beeinflusst wird.

Als Ideallösung mutet die Kombination der beiden Materialien in der vorliegenden Studie an, um eine Potenzierung der Erfolge zu erzielen und die positiven Eigenschaften zu kombinieren. Es kann allerdings von einer Kombinationstherapie in diesem Fall nur abgeraten werden. Aufgrund der unterschiedlichen pH-Werte muss man von einem antagonistischen Effekt ausgehen.

Gute Ergebnisse in der Kombinationstherapie von bioresorbierbaren Membranen (Bio-Gide, Geistlich, Baden-Baden, Deutschland) in Verbindung mit Emdogain (Biora, Malmö, Schweden) und bovinem Knochen (Bio-Oss, Geistlich, Baden-Baden, Deutschland) lieferten *Lekovic et al.* 2001 einen mittleren Attachmentgewinn von 3,8mm und im Reentry eine Knochenauffüllung von 4,8mm.

Hier deutet sich die Entwicklung an, immer häufiger verschiedene Verfahren zur Behandlung der Parodontaldefekte miteinander zu kombinieren, in der Hoffnung durch eine Verbindung der positiven Eigenschaften hinsichtlich einer parodontalen Regeneration zu potenzieren.

Auch wenn die Ergebnisse der vorliegenden Studie sehr positiv zu bewerten sind, kann ein endgültiger Nachweis parodontaler Regeneration nur histologisch erbracht werden. Dies sollte auch Ziel nachfolgender Untersuchungen sein.

Die begleitenden Röntgenkontrollen in unserer Studie liefern röntgenologisch nur für einen Teil der versorgten Defekte, die mesial und distal gelegenen, den Beweis einer Knochenauffüllung. Betrachtet man die Streckenverkürzung in der PerioGlas®-Gruppe im Median von der Schmelz-Zement-Grenze bis zum Defektboden von 23,8 %, so scheint dies die Bestätigung für eine regenerative Heilung mit Knochenauffüllung. In der ResolutXT®-Gruppe zeigt sich hier eine Verlängerung der Strecke von 6,9 %.

Im Gegensatz dazu stehen die klinischen Ergebnisse der Reduzierung der Sondierungstiefe. Hier schneiden die mit ResolutXT® versorgten Defekte signifikant besser ab. Ein Reentry und/oder eine histologische Untersuchung der behandelten Defekte liefert sicher eine Erklärung und sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein, wie bereits erwähnt wurde.

Nicht außer Acht gelassen werden sollte, trotz allen Strebens nach Regeneration, der sehr positive und langzeitstabilisierende Effekt auch einer kombiniert reparativen und regenerativen Heilung mit GTR-Therapie im Vergleich zur klassischen Lappenoperation.

5. Schlussfolgerungen

Das bioaktive Glas PerioGlas® (USBiomaterials, Alachua, FL, USA) und die bioresorbierbare Membran ResolutXT® (W.L.Gore & Associates, Flagstaff, AZ, USA) waren in der Behandlung von Furkationsdefekten und intraalveolären Defekten gleichermaßen erfolgreich.

Zwischen den beiden Materialien konnten in Bezug auf die aussagekräftigen Werte wie Verbesserung des Furkationsgrades und Attachmentgewinn keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Zusammenfassend kann für die behandelten Furkationsdefekte festgestellt werden, dass in der PerioGlas®-Gruppe bei siebzehn Fällen (94,4%) eine klinische Verbesserung und sogar bei neun Fällen (50%) eine vollständige Defektauffüllung erzielt werden konnte. In der ResolutXT®-Gruppe zeigten insgesamt elf (73,4%) eine klinische Verbesserung um mindestens einen Grad, wobei jedoch in dieser Gruppe keine vollständige Defektauffüllung erzielt werden konnte.

Der klinische Attachmentgewinn lag in beiden Materialgruppen nach 36 Monaten im median bei 3mm.

Für die Gruppe der behandelten intraalveolären Defekte kann zusammengefasst werden, dass die mit ResolutXT® behandelten Defekte eine signifikante Reduzierung der Sondierungstiefe nach 36 Monaten im Vergleich zur PerioGlas®-Gruppe erzielte. Der Median liegt in der ResolutXT®-Gruppe bei 5mm Reduzierung und in der PerioGlas®-Gruppe bei 4mm. Die gingivale Rezession bleibt in beiden Gruppen im Median bei 0mm Veränderung. Der Median liegt beim Attachmentgewinn in beiden Materialgruppen bei 4mm.

Das Behandlungsergebnis zeigt sich im Vergleich der beiden Materialien unabhängig von den ausgewählten Beeinflussungsfaktoren, wie Mundhygiene-Indizes, Alter der Patienten, Lage des operierten Zahnes oder operierte Fläche.

In der Gruppe der operierten intraalveolären Defekte konnte ein signifikanter Einfluss der Knochenwandigkeit des Ausgangsdefektes auf den Attachmentgewinn nachgewiesen werden.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie sollte die Effektivität von zwei verschiedenen Materialien in der regenerativen Behandlung von intraalveolären Defekten und Furkationsbefällen bei Patienten mit fortgeschrittener chronischer Parodontitis verglichen werden. Es sollte klinisch und radiologisch überprüft werden, ob die bioresorbierbare Membran Resolut XT® (W.L. Gore & Associates, Flagstaff, AZ, USA) zu einem besseren Heilungserfolg führt als die Anwendung des bioaktiven Glases PerioGlas® (USBiomaterials, Alachua, FL, USA).

Insgesamt nahmen 20 Patienten im Alter von 27 bis 65 Jahren mit fortschreitender chronischer Parodontitis an der Studie teil. Die parodontale Vorbehandlung war bei allen Patienten mindestens 8 Wochen vor dem operativen Eingriff abgeschlossen und die Patienten wiesen eine sehr gute Mundhygiene auf (API≤15%).

Es wurden parodontale Defekte an Inzisiven, Prämolaren und Molaren des Oberkiefers und Unterkiefers behandelt, die einen intraalveolären Defekt mit Sondierungstiefen über 7mm oder Molaren mit einem klinischen Furkationsbefall, mindestens Grad II, aufwiesen. An den betroffenen Stellen musste eine keratinisierte Gingiva von mindestens 2mm Breite vorhanden sein und der Margo gingivalis musste koronal der entsprechenden Furkation liegen.

Die beiden verwendeten Materialien kamen bei zwei verschiedenen Defektklassen zum Einsatz. Die Zuteilung des Materials wurde durch Münzwurf entschieden.

Im Anschluß an den operativen Eingriff erfolgte alle 3 Monate eine professionelle Zahnreinigung. Die klinischen Daten wurden nach der präoperativen Baseline-Untersuchung alle 12 Monate für 3 Jahre erhoben, ebenso wie die entsprechenden Röntgenkontrollen nach 12, 24 und 36 Monaten.

Insgesamt wurden 11 Furkationsdefekte Grad III (4x PerioGlas®, 7x ResolutXT®) und 22 Grad II-Furkationen (14x PerioGlas®, 8x ResolutXT®) versorgt.

Die Ergebnisse der operierten Furkationsdefekte zeigen in der PerioGlas®-Gruppe bei 94,4% der Fälle eine klinische Verbesserung des Furkationsbefalls

um mindestens einen Grad und bei 50% konnte sogar eine vollständige Defektauffüllung nach 36 Monaten erzielt werden. In der ResolutXT®-Gruppe zeigten 73,4% eine klinische Verbesserung um mindestens einen Furkationsgrad nach 36 Monaten.

Der Attachmentgewinn lag nach 36 Monaten in der PerioGlas®-Gruppe bei 3,0 ± 2,4 mm und in der ResolutXT®-Gruppe bei 3,0 ± 4,3 mm. In der ResolutXT®-Gruppe zeigen die männlichen Patienten signifikant bessere Ergebnisse bezogen auf den Attachmentgewinn (p=0,011).

Die PerioGlas®-Gruppe der Furkationsbeteiligungen an Unterkiefermolaren zeigt hinsichtlich des Attachmentgewinns signifikant bessere Ergebnisse als die an Oberkiefermolaren (p=0,018).

Im direkten Vergleich der beiden Materialien konnte allerdings kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

In der zweiten Gruppe wurden bei 14 männlichen und 8 weiblichen Patienten 83 intraalveoläre Defektflächen an 61 Zähnen operiert.

68 Defektflächen wurden mit dem Material PerioGlas® und 15 Defektflächen mit der Membran ResolutXT® versorgt.

Die Ergebnisse der intraalveolären Defekte zeigen nach 36 Monaten bei den mit PerioGlas® versorgten Flächen eine Reduzierung der Sondierungstiefe von 4,0 ± 2,1 mm. Die gingivale Rezession bleibt nach 36 Monaten nahezu unverändert und im Median 0 ± 1,4 mm. Der Attachmentgewinn beträgt an diesen Flächen 4,0 ± 2,6 mm.

Die mit ResolutXT® behandelten Defekte zeigen nach 36 Monaten eine Reduzierung der Sondierungstiefe von 5,0 ± 2,2 mm und sind damit vor Adjustierung signifikant besser als die PerioGlas®-Gruppe (p= 0,010).

Die gingivale Rezession bleibt auch in dieser Gruppe unverändert. Der Attachmentgewinn liegt im Median bei 4,0 ± 2,7 mm.

Zusammenfassend waren beide regenerativen Methoden in der Behandlung von Furkationsdefekten Grad II, Grad III und intraalveolären Defekten ≥7mm gleichermaßen erfolgreich. Regelmäßige professionelle Zahnreinigungen mit Motivation und Instruktion der Patienten im Rahmen des Recalls konnten den Einfluss der Mundhygiene auf das Behandlungsergebnis minimieren.

7. Literaturverzeichnis

Aukhil, I., Iglhaut, J.: Periodontal ligament cell kinetics following experimental regenerative procedures. J Clin Periodontol 15, 374-382 (1988)

Baderstein, , A., Nilveua, R., Egelberg, J.: Reproducibility of probing attachment level measurements. J Clin Periodontol 11, 475-485 (1984)

Bajorath, J.: Molecular organization, structural features an ligand binding characteristics of CD44, a highly variable cell surface glycoprotein with multiple functions. Proteins 39, 103-111 (2000)

Baldock, W.T., Hutchens, L.H., Jr., McFall, W.T., Jr., Simpson, D.M.: An evaluation of tricalcium phosphate implants in human periodontal osseous defects of two patients. J Periodontol 56, 1-7 (1985)

Bartold, P.M., McCulloch, C.A., Narayanan, A.S., Pitaru, S.: Tissue engeneering: a new paradigm for periodontal regenerationbased on molecular and cell biology. Periodontol 2000 24, 253-269 (2000)

Batista E.L.,Jr., Novaes, A.B., Jr., Simonpietri, J.J. & Batista, F.C.: Use of bone-derived anorganic bone associated with guided tissue regeneration in intrabony defects. Six-month evaluation at re-entry. J Periodontol 70, 1000-1007 (1999)

Becker, W., Becker, B.E.: Treatment of mandibular 3-wall intrabony defects by flap debridment an expanded polytetrafluorethylene barrier membranes. Long-term evaluation of 32 treated patients. J Periodontol 64, 1138-1144 (1993)

Becker, W., Becker, B.E., Berg, L., Prichard, J., Caffesse, R.,Rosenberg, E.: New attachment after Treatment with root isolation procedures: Report for treated class III and class II frucations and vertical osseous defects. Int J Periodontics Restorative Dent 8, 8-23 (1988)

Becker, W., Becker, B.E., Mellonig, J., Caffesse, R.G., Warrer, K., Caton, J.G., Reid, T.: A prospective multi-center study evaluating periodontal regeneration / for class II furcation invasions and intrabony defects after

treatment with a bioabsorbable barrier membrane: 1-year results. J Periodontol 67, 641-649 (1996)

Benigeri, M., Brodeur, J.M., Payette, M., Charbonneau, A., Ismail, A.I.: Community periodontal index of treatment needs an prevalence of periodontal conditions. J Clin Periodontol 27, 308-312 (2000)

Bowers, G.M., Chadroff, B., Carnevale, R. Mellonig, J. Corio, R. Emerson, J., Stevens, M., Romberg, E.: Histologic evaluation of a new attachment apparatus formation in humans. Part II. J Periodontol 60, 675-682 (1989) b

Bowers, G.M., Chadroff, B., Carnevale, R. Mellonig, J. Corio, R. Emerson, J., Stevens, M., Romberg, E.: Histologic evaluation of a new attachment apparatus formation in humans. Part III. J Periodontol 60, 683-693 (1989) c

Brunsvold, M.A., Mellonig, J.T.: Bone grafts and periodontal regeneration. Periodontology 2000 1, 80-91 (1993)

Caffesse, R.G., Mita, L.F., Quinones, C.R., Morrison, E.C.: Clinical comparison of resorbable and non-resorbable barriers for guided periodontal tissue regeneration. J Clin Periodontol 24, 747-752 (1997)

Caffesse, R.G., Nasjleti, C.E., Morrison, E.C., Sanchez, R.: Guided tissue regeneration: comparison of bioabsorbable and non-bioabsorbable membranes. Histologic and histometric study in dogs. J Periodontol 65, 583-591 (1994)

Caton, J.G., *Nyman S.:* Histometric evaluation of periodontal surgery. I. The modified Widman flap procedure. J Clin Periodontol 7, 212-223 (1980)

Caton, J.G., Nyman, S., Zander, H.: Histometric evaluation of periodontal surgery. II Connective tissue attachment levels after four regenerative procedures. J Clin Periodontol 7, 224-231 (1980)

Christgau,, M., Bader, N., Schmalz, G., Hiller, K.A., Wenzel, A.: Post-operative exposure of bioresorbable membranes: effect on healing results. Clin Oral Investigation 3, 109-118 (1997)

Christgau, M., *Schmalz, G., Wenzel, A., Hiller, K.-A.:* Periodontal re-generation of intrabony defects with resorbable and non-resorbable membranes: 30-month results. J Clin Periodontol 24, 17-27 (1997)

Clark, D.C., Chin, Q.T., Bergeron, M.J., Chan, E.C., Lautar-Lemay, C., de Gruchy, K.: Reliability of attachment level measurements using the cementoenamel junction ad a plastic stent. J periodontal 58, 115-118 (1987)

Cortellini, P., Pini-Prato, G., Tonetti, M.S.: Periodontal regeneration of human intrabony defects with bioresorbable membranes. A controlled clinical trial. J Periodontol 67, 217-223 (1996)b

DeForge, D.H.: Evaluation of Bioglass/PerioGlas (Consil) synthetic bone graft particulate in the dog and cat. J Vet Dent 14, 141-145 (1997)

Ehmke, B., Flemmig, T.F.: Knochen und Knochenersatzmaterialien zur parodontalen Regeneration. Eine gemeinsame wissenschaftliche Stellungnahme der DGP und DGZMK. DZZ 54, 141-142 (1999)

Eickholz, P., Benn, D.K.: Röntgenologischer Nachweis von Knochenregeneration nach Parodontalchirurgie mit und ohne ePTFE-Membranen. DZZ 50, 320-323 (1995)

Eickholz, P.,Holle, R., Müller, H.-P.: GTR mit nicht-resorbierbaren und biologisch abbaubaren Barrieren. Ein randomisierter Halbseitenversuch. DZZ 51/5, 291-294 (1996)

Eickholz, P., Pretzl, B., Holle, R., Kim, TS.: Long-term results of guided tissue regeneration therapy with non-resorbable and bioabsorbable barriers. III. Class II furcations after 10 years. J Periodontol, Jan;77(1):88-94. (2006)

Eickholz, P., Ratka-Krüger, P.: Aufbau von klinischen Studien zur Untersuchung von Verfahren zur Rezessionsdeckung und zur regenerativen Parodontitistherapie. DZZ 56, 643-651 (1996)

Ellegard, B., Nielsen, I.M. & Karring, T.: Composite jaw and iliac cancelous bone grafts in intrabony defects in monkeys. J Periodontol Res 11, 299-310 (1976)

Ellison, S.A.: Oral bacteria and periodontal disease. Journal of Dental Research 49, 198-202 (1970).

Evans, G.H., Yukna, R.A., Cambre, K.M., Gardiner, D.L.: Clinical regeneration with guided tissue barriers. current Opinion in Periodontology 4, 75-81 (1997)

Fetner, A.E., Hartigan, M.S. & Low S.B.: Periodontol repair using PerioGlas in nonhuman primates: clinical and histologic observations. Compendium of Continuing Education in Dentistry 15, 932-938 (1994)

Flores-de-Jacoby, L., Tsalikis, L., Zimmermann, A. : Erfahrungen nach Parodontalbehandlung mit gesteuerter Geweberegeneration (vorläufige Ergebnisse). Dtsch Zahnärztl Z 46, 426-428 (1991) b

Flores-de- Jacoby, L., Zimmermann, A., Tsalikis, L.: Experiences with guided tissue regeneration in the treatment of advamced periodontal disease. A clinical re-entry study, Part I. Vertical, horizontal and combined vertical and horizontal periodontal defects. J Clin Periotontol 21, 113-117 (1994)

Flores-de- Jacoby, L., Zimmermann, A., Tsalikis, L.: Parodontalbehandlung mit gesteuerter Geweberegeneration – Langzeitergebnisse. (Erste Mitteilung). Dtsch Zahnärztl Z 47, 312-315 (1992)

Foitzik, C. & Stamm, M.: Einsatz von phasenreinem ß-Trikalziumphosphat zur Auffüllung von ossären Defekten – Biologische Materialvorteile und klinsche Erfahrungen. Quintessenz 48, 1365-1377 (1997)

Froum, S.J.; Tarnow, D.P.; Wallace, S. S.; Rohrer, M. D.; Cho, S.C.: Sinus floor elevation using anorganic bovine bone matrix (OsteoGraf/N) with and without autogenous bone: a clinical, histologic, radiographic, and histomorpho-metric analysis--Part 2 of an ongoing prospective study. Int J of Periodontics and Restorative Dentistry, Jg. 18, H. 6, S. 528–543 (1998)

Froum, S.J., Weinberg, M.A., Rosenberg, E., Tarnow, D.: A comparative study utilizing open flap debridment with and without enamel matrix derivate in the treatment of periodontal intrabony defects: a 12-month re-entry study. J Peridontol 72, 25-34 (2001)

*Garret, S.:*Specific issues in clinical trials on the use of barrier membranes in periodontal regeneration. Ann Periodontol 1,240-58. Review (1997)

Gestrelius, S., Andersson, C., Lidstrom, D., Hammarström, L., Somerman, M.: In vitro studies on periodontal ligament cells and enamel matrix derivate. J Clin Periodontol (1997)

Giannini, S., Moroni, A., Pompili, M., Ceccarelli, F., Cantagalli, S., Pezzuto, V., Trinchese, L., Zaffe, D., Venturini, A. & Pigato, M.: Biocermaics in oropaedic surgery: state of the art and preliminary results. Italian J of Orthopaedics and Traumatology 18, 431-441 (1992)

Giannobile, W.V., Lee, C.S., Tomala, M.P., Tejeda, K.M., Zhu, Z.: Plateled-derived growth factor (PDGF) gene delivery for application in periodontal tissue engineering. J Periodontol 72, 815-823 (2001)

Gibbs, C.H., Hirschfeld, J.W., Lee, J.G., Low, S.B., Magnusson, I. Thousand, R.R., Yerneni, P., Clark, W.B.: Description and clinical evaluation of a new computerizes periodontal probe – the Florida probe. J Clin Periodontol 15, 137-144 (1988)

Goldman, H.H., Cohen, D.W.: The intrabony pocket: classification and treatment. J Periodontol 29, 272-291 (1958)

Gottlow, J.: Guided tissue regeneration using bioresorbable and non-resorbable devices: Initial healing and long-term results. J Periodontol 64, 1157-1165 (1993)

Gottlow, J., Laurell, L., Lundgren, D., Mathisen, T., Nyman, S., Rylander, H., Bogentoft, C.: Periodontal tissue response to a new bioresorbable guided tissue regeneration device: A longitudinal study in monkeys. Int J Periodont Rest Dent 14, 437-449 (1994)a

Gottlow, J., Nyman, S., Karring, T., Lindhe, J.: new attachment formation as the result of controlled tissue regeneration. J Clin Periodontol 11, 494-503 (1984)

Gottlow, J., Nyman, S., Lindhe, J., Karring, T., Wennström, J.: New attachment formation in the human periodontium by guided tissue regeneration. Case reports. J Clin Periodontol 13, 604-616 (1986)

Greenstein, G., *Caton, J.G.*: Biodegradable barriers and guided tissue regeneration. Periodontology 2000 1, 36-45 (1993)

Grimm, W., Cichon, P., Crawford, L., Lorey, T.: Klinische Längsschnitt-Studie zur gesteuerten Geweberegneration mit resorbierbaren Membranen (Gore Resolut Regenerative Material). Parodontologie 3, 237-245 (1996)

Gross, U.M.: Biocompability – the interaction of biomaterials and host response. J Dent Education 52, 798-803 (1988)

Hägewald, S., Spahr, A., Rompola, E., Haller, B., Heijl, L., Bernimoulin, J. P.: Comparative study of Emdogain and coronally advanced flap technique in the treatment of human gingival recessions. A prospective controlled clinical study. J Clin Periodontol 29, 35-41 (2002)

Hammarström, L.: Enamel matrix, cementum development and regeneration. J Clin Periodontol 24, 658-668 (1997)

Harakas, N.K.: demineralised bone-matrix-induced osteogenesis. Clin Orthopaedics and Relatet Research 188, 239-251 (1984)

Harasty, L.A., Brownsten, C.N., Deasy, M.J.: Regeneration of intrabony defects: comparing e-PTFE membrane vs. decaicified freeze-dried bone allograft – a pilot study. Peridontol Clin Investigations 21, 10-17 (1999)

Harten, H.-U., Nägerl, H., Schulte, H.-D.: Statistik für Mediziner. Chapman & Hall London (1993)

Heijl, L., Heden, G., Svardstrom, G., Ostgren, A.: Enamel matrix derivative (Emdogain) in the treatment of intrabony periodontal defects. J Clin Periodontol 24, 705-714 (1997)

Heins, P.J., Thomas, R.G., Newton, J.W.: The relationship of interradicular width and alveolar bone loss. A radiometric study of a periodontitis population.J Periodontol 59(2):73-9 (1988)

Hench, L.L., Paschall, H.A.: Histochemical responses at a biomaterial`s interface. J Biomedical Material Res 8, 49-64 (1974)

Hench, L.L., Splinter, R.J., Allen, W.C., Greenlee, T.K.: Bonding mechanisms at the interface of ceramic prosthesis material. J Biomedical Materials Res 5, 117-141 (1971)

Hench, L.L., West, J.K.: Biological application of bioactive glasses. Life Chemistry Reports 13, 187-241 (1996)

Hench, L.L., Wilson, J.: Surface-active biomaterials. Science 226, 630-636 (1984)

Hiatt, W.H. & Schallhorn, *R. G.*: Intraoral transplants of cancellous bone and marrow in periodontal lesions. J Periodontol 44, H. 4, S. 194–208 (1973)

Holland, S.J., Tighe, B.J., Gould, P.L.: Polymers for biodegradable medical devices. I. The potential of polyesters as controlled macro-molecula release systems. J of Controlled Release 4, 155-180 (1986)

Hollinger, J.O.: Preliminary report on the osteogenic potential of a biodegradable copolymer of polylactide (PLA) and polyglycolide (PGA). J of Biomedical Materials Research 17, 71-82 (1983)

Hugoson, A., Ljungquist, B., Breivik, T.: The relationship of some negative life-events and psychological factors to periodontal diseases in an adult Swedish population 50 to 80 years. J Clin Periodontol 29, 247-253 (2002)

Hürzeler, M.B., Quinones, C.R., Caffesse, R.G., Schüpbach, P., Morrison, E. C.: Guided periodontal tissue regeneration in interproximal intrabony defects following treatment with a synthetic bioabsorbable barrier. J Periodontol 68, 489-497 (1997)

Hutmacher, D.W., Hürzeler, M.B., Schliephake, H.: A review of material properties of biodegredable and bioresorbable polymers and devices for GTR and GBR applications. Int J of Oral and Maxillofacial Implants 11, 667-678 (1996)

Iglhaut, J., Aukhil, I., Simpson, D.M., Johnston, M.C., Koch, G.: Progenitor cell kinetics during guided tissue regeneration in experimental periodontal wounds. J Periodontal Res 23, 107-117 (1988)

Isidor, F., Karring, T., Nyman, S., Lindhe, J.: The significance of coronal growth of periodontal ligament tissue for new attachment formation. J Clin Periodontol 13, 145-150 (1986)

Jepsen, S., Eberhard, J., Herrera, D. Needelman, I.: A systematic review of guided tissue regeneration for periodontal furcation defects. What is the effect of guided tissue regeneration compared with surgical debridement in the treatment of furcation defects? J Clin Periodontol;29 Suppl 3:103-16; discussion 160-2. Review. .(2002)

Karatzas, S., Zavras, A., Greenspan, D., Amar, S.: Histologic observations of periodontal wound healing after treatment with PerioGlas in nonhuman primates. Int J Periodontics and Restorative Dent 19, 489-499 (1999)

Karring, T., Isidor, F., Nyman, S., Lindhe, J.: New attachment formation on teeth with a reduced but healthy periodontal ligament. J Clin Periodontol 12, 51-60 (1985)

Karring, T., *Lindhe, J., Cortellini, P.*: Renerative periodontal therapy. In: Lindhe, J., Karring, T., Lang, N.P. (Hrsg.) clnical periodontology and implant dentistry. 3. Aufl.. Munksgaard Copenhagen, 597-646 (1997)

Karring, T., Nyman, S., Lindhe, J.: healing following implantation of periodontitis-affected roots into bone tissue. J Clin Periodontol 7, 96-105 (1980)

Katz, A.R., Mukherjee, D.P., Kaganov, A.L., Gordon, S.: A new synthetic monofilament absorbable suture made from polytrimethylen carbonate. Surgery, Gynecology and Obstretics 161, 213-222 (1985)

Kenney, E.B., Lekovic, V., Sa Ferreira, J.C., Han, T., Dimitrijevic, B., Carranza, F.A., Jr.: Bone formation within porous hydroxylapatite implants in human periodontal defects. J Periodontol 57, 76-83 (1986)

Kinane, D.F. & Lindhe, J.: Pathogenesis of periodontology. In: Lindhe, J., Karring, T. & Lang, N.P. (Hrsg.) Clinical periodontology and implant dentistry. 3. Aufl., Munksgaard Copenhagen, 189-225.

King, G.N., Hughes, F.J.: Bone morphogenetic protein-2 stimulates cell recruitment and cementogenesis during early wound healing. J Clin Periodontol 28, 465-475 (2001)

Kubo, K., Kakimoto, T., Kanda, C., Tsukasa, N., Uehara, M., Izumi, Y., Kamada, T., Kaneko, N., Sueda, T.: Bioactive glass promoted formation of nodules in periodontal-ligament fibroblasts in vitro. J of Biomedical Materials Research 27, 1175-1180 (1993)

Lang, H., *Schüler, N., Mertens, T., Nolden, R.:* Der Einfluß von Zellen aus dem Alveolarknochen auf die parodontale Regeneration. Dtsch Zahnärztl Z 48, 257-260 (1993)

Leenslag, J.W., Pennings, A.J., Bos, R.R., Rozema, F.R., Boering, G.: Resorbable materials of poly(L-lactide). VI. Plates and screw for internal fracture fixation. Biomaterials 8, 70-73 (1987)

Lekovic, V.; Camargo, P. M.; Weinlaender, M.; Kenney, E. B.; Vasilic, N.: Combination use of bovine porous bone mineral, enamel matrix proteins, and a bioabsorbable membrane in intrabony periodontal defects in humans. J Periodontol, Jg. 72, H. 5, S. 583–589. (2001)

Lewis, D.H.: Controlles release of bioactive agents from lactide/glycolide polymers. In: chasin, M. & Langer, R. (Hrsg.) Biodegradable polymers as drug delivery Systems. 1. Aufl., Marcel Dekker New York, 1-41 (1990)

Lindhe, J., Haffajee, A.D., Socransky, S.S.: Progression of periodontal disease in adult subjects in the absence of periodontal therapy. J Clin Periodontol 10, 433-442 (1983)

Lindhe, J., Hamp, S.E., Löe, H.: Plaque induced periodontal disease in beagle dogs. A 4-year clinical, roentgenographical and histometrical study. J Periodontal Research 10, 243-255 (1975)

Listgarten, M.A.: Nature of periodontal diseases: pathogenic mechanisms. Journal of Periodontal Research 22, 172-178 (1987).

Listgarten, M.A.: Pathogenesis of periodontitis. J Clin Periodontol 13, 418-425 (1986).

Lovelace, T. B.; Mellonig, J. T.; Meffert, R. M.; Jones, A. A.; Nummikoski, P. V.; Cochran, D. L.: Clinical evaluation of bioactive glass in the treatment of periodontal osseous defects in humans. J Periodontol, Jg. 69, H. 9, S. 1027–1035 (1998)

Low, S.B., King, C.J., Krieger, J.: An evaluation of bioactive ceramic in the treatment of periodontal osseous defects. Int J of periodontics & restorative dentistry 17, 358-367 (1997)

Lundgren, D., Laurell, L., Gottlow, J., Rylander, H., Mathisen, T., Nyman, S., Rask, M.: The influence of the design of two different bioresorbable barriers on the results of guided tissue regeneration therapy. An intraindividual comparative study in the monkey. J Periodontol 66,605-612 (1995)

Magnusson, I.: Local delivery of antimicrobial agents for the treatment of periodontitis. Compend continu Educ Dent 10, 953-956 (1998)

Magnusson, I., *Batich, C., Collins., B.R.:* New attachment formation following controlled tissue regeneration using biodegradable membranes. J Clin Periodontol 59, 1-6 (1986)

Marx, R.E., Carlson, E.R., Eichstaedt, R.M., Schimmele, S.R., Strauss, J.E., Georgeff, K.R.: Plateled-rich plasma: growth factor enhancement for bone grafts. Oral Surgery, Oral Surg Oral Med Oral Pathol 85, 638-646 (1998)

Mattson, J.S., Gallagher, S.J., Jabro, M.H.: The use of 2 bioabsorbable barrier membranes in the treatment of interproximal intrabony periodontal defects. J Periodontol 70, 510-517 (1999)

Mayfield, L., Bratthall, G., Attström, R.: periodontal probe precision using 4 different periodontal probes, J Clin Periodontol 23, 76-82 (1996)

Melcher, A.H.: On the repair potential of periodontal tissues. J Periodontal 47, 256-260 (1976)

Mellonig, J.T., Prewett, A.B., Moyer, M.P.: HIV inactivation in a bone allograft. J Periodontol, 63, 979-983 (1992)

Mengel. R., Bacher, M., Flores-de-Jacoby, L.: Interactions between stress, interleukin-Iß, interleukin-6 and cortisol in periodontally diseased patients. J Clin Periodontol 29, 1012, 1022 (2002)

Mengel. R., Candir, M., Shiratori, K., Flores-de-Jacoby, L.: Digital volume tomography in the diagnosis of periodontal defects: an in vitro study on native pig and human mandibles. J Periodontol 76, 665-73 (2005)

Mengel, R., *Flores-de-Jacoby, L:* Ätiologie und Pathogenese entzündlicher parodontaler Erkrankungen. In: Mutschelknauss, R.E. (Hrsg.) Lehrbuch der klinischen Parodontologie. Quintessenz Berlin, 95-137 (2000)

Mengel, R., Koch, H., Pfeiffer, C., Flores-de-Jacoby, L.: Periodontal health of the population in eastern Germany (former GDR). J Clin Periodontol 20, 752-755 (1993)

Mengel, R., Schreiber, D.., Flores-de-Jacoby, L.: Bioabsorbable membrane and bioactive glass in the treatment of intrabony defects in patients with generalized aggressive periodontitis: results of a 5-year clinical and radiological study. J Periodontol. Oct; 77 (10):1781-7 (2006)

Mengel, R., Soffner, M., Flores-de-Jacoby, L.: Bioabsorbable Membrane and Bioactive Glass in the Treatment of Intrabony Defects in Patients with Generalized Aggressive Periodontitis: Results of a 12-month Clinical and Radiological Study. J. Periodontol 6, 899-908 (2003)

Miller, R.A., Brady, J.M., Cutright, D.E.: Degradation rates of oral resorbable implants (polylactates and polyglycolates): rate modification with changes in PLA/PGA copolymer ratios. J Biomedical Materials Research 11, 1693-1698 (1977)

Modica, F., Del Pizzo, M., Roccuzzo, M., Romagnoli, R.: Coronally advanced flap for the treatment of buccal gingival recessions with and without enamel matrix derivative. A split-mouth study. J Periodontol 71, 1693-1698 (2000)

Mota, L., Vergara, J.A., Quinones, C.R., Caffesse, R.: Initial response to guided tissue regeneration using non-resorbable membranes in dogs. Abstract presented ant the 74th General Session and Exhibition of the IADR. March 13-17th, 1996. San Francisco, CA. J Dent Res 75, 326 (Abstract 2.469) (1996)

Murphy, KG., Gunsolley, J.C.: Guided Tissue Regeneration for the treatment of periodontal intrabony and furcation defects. A systematic review. Ann Perodontol, 266-302 (2003)

Nasr, H.F., Aichelmann-Reidy, M.E., Yukna, R.A.: Bone and bone substitutes, Periodontology 2000 19, 74-86 (1999)

Nevins, M.L., Camelo, M., Nevins, M., King, C.J., Oringer, R-J., Schenk, R.K., Fiorellini, J.P.: Human histologic evaluation of bioactive ceramic in the treatment of periodontal osseous defects. Int J Periodontics and Rest Dent 20, 458-467 (2000)

Needleman, I., Tucker, R., Giedrys-Leeper, E., Worthington, H.: A systematic review of guided tissue regeneration for periodontal intrabony defects. J. Periodontal Res. Oct; 37 (5): 380-8. (2002)

Needleman, I., Worthington, H., Giedrys-Leeper, E., Tucker, R.: Guided Tissue Regeneration for periodontal infrabony defects. Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 2. Art. No.: CD 001724. DOI:10.1002/14651858. CD 001724. pub2. (2006)

Nyman, S., Gottlow, J., Karring, T., Lindhe, J.: The regenerative potential of the periodontal ligament. An experimental study in the monkey. J Clin Periodontol 9, 257-265 (1982) a

Nyman, S., Karring, T., Lindhe, J., Planten, S.: Healing following implantation of periodontitis-affected roots into gingival connective tissue. J Clin Periodontol 7, 394-401 (1980)

Ong, M.M., Eber, R.M., Korsnes, M.I., MacNeil, R.L., Glickman, G.N. Shyr, Y., Wang, H.L.: Evaluation of a bioactive glass alloplast in treating periodontal intrabony defects. J Periodontol 69, 1346-1354 (1998)

Oonishi, H., *Kushitani, S., Yasukawa, E., Iwaki, H., Hench, L.L., Wilson, J., Tsuji, E., Sugihara, T.*: Particulate bioglass compared with hydroxylapatite as a bone graft substitute. Clinica Ortopedica 334, 316-325 (1997)

*Page, R.*C.: Current understanding of the aetiology and progression of periodontal disease. Int Dent J 36, 153-161 (1986)

Page, R.C., Schroeder, H.E.: Pathogenesis of inflammatory periodontal disease. A summary of current work. Laboratory Investigation 34, 235-249 (1976)

Papapanou, P.N.: Periodontal diseases: epidemiology. Annals of Periodontology 1, 1-36 (1996)

Parashis, A., *Andronikaki-Faldami, A., Tsiklakis, K.*: Comparison of 2 regenerative procedures – guided tissue regeneration and demineralized freeze-dried bone allograft – in the treatment of intrabony defects: a clinical and radiographic study. J Periodontol 69, 751-758 (1998)

Payne, W.A., Page, R.C., Ogilvie, A.L., Hall, W.B.: Histopathologic features of the initial and early stages of experimental gingivitis in man. J Periodontal Research 10, 51-64 (1975)

Pepper, M.S.: Role of the matrix metalloproteinase und plasminogen activator-plasmin systems in angiogenesis. Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology 21, 1104-1117 (2001)

Polson, A.M., Garrett, S., Stoller, N.H., Greenstein, G., Polson, A.P., Harrold, C.Q., Laster, L.: Guided tissue regeneration in human furcation defects after using a biodegradable barrier: A multy-center feasibility study. J Periodontol 66, 377-385 (2995)

Pontoriero, R., Wennström, J.L., Lindhe, J.: The use of barrier membranes and enamel matrix proteins in the treatment of angular bone defects. A prospective controlled clinical study. J Clin Periodontol 26, 833-840 (1999)

Pontoriero, R., Lindhe, J.: Guided tissue regeneration in the treatment of degree II furcations in maxillary molars. J Clin Periodontol 22, 756-763 (1995)

Pretzl, B., Kim, T.S., Holle, R., Eickholz, P.: Long-term results of guided tissue regeneration therapy with non-resorbable and bioabsorbable barriers. iV. A case series of infrabony defects after 10 years. J Periodontol, Aug; 79(8):1491-9. (2008)

Price, N., Bendall, S.P., frondoza, C., Jinnah, R.H., Hungerford, D.S.: Human osteoblast-like cells (MG63) proliferate on a bioactive glass surface. J of Biomedical Materials Research 37, 394-400 (1997)

Ramfjord, S.P., Ash, M.M.: Periodontal importance in the area of restoration and other dental measures. Zahnarzt 12:949-68. (1984)

Ramfjord, S.P., Caffesse, R.G., Morrison, E.C., Hill, R.W., Kerry, G.J., Appleberry E.A., nissle, R.R., Stults, D.L.: 4 modalities of periodontal treatment compared over 5 years. J Clin Periodontol 8, 445-452 (1987)

Reich, W., Tetsch, P., Mau, J.: Implantation document forms for all phases of implantation revised by DGZMK Zahnarztl Mitt 14:1595-8. (1989)

Rosen, P.S., Reynolds, M.A., Bowers, G.M.: The treatment of intrabony defects with bone grafts, Periodontology 2000 22, 88-103 (2000)

Salata LA, Hatton PV, Devlin AJ, Craig GT, Brook IM.: In vitro and in vivo evaluation of e-PTFE and alkali-cellulose membranes for guided bone regeneration. Clin Oral Implants Res. Feb;12(1):62-8. (2001)

Schepers, E.J., Ducheyene, P.: Bioactive glass particles of narrow size range for the treatment of oral bone defects: a 1-24 month experiment with several materials and particle sizes and size ranges. J Oral Rehabilitation 24, 171-181 (1997)

Schroeder, H.E.: Parodontale Regeneration. In: *Schroeder, H.E.:* Pathobiologie oraler Strukturen: Zähne, Pulpa, Parodont, 2. Aufl. Karger, Basel 1991, S. 205

Sculean, A., Auschill, T.M., Donos, N., Brecx, M. & Arweiler, N.B.: Effect of an enamel matrix protein derivative (Emdogain) on ex vivo dental plaque vitalitiy. J Clin Periodontol 28, 1074-1078 (2001a)

Sculean, A., Barbé, G., Chiantella, G.C., Arweiler, N.B., Berakdar, M. &Brecx, M.: Clinical evaluation of an enamel matrix protein derivate combined with a bioactive glass for the treatment of intrabony periodontal defects in humans. J Periodontol 73, 4010-408 (2002)

Sculean, A., *Chiantella, G.C., Windisch, P. & Donos, N.:* Clinical and histologic evaluation of human intrabony defects treated with an enamel

matrix protein derivative (Emdogain). Int J Periodont Rest Dent 20, 374-381 (2000)

Sculean, A., *Donos, N., Chiantella, G.C., Windisch, P., Reich, E., Brecx, M.*: GTR with bioresorbable membranes in the treatment of intrabony defects: a clinical and histologic study. Int J Periodontics and Restorative Dent 20, 374-381 (1999)

Sculean, A., Donos, N., Milliauskaite, A., Arweiler, N. & Brecx, M.: Treatment of intrabony defects with enamel matrix proteins or bioabsorbable membranes. A 4-year follow-up split-mouth-study. J Periodontol 72, 1695-1701 (2001b)

Shaphoff, C.A., Alexander, D.C., Clark, A.E.: Clinical use of a bioactive glass particulate in the treatment of human osseous defects. Compendium of Continuing Education in Dentistry 18, 352-358 (1997)

Slavkin, H.C. & Boyde, A.: Cementum: an epithelial secretory product? J Dent Res 53, 157 (Abstract 409) (1974)

*Stahl, S.*S. *& Froum, S.*: Histological evaluation of human intraosseous healing responses to the placement of tricalcium phosphate ceramic implants. I. Three to eight months. J Periodontol 57, 211-217 (1986)

Stanley, H.R., Hench, L., Going, R, Bennett, C., Chellemi, S.J., King, C., Ingersoll, N., Ethridge, E. & Kreutziger, K.: The implantation of natural tooth form bioglasses in baboons. A preliminary report. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology 42, 339-356. (1976)

Svärdström, G., Wennström, J.L.: Prevalence of furcation involvements in patients referred for periodontal treatment. J Clin Periodontol 12, 1093-1099 (1996)

Tal, H.: Relationship between the interproximal distance of roots and the prevalence of intrabony pockets.J Periodontol. 10:604-7. (1984)

Tatakis, D.N.: Interleukin-1 and bone metabolism: a review. J Periodontol 64, 416-431 (1993)

Teparat, T., *Solt, C.W., Claman, L.J., Beck, F.M.:* Clinical comparison of bioabsor-bable barriers and non-resorbable barriers in guided tissue regeneration in the treat-ment of human intrabony defects. J Periodontol 69, 632-641 (1998)

Terheyden, H.: Verwendung von Knochenersatzmaterialien in der chirurgischen Zahnheilkunde. Eine wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK. DZZ 55, 9 (2000)

Terranova, V.P. & Wikesjö, U.M.: Extracellular matrices amd polypeptide growth factors as mediators of functions of cells of the periodontium. A review. J Clin Periodontol 58, 371-380 (1987)

Tokiyasu, Y., Takata, T., Saygin, E. & Somerman, M.: Enamel factors regulate expression of genes associated with cementoblasts. J Periodontol 71, 1829-1839 (2000)

Tonetti, M.S., Cortellini, P., Suvan, J.E., Adriaens, P., Baldi, C., Dubravec, D., Fonzar, A., Fourmousis, I., Magnani, C., Muller-Campanile, V., Patroni, S., Sanz, M., Vangstedt, T., Zabalegui, I., Pini-Prato, G., Lang, N.P.: Generalizabiltity of the added benefits of guided tissue regeneration in the treatment of deep intrabony defects. Evaluation in a multi-center randomized controlled clnical trial. J Periodontol 69, 1183-1192 (1998)

Tonetti, M.S., Pini-Prato, G., Williams, R.C., Cortellini, P.: Periodontal regeneration of human intrabony defects. III. Diagnostic strategies to detect bone again. J Periodontol 64, 269-277 (1993b)

Trejo, P. M.; Weltman, R.; Caffesse, R.: Treatment of intraosseous defects with bioabsorbable barriers alone or in combination with decalcified freeze-dried bone allograft: a randomized clinical trial. In: J , Jg. 71, H. 12, S. 1Periodontol852–1861 (2000)

van der Pauw, M.T., van der Mei, H.C., van den Bos, T., Everts, V. & Beertsen, W.: Effect of enamel matrix proteins on the adherence of oral microbiota. J Dent Res 79, (Special Issue: Abstract 111) (2000)

Vert, M., *Li, M.S., Splenehauer, G. & Guerin, P.*: Bioresorbability and biocompability of aliphatic polyesters. J Mat Science Mat in Medicine 3, 432-446 (1992)

W.L. Gore & Associates GmbH: Gore Tex® Periodontal material. Workshop Handbuch. (1989)

Wang, S.F., Leknes, K.N., Zimmerman, G.J., Sigurdsson, T.J., Wikesjö, U.M., Selvig, K.A.: Reproducibility of periodontal probing using a conventional manual and an automated force-controlled electronic probe. J Periodontol 66, 38-46 (1995)

Wheeler, D.L., Stokes, K.E., Hoellrich, R.G., Chamberland, D.L., McLoughlin, S.W.: Effect of bioactive glass particle size on osseous regeneration of cancellous defects. J of Biomedical Materials Research 41, 527-533 (1998)

Wilson, J. & Low, S.B.: Bioactive ceramics for periodontal treatment: comparative studies. J of Applied Biomaterials 3, 123-129 (1992)

Wilson, J., *Merwin, G.E.*: Biomaterials for facial bone augmentation: comparative studies in the Patus monkey. J of Applied Biomaterials 3, 123-129 (1988)

Windisch, P., Sculean, A., Gera, I.: GTR with three different types of membranes in the treatment of intrabony periodontal defects: three-year results in sixty consecutive cases. J of Long-Term-Effects of Medical Implants 9, 235-246 (1999)

Xynos, I.D., Edgar, A.J., Buttery, L.D., Hench, L.L., Polak, J.M.: Ionic products of bioactive glass dissolution increase proliferation of human osteoblasts and induce insulin-like growth factor II mRNA expression and protein synthesis. Biochemical and Biophysical Research Communications 276, 461-465 (2000)

Xynos, I.D., Edgar, A.J., Buttery, L.D., Hench, L.L., Polak, J.M.: Genex-pression profiling of human osteoblasts following treatment with the ionic

products of Bioglass 45S5 dissolution. J of Biomedical Materials Research 58, 151-157 (2001)

Yukna, R.A.: Synthetic bone grafts in periodontics. Periodontol 2000 1, 92-99 (1993)

*Zamet, J. S.; Darbar, U. R.; Griffiths, G. S.; Bulman, J. S.; Brägger, U.; Bürgin, W.; Newman, H. N.*7: Particulate bioglass as a grafting material in the treatment of periodontal intrabony defects. In: J Clin Periodontol, Jg. 24, H. 6, S. 410–418 (1997)

Zappa, U., *Grosso, L., Simona, C., Graf, H. & Case, D.*: Clinical furcation diagnoses and interradicular bone defects. J Periodontol 64, 219-227 (1993)

Zeeck, A., *Eick, S., Krone, B. & Schröder, K.:* Chemie für Mediziner, 4. Aufl., Urban & Fischer, München (2000)

Zwerenz, K.: Statistik: Datenanalyse mit Excel und SPSS. Dorn, D. & Fischbach, R. (Hrsg.) R. Oldenbourg München (2000)

8. Anhang A

8.1. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen		Seite
1	Klassifikation der Knochentaschen	6
2	Klassifikation des Furkationsbefalls	7
3	Reparation und Regeneration nach Parodontaltherapie	9
4	REM-Aufnahmen der ResolutXT®-Membran	22,23
5	Biodegradation und Bioresorption der Membranen	28
6	Makroskopische und Mikroskopische Struktur von PerioGlas®	31
7	Ternärdiagramm von Gläsern	32
8	Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Studie	38
9	Flächenverteilung auf die Materialgruppen	40
10	Verteilung der Furkationsbeteiligungen auf die Materialien	40
11	Flächenverteilung auf die Materialgruppen	41
12	Verteilung der Knochendefekte	41
13	Verteilung der Knochentaschen	42
14	Darstellung der erhobenen Messparameter	44
15	Einzelzahnfilme Zahn 36	46
16	Entwicklung der Sondierungstiefe in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen	55
17	Entwicklung der Gingialen Rezession in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen	55
18	Entwicklung des klinischen Attachmentlevels in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen	56
19	Entwicklung des Attachmentgewinns in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen	57
20	Entwicklung der Sondierungstiefe in der Gruppe der intraalveolären Defekte	60
21	Entwicklung der Gingivalen Rezession in der Gruppe der intraalveolären Defekte	61

22 Entwicklung des klinischen Attachmentlevels in der Gruppe der intraalveolären Defekte 61
23 Darstellung des Erfolgs von Sondierungstiefe, Gingivaler Rezession und klinischem Attachmentlevels 62
24 Verteilung der Reduzierung der Sondierungstiefe auf die Ausgangsdefekte der Anzahl der Knochenwände und Materialien 65
25 Verteilung der Reduzierung der Gingivalen Rezession auf die Ausgangsdefekte der Anzahl der Knochenwände und Materialien 65
26 Verteilung der Reduzierung des Attachmentlevels auf die Ausgangsdefekte der Anzahl der Knochenwände und Materialien 66

Tabellen **Seite**

1 Entwicklung des Plaque-Indexes in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen 52
2 Entwicklung des Gingiva-Indexes in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen 52
3 Entwicklung des BOP-Indexes in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen 53
4 Entwicklung des Furkationsbefalls in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen 54
5 Entwicklung des Lockerungsgrades in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen 57
6 Entwicklung des Plaque-Indexes in der Gruppe der intaalveolären Defekte 59
7 Entwicklung des Gingiva-Indexes in der Gruppe der intaalveolären Defekte 59
8 Entwicklung des BOP-Indexes in der Gruppe der intaalveolären Defekte 60
9 Entwicklung des Lockerungsgrades in der Gruppe der intaalveolären Defekte 63
10 Entwicklung des Furkationsbefalls in der Gruppe der intaalveolären Defekte 64

11	Ergebnisse der Röntgenbildvermessungen	67
12	Darstellung der Ausgangsdaten der operierten Furkationsbefälle	114
13	Entwicklung der Sondierungstiefe und Gingivaler Rezession in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen im Verlauf der Studie	115
14	Entwicklung des Attachmentlevels im Verlauf der Studie und Attachmentgewinn nach 36 Monaten in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen	115
15	Furkationsbefall Erfolg	116
16	Darstellung der Ausgangsdaten der operierten intraalveolären Defekte	117
17	Entwicklung der Sondierungstiefe, Gingivaler Rezession und Attachmentlevel in der Gruppe der intraalveolären Defekte im Verlauf der Studie	118
18	Erfolg Sondierungstiefe, Gingivale Rezession, Attachmentlevel nach 36 Monaten in der Gruppe der intraalveolären Defekte	119
19	Erfolg Sondierungstiefe, Gingivale Rezession, Attachmentlevel ausgehend vom Ausgangsdefekt (Anzahl der Knochenwände)	119

8.2. Tabellen

Tabelle 12

Darstellung der Ausgangsdaten der operierten Furkationsbefälle

Parameter	PerioGlas® n = 18	ResolutXT® n = 15
Anteil Geschlecht	♀ 15 - ♂ 3 (83,3%) - (16,7%)	♀ 10 - ♂ 5 (66,7%) - (33,3%)
Raucher	0	2
Mundatmer	0	3 (20%)
2 x Putzen pro Tag	9 (50%)	11 (73,3%)
3 x Putzen pro Tag	9 (50%)	2 (13,3%)
4 x Putzen pro Tag		2 (13,3%)
Zahnseide	ja 10 (55,6%) nein 8 (44,4%)	ja 7 (46,7%) nein 8 (53,3%)
Interdentalbürste	ja 15 (83,3%) nein 3 (16,7%)	ja 11 (73,3%) nein 4 (26,7%)
Mundspüllösung	ja 5 (27,8%) nein 13 (72,2%)	ja 1 (6,7%) nein 14 (93,3%)
Zahn überkront	1 (5,6%)	8 (53,3%)
operierte Zähne		
16	6 (33,3%)	
17	2 (11,1%)	
26	3 (16,7%)	6 (40%)
27	2 (11,1%)	3 (20%)
36		2 (13,3%)
37		1 (6,7%)
46	2 (11,1%)	1 (6,7%)
47	3 (16,7%)	2 (13,3%)

Tabelle 13

Entwicklung der Sondierungstiefe und Gingivaler Rezession in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen im Verlauf der Studie

Materialgruppe: PerioGlas® N = 18

	pdbl	pd12m	pd24m	pd36m	grbl	gr12m	gr24m	gr36m
Mittelwert	6,11	3,78	3,78	3,44	2,61	2,39	2,06	2,50
Median	7,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Standardabweichung	1,57	1,06	1,96	1,38	1,72	2,09	1,96	1,62
Minimum	2	2	1	2	0	0	0	0
Maximum	8	6	7	6	6	7	6	6

pd Sondierungstiefe (probing depth)
gr Gingivale Rezession
bl Baseline, 12m nach 12 Monaten, 24m nach 24 Monaten, 36m nach 36 Monaten

Materialgruppe: ResolutXT® N = 15

	pdbl	pd12m	pd24m	pd36m	grbl	gr12m	gr24m	gr36m
Mittelwert	6,80	3,53	4,47	3,67	3,33	3,73	2,73	2,67
Median	7,00	3,00	5,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00
Standardabweichung	2,70	1,41	1,85	1,234	1,35	1,83	1,49	1,54
Minimum	2	2	2	2	1	0	1	0
Maximum	12	7	9	6	5	6	6	6

Tabelle 14

Entwicklung des Attachmentlevels im Verlauf der Studie und Attachmentgewinn nach 36 Monaten in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen

Materialgruppe: PerioGlas® N = 18

	calbl	cal12m	cal24m	cal36m	cal36pos
Mittelwert	8,44	6,17	5,83	5,94	2,50
Median	8,50	6,00	5,00	6,00	3,00
Standardabweichung	2,48	2,04	2,91	2,10	2,43
Minimum	4	4	1	2	-3
Maximum	12	11	12	11	6

cal Klinischer Attachmentlevel (Clinical Attachment Level)
bl Baseline, 12m nach 12 Monaten, 24m nach 24 Monaten, 36m nach 36 Monaten

Entwicklung des Attachmentlevels im Verlauf der Studie und Attachmentgewinn nach 36 Monaten in der Gruppe der Furkationsbeteiligungen

Materialgruppe: ResolutXT® N = 15

	calbl	cal12m	cal24m	cal36m	cal36pos
Mittelwert	9,60	7,13	7,20	6,33	3,2667
Median	10,00	7,00	7,00	6,00	3,0000
Standardabweichung	3,33	1,81	1,971	1,63	4,30
Minimum	3	3	4	4	-3,00
Maximum	17	9	11	9	12,00

cal36pos Attachmentgewinn nach 36 Monaten

Tabelle 15

Furkationsbefall Erfolg

Material		Anzahl	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
PerioGlas	keine Veränderung	1	5,6	5,6	5,6
	Verbesserung	17	94,4	94,4	100,0
	Gesamt	18	100,0	100,0	
ResolutXT	keine Veränderung	4	26,7	26,7	26,7
	Verbesserung	11	73,3	73,3	100,0
	Gesamt	15	100,0	100,0	

Tabelle 16

Darstellung der Ausgangsdaten der operierten intraalveolären Defekte

Parameter	PerioGlas® n = 68	ResolutXT® n = 15
Anteil Geschlecht	♀ 42 - ♂ 26 (50,6%) - (31,3%)	♀ 10 - ♂ 5 (12%) - (6%)
Raucher	2	2
Mundatmer	4	0
2 x Putzen pro Tag	48 (57,8%)	11 (13,3%)
3 x Putzen pro Tag	14 (16,9%)	4 (4,8%)
4 x Putzen pro Tag	6 (7,2%)	
Zahnseide	ja 56 (67,5%) nein 12 (14,5%)	ja 12 (14,5%) nein 3 (3,6%)
Interdentalbürste	ja 63 (75,9%) nein 5 (6%)	ja 12 (14,5%) nein 4 (4,8%)
Mundspüllösung	ja 26 (31,3%) nein 42 (50,6%)	ja 9 (10,8%) nein 6 (7,2%)
Zahn überkront	22 (26,5%)	2 (2,4%)

Tabelle 17

Entwicklung der Sondierungstiefe, Gingivaler Rezession und Attachment-level in der Gruppe der intraalveolären Defekte im Verlauf der Studie

Materialgruppe: PerioGlas® N = 68

	pdbl	pd12m	pd24m	pd36m	grbl	gr12m	gr24m	gr36m
Mittelwert	7,25	3,62	3,54	3,96	2,00	1,97	1,38	1,87
Median	7,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	2,00
Standardabweichung	1,49	1,58	1,64	1,66	1,92	1,57	1,39	1,46
Minimum	2	1	1	2	0	0	0	0
Maximum	10	9	9	9	6	6	6	5

pd Sondierungstiefe (probing depth)
gr Gingivale Rezession
bl Baseline, 12m nach 12 Monaten, 24m nach 24 Monaten, 36m nach 36 Monaten

	calbl	cal12m	cal24m	cal36m
Mittelwert	9,25	5,59	4,93	9,25
Median	9,00	6,00	5,00	9,00
Standardabweichung	2,52	2,51	1,92	2,52
Minimum	2	1	2	2
Maximum	15	14	11	15

Materialgruppe: ResolutXT® N = 15

	pdbl	pd12m	pd24m	pd36m	grbl	gr12m	gr24m	gr36m
Mittelwert	8,00	3,67	3,73	3,27	3,27	4,13	3,27	3,67
Median	7,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	3,00	3,00
Standardabweichung	1,65	1,63	2,19	1,67	1,91	1,41	1,94	1,76
Minimum	6	2	1	2	0	1	0	1
Maximum	12	6	9	8	6	6	6	6

pd Sondierungstiefe (probing depth)
gr Gingivale Rezession
bl Baseline, 12m nach 12 Monaten, 24m nach 24 Monaten, 36m nach 36 Monaten

	calbl	cal12m	cal24m	cal36m
Mittelwert	11,13	7,80	6,87	6,87
Median	12,00	7,00	7,00	7,00
Standardabweichung	2,10	1,61	2,50	1,89
Minimum	7	5	3	4
Maximum	14	11	12	11

Tabelle 18

Erfolg Sondierungstiefe, Gingivale Rezession, Attachmentlevel nach 36 Monaten in der Gruppe der intraalveolären Defekte

	PerioGlas® N =68			ResolutXT® N = 15		
	pd36pos	gr36pos	cal36pos	pd36pos	gr36pos	cal36pos
Mittelwert	3,29	,13	3,49	4,73	-,40	4,27
Median	4,00	,00	4,00	5,00	,00	4,00
Standardabweichung	2,12	1,47	2,59	2,19	1,24	2,74
Minimum	-4,00	-3,00	-6,00	-1,00	-3,00	-2,00
Maximum	7,00	3,00	9,00	9,00	2,00	8,00

pd36pos Reduzierung der Sondierungstiefe nach 36 Monaten
gr36pos Reduzierung der Gingivalen Rezession nach 36 Monaten
cal36pos Attachmentgewinn nach 36 Monaten

Tabelle 19

Erfolg Sondierungstiefe, Gingivale Rezession und Attachmentlevel ausgehend vom Ausgangsdefekt (Anzahl der Knochenwände)

Materialgruppe: PerioGlas® N = 68

Anzahl der Knochenwände		N	Mittelwert	Standard-abweichung	Min	Max	Median
KW 1 einwandig	PD-Erfolg	4	4,75	2,22	2,00	7,00	5,00
	GR-Erfolg	4	-2,00	0,82	-3,00	-1,00	-2,00
	CAL-Erfolg	4	2,75	2,22	0,00	5,00	3,00
KW 2 zweiwandig	PD-Erfolg	24	2,54	2,26	-3,00	5,00	3,50
	GR-Erfolg	24	0,33	1,63	-3,00	3,00	1,00
	CAL-Erfolg	24	2,88	3,01	-6,00	7,00	4,00
KW 3 dreiwandig	PD-Erfolg	36	4,06	1,19	1,00	6,00	4,00
	GR-Erfolg	36	0,31	1,28	-3,00	3,00	0,00
	CAL-Erfolg	36	4,47	1,58	1,00	9,00	4,00
KW 4 trichterförmig	PD-Erfolg	4	-0,50	2,52	-4,00	2,00	0,00
	GR-Erfolg	4	-0,50	0,58	-1,00	0,00	-0,50
	CAL-Erfolg	4	-1,00	2,16	-4,00	1,00	-0,50

8.3. Verzeichnis der verwendeten Geräte und Materialien

Neben dem üblichen zahnärztlichen und chirurgischen Instrumentarium kamen die im Folgenden aufgeführten Geräte und Materialien zum Einsatz. Zusätzlich zu den Handelsnamen der Produkte sind der Hersteller und eine Kurzbeschreibung angegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass geschützte Namen in dieser Arbeit nicht gekennzeichnet sind. Aus dem Fehlen einer Kennzeichnung kann daher nicht geschlossen werden, dass es sich um freie Warennamen handelt.

Corsodyl-Lösung, *SmithKline Beechham Pharma GmbH & Co. KG, München, Deutschland* (Spüllösung mit Chlorhexidindiglukonat 0,2 %)

Desmoclean*, Meyer-Haake GmbH, Oberursel, Deutschland* (Rotierenden Instrumente zur Wurzelglättung)

Dexon 2 (5-0 metric, ½ Nadel), *Sheerwood Davis & Geck, St. Louis, MO, USA* (resorbierbares Nahtmaterial aus Polyglykolsäurederivaten zur Befestigung der Membran)

Ektaspeed Plus Dental Film (EP-22P), *Kodak Eastman Company, Rochester, NY, USA* (dentaler Röntgenfilm für intraorale Aufnahmen)

Elmex gelée, *GABA GmbH, Lörrach, Deutschland* (Fluoridgl mit 10.500 ppm F^- zur lokalen Anwendung)

Erythrosin 7%, *Hausapotheke des Klinikums der Philipps-Universität Marburg)* (als Plaquerelevator benutzter synthetischer Xanthenfarbstoff E 127)

Flach- und Spitzbürste (REF 206 und 207), *Alfred Becht GmbH, Offenburg, Deutschland* (schraubbare Reinigungsbürstchen)

Gelbe Blitzer (Nr. 605650), *Hager & Werken GmbH, Duisburg, Deutschland* (schraubbare Reinigungskelche)

Gore Resolut XT Regenerative Material, *W.L.Gore & Associates Inc., Flagstaff, AZ, USA* (synthetische bioresorbierbare Membran)

Gore-tex Suture (CV-5, 3/8 Nadel), *W.L.Gore & Associates Inc., Flagstaff, AZ, USA* (nichtresorbierbares Nahtmaterial aus ePTFE zur Fixierung des Mukoperiostlappens)

Gracey-Küretten (After- und Mini-Five), Scaler H6H7, Scaler 204S, *Hu-Friedy, Mfg. Co. Inc., Chicago, IL, USA* (Scaler und Küretten)

Kalt-Sofort-Kompressen, *Gello GmbH, Ahaus, Deutschland* (Kältekompressen)

Nabers-Sonde (PQ 2N / S 21S12), *Hu-Friedy Mfg. Co. Inc., Chicago, IL, USA* (Furkationssonde)

Oral-B Interdental Brush System, *Oral-B Laboratories, Belmont, CA, USA* (Interdentalraumbürstchen)

Oralix 65 (65 kV, 7.5 mA, SN 7900947 Rö.), *Philips Medical System, Philips GmbH, Hamburg, Deutschland* (Dentalröntgengerät für intraorales Kleinbildröntgen)

PerioGlas (Bioglass Synthetic Bone Graft Particulate), *USBiomaterials Corp., Alachua, FL, USA* (bioaktives Glas)

Periomat Plus 1307-01, *Dürr Dental GmbH & Co. KG, Bietigheim-Bissingen, Deutschland* (Entwicklungsgerät für Dentalrötgenfilme)

Per-io-tor, *Dentatus, USA Ltd., New York, NY, USA* (oszillierende Instrumente zur Wurzelglättung)

Plast-o-Probe (Plastic Probe G 180 B), *Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz* (Parodontalsonde)

Prophyflex 2, *KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland* (Pulverstrahlgerät zur Zahnreinigung)

Rinn-Tubus (Modell 71-1410), *Rinn Corp., Elgin, IL, USA* (Röntgen-Langtubus)

Sonicflex, *KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland* (Ultraschallhandstück)

SonicScaler, *KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland* (Ultraschallansätze)

SPSS für Windows 11.5.1, *SPSS Inc., Chicago, IL, USA* (Statistik-Software)

SuperFloss, *Oral-B Laboratories, Belmont, CA, USA* (Zahnseide)

Ultracain DS (Articain 4 % mit Epinephrin 1: 200000), *Hoechst Marion Roussel Deutschland GmbH, Frankfurt a. M., Deutschland* (Lokalanästhetikum)

WHO-Sonde (PCP 11.5 B), *Hu-Friedy Mfg. Co. Inc., Chicago, IL, USA* (Parodontalsonde)

9.1. Lebenslauf

Name:	Kerstin Sonnenschein, geb. Lehne
Geburtsdatum:	11.04.1972
Geburtsort:	Arnsberg/Sauerland
Familienstand:	verheiratet
Nationalität:	deutsch
Eltern:	Claus Lehne, Alexa Lehne
Anschrift:	Hasenkopf 34, 59846 Sundern

Schullaufbahn

1978 – 1982	Mariengrundschule Sundern
1982 – 1989	Städtisches Gymnasium Sundern (bis 11/1)
1989 – 1991	Mariengymnasium Arnsberg (ab 11/2)
1991	Abitur am Mariengymnasium Arnsberg

Studium

1991 – 1997	Studium der Zahnheilkunde Philipps-Universität, Marburg
September 1992	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
April 1994	Zahnärztliche Vorprüfung
Juni 1997	Zahnärztliches Staatsexamen

Beruf

01.09.1997-30.05.1998	Tätigkeit als Ausbildungsassistentin Praxis Dr. Elmar Erpelding, Altena/Westfalen
01.06.1998-30.08.1999	Tätigkeit als Ausbildungsassistentin Praxis Dr. Georg Albert, Treysa
01.10.1999-30.03.2000	Selbständig tätig in zahnärztlicher Gemeinschaftspraxis mit Stephan Caspar in Haina / Kloster
01.04.2000-30.09.2003	Selbständig tätig in zahnärztlicher Gemeinschaftspraxis mit Martin Sobotzki in Marburg / Lahn

01.10.2003-30.09.2005	Selbständig tätig in zahnärztlicher Gemeinschaftspraxis mit Martin Sobotzki und Dr. Axel Sonnenschein in Marburg / Lahn
Seit 1.10.2005	Selbständig tätig in zahnärztlicher Gemeinschaftspraxis mit Dr. Axel Sonnenschein in Sundern / Sauerland

Sundern, den 04.04.2009

9.2. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die folgenden Damen und Herren Dozenten und Professoren:

Ammon, Aumüller, Aurich, Austermann, Beato, Bittinger, Dibbets, Feuser, Flores-de-Jacoby, Fuhrmann, Gente, Gloerfeld, Habermehl, Hochban, Karlson, Katschinsky, Kern, Klötzer, Koolmann, Lammel, Lange, Lehmann, Lotzmann, Löffler, Mengel, Mittag, Pieper, Radsak, Ramaswamy, Richter, Rinze, Schachtschabel, Schumacher, Seitz, Stachniss, Steininger, Stelzel, Umstadt, Wenz, Werner, Westermann, Wisser, Zelder.

9.3. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. R. Mengel für die freundliche Überlassung des Themas und die konstruktive Unterstützung während der Durchführung der Studie und beim Verfassen der Dissertation.

Weiterhin danke ich Herrn Andre Scherag für seine Geduld und Hilfestellung bei der statistischen Auswertung des Datenmaterials.

Ganz besonderer Dank an Axel, der nie aufgehört hat, an mich zu glauben.

9.4. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Humanmedizin zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Behandlung des Furkationsbefalls und intraalveolärer Defekte bei Patienten mit fortgeschrittener chronischer Parodontitis durch resorbierbare Membran und bioaktives Glas. Ergebnisse einer klinischen und radiologischen Langzeitstudie“ in der Abteilung für Parodontologie des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Phillipsuniversität Marburg unter der Anleitung von Herrn Prof. Dr. R. Mengel ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Verfassung der Dissertation keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- und ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Sundern, den 04.04.2009