

# **Gingivaabrasionen durch unterschiedliche Zahnbürstenmodelle**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

Enas Semaan  
aus Nahariya/Israel

2008

Angefertigt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. M. Frentzen
2. Gutachter: Prof. Dr. W. Götz

Tag der Mündlichen Prüfung: 25.08.2008

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Direktor: Prof. Dr. Dr. S. Jepsen

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn  
[http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert.

Meinen Eltern und Geschwistern



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1. Einführung	6
1.2. Epidemiologie der Gingivarezessionen	7
1.3. Struktur und Funktion der attached Gingiva	9
1.4. Die mechanische Schädigung der Gingiva und ihre Folgen	11
1.4.1. Formen gingivaler Traumata	12
1.4.2. Pathogenese gingivaler Traumata	14
1.4.3. Prävention und Therapie von gingivalen Traumata	15
1.4.4. Zahnbürstentypen und Bürstetechniken	17
1.5. Untersuchungsmethoden zur Darstellung von pflegebedingten Gingivaschäden	20
1.6. Fragestellung	23
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>24</b>
2.1. Auswahl der verwendeten Handzahnbürsten	24
2.2. Auswahl der Probanden	26
2.3. Versuchsprotokoll und Bewertungsmethoden	27
2.4. Datenerfassung und Statistik	31
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>33</b>
3.1. Rasterelektronenmikroskopische Befunde	33
3.2. Klinische Befunde	37
<b>4. Diskussion</b>	<b>41</b>
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>48</b>
<b>6. Anhang</b>	<b>49</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>8. Danksagung</b>	<b>61</b>

## 1. Einleitung

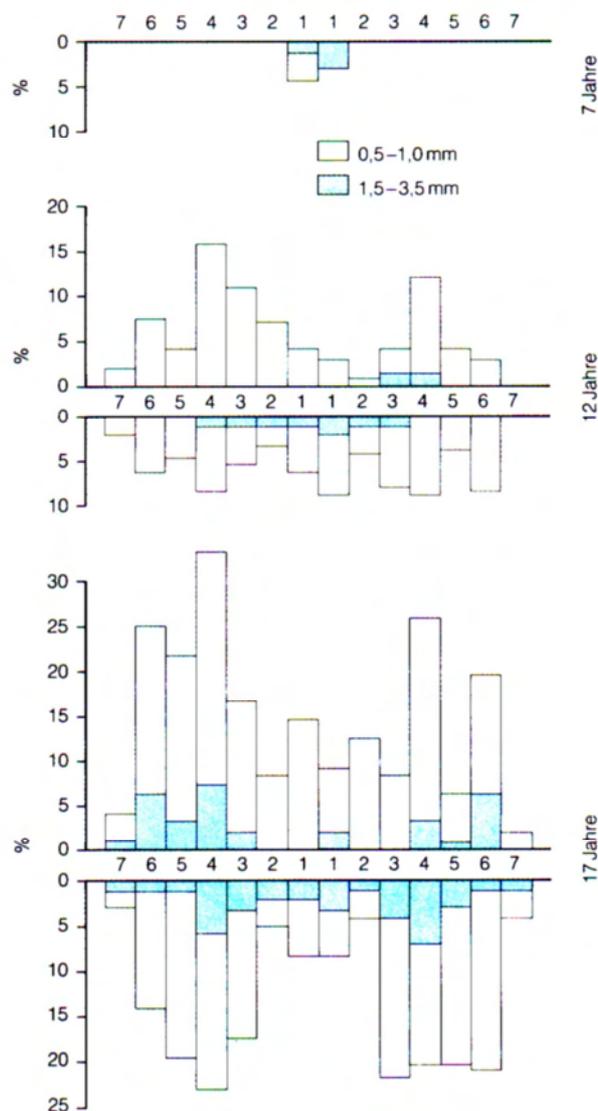
### 1.1 Einführung

Dank der in den letzten Jahren vermehrt durchgeführten Prophylaxe-Programme und nicht zuletzt durch die entsprechende Präsenz in den Medien ist auch in Zukunft mit einer Steigerung des Mundhygienebewusstseins zu rechnen. Möglicherweise führt diese im Sinne der Kariesprophylaxe positiv zu wertende Motivation jedoch zu einer zunehmenden Traumatisierung der Gingiva.

In Bezug auf den Stellenwert der oralen Hygiene galt die Bundesrepublik Deutschland, gemessen an anderen hochindustrialisierten Ländern wie den USA, den skandinavischen Ländern, der Schweiz oder Australien, jahrelang als rückständig. In den letzten Jahren hat sich die Situation jedoch entscheidend verbessert, so dass die DAJ-Studie (Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege) deutschlandweit einen Rückgang des DMF-T-Wertes von 2,44 auf heute noch 0,98 bei Kindern im Alter von zwölf Jahren während der letzten zehn Jahre zeigt. Die Gründe hierfür sieht die DAJ in einem gestiegenen Gesundheitsbewusstsein des Einzelnen, sowie dem Zusammenspiel von Gruppen- und Individualprophylaxe (Arbeitsgemeinschaft Zahngesundheit 2005). Auch die Industrie trägt ihren Teil dazu bei, indem sie ständig neuere Zahnpflege- bzw. Mundhygienehilfsmittel auf den Markt bringt. Mit der verbesserten Mundhygiene und dem Rückgang von Karies ist jedoch eine Zunahme an traumatogenen und involutiven Parodontopathien einhergegangen. Statt kariöser Läsionen treten nun mehr keilförmige Defekte in den Vordergrund therapeutischer Bemühungen. Auch neben der Parodontitistherapie sind mukogingivalchirurgische Maßnahmen zur Rezessionsbehandlung immer häufiger indiziert.

## 1.2 Epidemiologie der Gingivarezessionen

Die gingivale Rezessionen sind bei Kindern vornehmlich in Ländern mit hohem Präventionsniveau zu beobachten. In Finnland konnte gezeigt werden, dass bereits siebenjährige Kinder Rezessionen an den Unterkiefer-Frontzähnen aufweisen und 75% der siebzehnjährigen rezessive Veränderungen von 3 mm und mehr, verteilt über das ganze Gebiss, haben (Ainamo et al. 1986). Die Rezessionen sind dort am häufigsten, wo die Zahnbürste am intensivsten zum Einsatz kommt (Abb. 1).



**Abb. 1:** Verteilung der gingivalen Rezessionen bei Jugendlichen im Alter von 7, 12, und 17 Jahren (Ainamo et al. 1986), die die Häufigkeit in den betroffenen Regionen zeigt (Eckzahn- und Prämolarenbereich).

Es steht fest, dass gerade Kinder nicht immer adäquat mit der Zahnbürste umgehen. Eine Zahnreinigung wird von Jugendlichen in durchschnittlich weniger als 60 Sekunden durchgeführt. In dieser Zeiteinheit werden bestimmte Gebissabschnitte und somit auch das Zahnfleisch bis zu 200 Mal mit der Zahnbürste „bearbeitet“, während andere Regionen überhaupt nie erreicht werden (McGregor et al. 1986).

In Deutschland konnten im Rahmen einer größeren epidemiologischen Untersuchung bei einem verhältnismäßig hohen Anteil der Patienten Gingivarezessionen nachgewiesen werden (Kleber und Schenk 1989). Auch im Erwachsenenalter wurden nicht selten lokale parodontale Rezessionen (IpR) festgestellt: 39,4% bei 20-24 jährigen, 44,3 % bei 35-44jährigen. Vor allem in der Altersgruppe 20 bis 24 Jahre scheint eine relative Häufung von 44,4 % bei den Patienten vorzukommen. Die Werte liegen noch über den Ergebnissen von Mierau und Fiebig – 19,3% –, die im Jahre 1986 ermittelt wurden. Ebenfalls wurden bei der Untersuchung von 1000 Soldaten der Bundeswehr im Alter von 18-22 Jahren im Jahre 1987 bei mehr als 23% der Untersuchten Gingivarezessionen festgestellt (Frentzen et al. 1989). Eine Vielzahl von Faktoren scheint das Auftreten von Rezessionen mehr oder weniger zu beeinflussen. Auffällig war, dass Patienten mit Rezessionen offensichtlich solche waren, die im Bemühen um eine Intensivierung der Zahnpflege ihre Zahnbürste in kürzeren Abständen wechselten. Zur Mundhygiene gehört also auch die Auswahl der richtigen Zahnpflegehilfsmittel, was für den Patienten / Verbraucher bei dem ständig wachsenden Angebot von Zahnbürsten und Zahnbürsten-Systemen immer schwieriger wird.

Das Prävalenzmuster und die Befallshäufigkeit der am meisten betroffenen Zähne zeigt für die vestibulär lokalisierten parodontalen Rezessionen (IpR) folgende Reihenfolge: 44, 23, 34, 13, 14, 24, 43 (Kleber 1991). Zweifellos sind die vestibulären Zahnflächen vom parodontalen Attachmentverlust im Zuge der IpR eindeutig mehr betroffen als die lingualen bzw. palatinalen. Die Verteilung der vestibulären IpR zwischen ober- und Unterkiefer war ungefähr gleich.

Dabei scheint eine Häufung bei den jüngeren Patienten vorhanden zu sein. Andererseits gibt Raetzke (1988) eine Häufigkeitszunahme der lokalisierten parodontalen Rezessionen mit steigendem Lebensalter an.

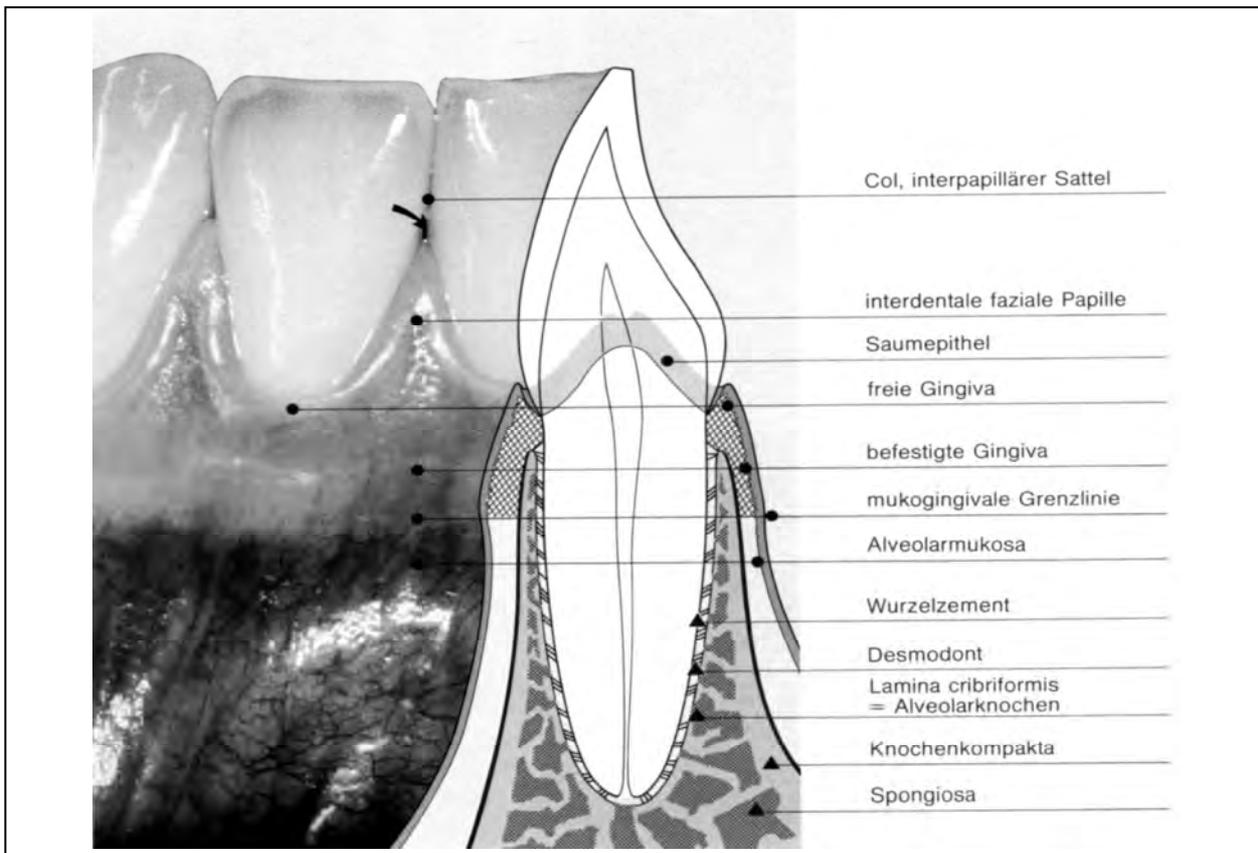
Wie auch schon Mierau und Fiebig (1986) in einer epidemiologischen Untersuchung an 2410 18- bis 22jährigen feststellten, besteht offensichtlich ein Unterschied in der

Prävalenz von lokalisierten parodontalen Rezessionen zwischen Rechts- und Linkshändern. Dies scheint aber nicht auf einer Kieferhälfte beschränkt zu sein (z.B. Rechtshänder haben vermehrt in der linken Kieferhälfte lokalisierte parodontale Rezessionen), sondern wie in anderen Untersuchungen (Kleber 1991) nachgewiesen werden konnte, zeigten sich bei Rechtshändern generell mehr und größer ausgeprägte lokalisierte parodontale Rezessionen in beiden Kieferhälften. Darüber hinaus sind die Prävalenzunterschiede auch auf die Ätiologie zurückzuführen. In einer Longitudinalstudie in Sri Lanka wiesen 100 Prozent der Untersuchten im Alter von 40 mit mangelnder Mundhygiene mehr Rezessionen als eine vergleichbare Population in Norwegen auf, die eine verbesserte orale Hygiene aufzeigten (Litonjua et al. 2003).

### 1.3 Struktur und Funktion der Attached Gingiva

Die Mundhöhle ist kontinuierlich von Schleimhaut ausgekleidet. Der Schleimhautanteil, der koronal der Alveolarmukosa die Zähne umgibt, wird als Gingiva bezeichnet (Abb. 2). Die Gingiva schließt den Zahnhalteapparat (und darüber hinaus das eigentliche Körperinnere) schützend gegenüber der Außenwelt von mechanischen, thermischen und mikrobiologischen Einflüssen ab. Auch hat die Gingiva eine wichtige ästhetische Rolle inne (Rateitschak und Wolf 1984). Man unterscheidet die marginale freie, ca. 1,5 mm breite, von der sehr unterschiedlich breiten befestigten (attached Gingiva, Gingiva propria) und der interdentalen Gingiva. Klinisch wird die gesunde Gingiva durch bestimmte Merkmale der Form, Farbe und Konsistenz charakterisiert. Bei Menschen nordeuropäischer Herkunft ist die Gingiva blassrosa, korallen- oder malvenfarben. Melanozyten können in südeuropäischen, afrikanischen und asiatischen Populationen eine mehr oder weniger dunkle Farbe der Gingiva bewirken. Ein häufiger Befund an der Gingivaoberfläche ist das Stippling (Stippelung, Tüpfelung). Dies bezeichnet zahlreiche unregelmäßig verteilte grübchenartige Einsenkungen innerhalb des Gingivaepithels zwischen 0,6 und 1,4 mm Weite sowie zwischen 0,03 bis 0,5 mm Tiefe, die der Gingiva ein orangenschalenartiges Aussehen geben. Sie sind besonders im Frontzahnbereich anzutreffen und stellen nicht, wie früher vermutet, den Ansatzpunkt von Kollagenfasern dar, sondern den Kreuzungspunkt von Epithelleisten und der Epithel-

Bindegewebsgrenzfläche. Das Gingivaepithel ist bis auf den sattelförmigen Bereich, dem „Col“, in dem orale und vestibuläre Papillen ineinander übergehen, ein verhorntes mehrschichtiges Plattenepithel. Es ist 0,2-0,3 mm dick und aus vier ineinander übergehenden Schichten aufgebaut, dem Stratum basale, dem Stratum spinosum, dem Stratum granulosum und dem Stratum corneum. Darunter, durch die Basallamina getrennt, befindet sich die Lamina propria als subepitheliales Bindegewebe. Das Stratum basale ist die mitotisch aktive einlagige Schicht oberhalb der Basallamina, die der Epithelerneuerung dient. Das Stratum spinosum ist variabel hoch, füllt die Mitte der epithelialen Leisten und enthält die sich differenzierenden Zellpopulationen. Das Stratum granulosum enthält nur wenige Zellen. Ihr Zytoplasma beinhaltet Keratohyalin granula, wovon sich der Name dieser Schicht ableitet. Das Stratum corneum bildet die oberflächlichste Schicht, ist variabel dick und besteht aus stark abgeflachten Hornschuppen. Die Zellen aller Schichten sind durch Desmosomen und Gap-junctions miteinander verbunden. Die Dichte der Desmosomen nimmt von basal nach superfizial zu (Schroeder 1992).



**Abb. 2:** Schematischer Aufbau des marginalen Parodonts (aus: Rateitschak und Wolf 1984)

#### 1.4 Die mechanische Schädigung der Gingiva und ihre Folgen

Durch schrubbende und kreisende Zahnbürstbewegungen, bei einem Zahnbürstdruck von mehr als 2 N und auch durch zu langes Zähneputzen treten häufiger Rezessionen und keilförmige Defekte auf (Mierau et al. 1989). Wird die Zahnbürste zu häufig in falscher Richtung mit übermäßigem Druck über das Zahnfleisch bewegt, wird zunächst die keratinisierte Epithellage verletzt: Es entsteht eine Wundfläche. Abhängig von der „Durchhaltekraft“ des Patienten heilt diese Wunde bei entsprechender Schonung innerhalb weniger Tage aus, oder es entsteht eine durch die mechanische Einwirkung erzeugte chronische Entzündung (nicht-plaqueabhängig), die in eine U-förmige Retraktionen der Gingiva kombiniert mit Hyperplasien (McCall-Girlanden) und V-förmigen Läsionen (Stillman-Clefts) übergeht (Goldman et al. 1964).

Eine parodontale Rezession wird definiert als eine lokalisierte, auf die orale und/oder vestibuläre Wurzeloberfläche eines Zahnes begrenzte, klinisch entzündungsfreie Rückbildung des Parodonts. Rezessionen findet man immer dort, wo der Alveolarknochen besonders dünn ausgeprägt ist, bei dem die Spongiosaschicht fehlt, und somit der Einwirkung traumatisierender Kräfte wenig Widerstand bietet (Sangnes et al. 1976). Bei Erwachsenen sind hauptsächlich die vestibulären Flächen des Eckzahns und des Prämolarenbereichs betroffen, bei Kindern sind die Rezessionen im Unterkiefer-Inzisivenbereich lokalisiert. Gelegentlich sieht man sie bei Erwachsenen auch im Oberkiefer-Molarenbereich an den palatinalen Wurzeln (Sangnes und Gjermo 1976).

Die Ätiologie der Rezession wurde lange Zeit kontrovers diskutiert. Verschiedene Faktoren wurden zusammengetragen. Als ursächliche Komponente werden u.a. ein Fehlstand der Zähne, fehlender Knochen, hoch inserierende Frenula und parafunktionelle Habits (Mieler 1985) sowie forcierte kieferorthopädische Zahnbewegung (Wennstroem et al. 1987) genannt. Heute wird die Entstehung der parodontalen Rezession als multikausales Geschehen beschrieben, wobei Mierau (1992) und Geiser et al. (1993) unabhängig voneinander mechanische Traumen durch unsachgemäß durchgeführte Mundhygiene als eigentliche Ursache ausgemacht haben. Voraussetzung für die Rezessionsentwicklung ist die knöchernen Dehizens, die durch alle diese Faktoren beeinflusst wird.

### 1.4.1 Formen gingivaler Traumata

Die Rezessionen werden in der neuen Nomenklatur der parodontalen Erkrankungen, die im „International Workshop for Classification of Periodontal Diseases and Conditions“ 1999 erarbeitet wurde, unter der Klassifikation der mukogingivalen Verhältnisse erwähnt.

Die mechanischen Schädigungsformen des Parodonts werden nach der entsprechenden Nomenklatur der „Deutschen Gesellschaft für Parodontologie“ von 1988 in traumatogene und involutive Formen unterteilt.

Die traumatogenen Formen werden klassifiziert in:

- a) Verletzungen der Gingiva: mechanische, chemische oder thermische Insulte an der Gingiva (z.B. Stillman-Clefts)
- b) Desmodontales Trauma: traumatische, abakteriell-entzündliche Destruktion des tiefen parodontalen Stützgewebes

Die involutiven Formen werden klassifiziert in:

- a) Parodontale Rezessionen: auf die orale und/oder faziale Wurzeloberfläche eines Zahnes begrenzte, klinisch entzündungsfreie Rückbildung des Parodontiums.

Rezessionen werden unterteilt in:

- 1) singuläre parodontale Rezession als parodontale Rezession an einem oder einigen Zähnen/Wurzeloberflächen.
  - 2) generalisierte parodontale Rezession als parodontale Rezession an nahezu allen Zähnen
- b) Alveolaratrophie: entzündungsfreier Schwund des Alveolarknochens einschließlich der Interdentalsepten

Die traumatogenen Formen sind als akutes Ereignis nach einem Trauma zu verstehen, und die involutiven Formen eher als Folge eines über längere Zeit einwirkenden Traumas bzw. einer genetischen Disposition.

Chemische und thermische Gingivaschäden sind selten und zumeist Folge eines Unfalls, während mechanische Schäden durch vielerlei Manipulationen entstehen können. Die häufigste Schädigung ist dabei die Verletzung durch unsachgemäße Verwendung der Zahnbürste (Mierau 1992). Seltener sind Schädigungen durch Habits wie z.B. Bleistiftkauen und Zungenpressen, Verletzung bei Nahrungsaufnahme (Fischgräten) und iatrogene Schädigungen bei der zahnärztlichen Behandlung (Kofferdamklammern). Sangnes und Gjermo (1976) haben in einer klinischen Studie die Häufigkeit der traumatischen Retraktionen festgehalten. Sie fanden bei 51% der Patienten Retraktionen. 18% der Probanden zeigten Stillman-Clefts, 3% wiesen McCall-Girlanden auf. Sie beobachteten eine Zunahme der Rezessionen mit dem Alter, dies bestätigt auch Vehkalahti (1989). Als bevorzugte Lokalisation für diese Läsionen stellte sich der erste Prämolare heraus.

Sandholm et al. (1982) haben eine Klassifikation der Weichgewebsdefekte vorgenommen:

Typ 1: Erosion der Epitheloberfläche

Typ 2: Ein Epithellappen lässt das darunterliegende Gewebe unbedeckt

Typ 3: Einriss des Oberflächenepithels auf einer ansonsten gesunden Gingivaoberfläche

Glickman (1972) charakterisierte zwei akute Zahnbürstentraumata an der Gingiva: Die diffuse Erytheme der Gingiva mit möglichen späteren schmerzhaften Blasen und Erosionen im traumatisierten Gingivabereich und die durch Borsten verursachten, punktuellen Verletzungen und Erosionen des Epithels mit Freilegung des Bindegewebes.

Mierau (1992) macht diese Unterteilung nicht. Für ihn beginnen die Bürstläsionen mit dem Durchdringen des Epithels und dem dadurch freiliegenden Bindegewebe. Als auslösende Faktoren sieht er abgenutzte Zahnbürsten, falsche Putztechnik, unsachgemäßer Gebrauch von Interdentalhygieneutensilien und zu hohe Bürstkraft.

#### 1.4.2 Pathogenese gingivaler Traumata

Stillman-Clefts, die sich innerhalb von 1-2 Tagen im Bereich unterhalb von Rezessionen bilden können, gelten als akuter Läsionstyp. Auslöser hierfür ist eine begrenzte Gewebnekrose der Gingiva, die sich durch Gefäßverschlüsse nach exogenen Traumen im subgingivalen und periostalen Bereich entwickelt (Lange 1990).

McCall-Girlanden sind fibröse, klinisch primär entzündungsfreie Verdickungen der Gingiva, die im Erwachsenenengebiss stets mit parodontalen Rezessionen gemeinsam auftreten. Diese Verdickungen sind Gewebereaktionen u.a. auf zu kraftintensive Hygienemaßnahmen. Problematisch ist die erhöhte Plaqueretention durch die vergrößerte Nischenbildung an der Girlande.

Die bedeckende Gingivagewebsschicht ist erfahrungsgemäß in diesen Regionen sehr dünn ( $\leq 2$  mm). Unter einer auch kleinflächigen Putzläsion bildet sich im Bindegewebe immer eine Entzündungszone. Dadurch angeregt, bildet das Stratum basale Epithelzapfen aus, die sowohl aus der oralen Gingiva als auch aus dem Saumepithel in die Entzündungszone einwachsen. Die Folge ist eine zunehmende Verringerung der ohnehin durch die Entzündung in ihrer Durchblutung eingeschränkten Bindegewebsschicht. Eine ausreichende Ernährung der beiden Epithelformen ist nicht mehr gewährleistet: Es kommt zu lokalisierten Nekrosen und Epitheleinrissen und damit zum Rückgang des Gingivasaums. Ebenso kann die Entzündung, wenn sie bis an den Bereich der fazialen Alveolenwand heranreicht, die Osteoklasten zum Abbau dieser in der Regel ohnehin sehr dünnen Knochenschicht anregen (Plagman 1998).

Lange Zeit wurde auch die Breite der befestigten Gingiva als ein wichtiger Faktor für die parodontale Gesundheit mit der Folge angesehen, dass man versuchte, die Gingiva mit verschiedenen Methoden zu verbreitern (Edlan 1967).

Man vermutete, dass sich bei einer zu schmal befestigten Gingiva Zugmomente aus der beweglichen Alveolarmukosa bis in den Bereich des Sulkus auswirkten, so dass es zu Durchblutungsstörungen oder Einrissen im Saumepithel kommen könnte. Dadurch könnten Schadstoffe aus dem Speichel und der Sulkusnachbarschaft in das Gewebe eintreten und eine lokalisierte, klinisch kaum erkennbare Entzündung provozieren, die in dem ohnehin dünnen Gewebe zu Ernährungsstörungen und damit letztlich zu Rezessionen führen könnten. Diese Vermutung gründete sich auf die Fragestellung,

dass bei einer Breite der befestigten Gingiva von weniger als 2 mm häufiger eine Gingivitis und erhöhte Sulkusfluidfließrate festzustellen waren (Lang und Loe 1972). Die Arbeit von Lang und Loe enthielt aber eher die Empfehlung zur Zurückhaltung und zur kritischen Überprüfung der damals oft sehr großzügig ausgelegten Indikationsstellungen zu Verbreiterungsoperationen.

#### 1.4.3 Prävention und Therapie gingivaler Traumata

Prävention und Therapie bei der Behandlung von Rezessionen sind darauf zu richten, die erwähnten möglichen Ursachen auszuschalten, sowie vor allem die lokale Plaqueanhäufung zu bekämpfen, die eine Sekundärentzündung und ein Fortschreiten der gingivalen Rezessionen begünstigen.

Ergeben sich anhand von Anamnese und Befund Störfaktoren, die ursächlich für die Entstehung der Rezessionen verantwortlich sein können, sollten diese beseitigt werden durch:

- Aufklärung über eine richtige Zahn- und Mundpflege, um eine zusätzliche Traumatisierung der Gingiva durch falsches Bürsten zu verhindern.
- Die Verwendung mittelharter Zahnbürsten und Zahnpasten mit nicht zu hohem Putzkörpergehalt, um freiliegende Zahnhalsregionen und Wurzelabschnitte vor zu starker Abrasion zu schützen. Bei Kindern lässt sich in manchen Fällen ein „frischer“ Gingivarückgang durch Umstellung der Scheuertechnik auf eine kontrollierte gemäßigte Bass-Technik in einem gewissen Umfang wieder aufheben.
- Beseitigung okklusions-bedingter Funktionsstörungen durch zum Beispiel Einschleiftherapie oder Rekonstruktion.
- Abgewöhnung „schlechter Angewohnheiten“. Sollten sich anhand von Anamnese und Befund keine Anhaltspunkte für die Beteiligung exogener oder iatrogenen Faktoren ergeben, steht neben regelmäßiger Kontrollen (Dokumentation), eine gründliche Plaqueentfernung mit der geeigneten Zahnputztechnik und Fluorid-Prophylaxe zur Vermeidung von Wurzelzementkaries sowie die Beruhigung des

Patienten im Vordergrund, da die Prognose bezüglich der Erhaltung der Zähne gut ist.

- Ausschaltung eines lokalen chronischen Reizes bei zahnärztlichen Arbeiten. Alle Präparationen sollten nach Möglichkeit supragingival liegen, denn jede subgingivale Restauration führt zu einer erhöhten Plaqueretention.
- Vermeidung forcierter orthodontischer Kräfte.

Im Rahmen der therapeutischen Möglichkeiten bieten sich einige operative Maßnahmen an, die unter dem Begriff „mukogingivale Chirurgie“ zusammengefasst werden. Ziel dieser Eingriffe ist zum einen die Verbreiterung der angewachsenen Gingiva und Beseitigung von Bänder- und Muskelzug. Ein weiteres Fortschreiten der Rezession soll dadurch verhindert werden (Rateitschak und Wolf 1984). Zum anderen kann mit speziellen Techniken eine Deckung der Rezession erzielt werden. Dazu zählen:

- Frenektomie
- Gingivaextension nach Edlan und Mejchar, modifiziert nach Schmid und Mörmann
- Freies Schleimhauttransplantat
- Koronaler Verschiebelappen
- Lateraler Verschiebelappen
- Bindegewebsstransplantat

Indikationen für die Verbreiterung der angewachsenen Gingiva sind zum einen die Beweglichkeit der marginalen Gingiva bei Zug an Lippe und Wange (Tensionstest), und zum anderen die gesteigerte Blutungsneigung der marginalen Gingiva bei Sondierung trotz guter Mundhygiene (Lange 1981).

Ebenso ist auch bei ästhetischen Problemen im Frontzahnbereich, die eine psychische Belastung darstellen, sowie bei therapieresistenten sensiblen Zahnhälsen und Wurzelzementkaries die Rezessionsdeckung indiziert (Plagmann 1980).

#### 1.4.4 Zahnbürstentypen und Bürstetechniken

Die manuell anzuwendenden Zahnbürsten unterliegen der deutschen Industrienorm (DIN). Die DIN-Norm lässt eine Vielzahl von Variationen zu. Variationen gibt es hauptsächlich im Borstenschnitt und in der Elastizität des Bürstenkopfes. Immer häufiger werden Federungsmechanismen in den Übergang vom Griff zum Kopf oder in den Kopf selbst eingebaut.

Begriffe, Maße und Anforderungen an die Herstellung, Prüfung und Verpackung sind in der DIN 13917 Teil 1 und 2 des Normenausschusses Dental festgelegt (DIN 1988).

Die Norm umfasst die Einteilung nach Personenkreis und Härte, Festlegung der Beschaffenheit der Zahnbürstenteile, die Bezeichnung der Zahnbürsten und damit die Festlegung der DIN-Nummer, die Beschreibung der Zahnbürsten nach Schnitt der Besteckung und Anordnung der Bündel, die Anforderungen an die Zahnbürsten, die Lieferart und Verpackung und die Kennzeichnung.

##### – Einteilung

Zahnbürsten werden nach dem Personenkreis, für den sie bestimmt sind und nach der Härte der Besteckung, die Gesamtheit aller Monofil-Bündel, eingeteilt.

Einteilung nach Personenkreis:

Zahnbürste für	Gruppe
Kinder	1
Jugendliche	2
Erwachsene	3

Einteilung nach Härte:

Härten	Kurzzeichen
weich	W
mittel	M
hart	H

– Beschreibung der Zahnbürste

Zahnbürsten werden anhand des Schnitts, der Besteckung und der Anordnung der Bündel unterschieden. Der Schnitt der Besteckung ist entweder plan, ausgezahnt oder konturiert. Plane oder konturierte Borstenschnitte gibt es mit oder ohne Auszahnung.

Je nach Anordnung der Bündel unterscheidet man zwischen Zahnbürsten mit engem (multi-tufted) und weitem (space-tufted) Bündelabstand. Die Bündel sind entweder parallel und/oder gegeneinander geneigt angeordnet. Gegeneinander geneigte Bündel ergeben eine V- oder eine X-Stellung.

– Anforderung

Zahnbürsten dürfen bei bestimmungsgemäßem Gebrauch keine toxischen Substanzen abgeben.

– Werkstoffe

Die Besteckung besteht aus synthetischen Monofilen. Sie muss hygienisch einwandfrei, sowie frei von unangenehmen Geruch und Geschmack sein.

Das Monofilmaterial besteht aus meist Kunststoffborsten, zum Beispiel Polyamide, Polyethylen und Polyacrylnitrile.

Die Kunststoffborsten sind abriebfester, bruchfester und gleichmäßiger in der Qualität als Naturborsten sowie bis zu sechzig Mal weniger anfällig für die Besiedlung mit Keimen. Aus diesem Grund werden sie heute als Standardmaterial verwendet.

– Abrundung der Monofile

Die Enden der Monofile müssen abgerundet sein.

– Befestigung der Bündel

Die einzelnen Bündel sind so zu befestigen, dass sie bei einer konstanten, direkten Zugkraft von 25 N auf das ganze Bündel nicht vom Bürstenkopf getrennt werden können.

In der einschlägigen Literatur wurden Erkenntnisse aus der Anwendung der verschiedensten Zahnputztechniken nach Indikation beschrieben:

– Abrolltechnik nach McCall

Die Abrolltechnik nach McCall kann angewendet werden bei gesunden Verhältnissen der Gingiva. Dabei wird die Bürste im 45°-Winkel (Rücken zeigt zur Okklusalebene) angesetzt, angedrückt und abgerollt. Nachteil dieser Technik ist die mangelhafte Reinigung des Sulkus (Schneider 1995).

– Modifizierte Bass-Technik

Die modifizierte Bass-Technik wurde entwickelt, um die Nachteile der Abrolltechnik auszugleichen. Die Bürste wird wiederum im 45°-Grad-Winkel angesetzt. Mit einer Amplitude von 1-2 mm wird der Kopf in den Interdentalraum eingerüttelt und anschließend unter gleichmäßigem Druck in elliptischen Bewegungen am Ort vibriert. Zum Abschluss rollt das Bürstenfeld zur Kaufläche hin ab (Bass 1954).

– Modifizierte Stillmann-Technik (Auswischmethode)

Die Auswischmethode beginnt mit dem Ansetzen der Bürste parallel zum Zahn (2mm über Gingiva). Die Bürste wird unter Druck auf einen 45°-Winkel geführt. Horizontales und vertikales Vibrieren führt zur Reinigung des Sulkus (Schneider 1995).

– Rotationsmethode (Fones-Technik)

In maximaler Interkuspitation werden die Vestibulärflächen der Zähne mit großen kreisenden Bewegungen der Bürste gereinigt. Die orale Reinigung erfolgt bei geöffnetem Mund mit kleineren Rotationsbewegungen (Schneider 1995).

– Massage-Methode (Charters-Technik)

Bei der Charters-Technik sollte eine Bürste mit dreireihigem Bürstenfeld und hoher Borstensteifigkeit verwendet werden. Die Bürste wird parallel zur Zahnachse angesetzt (Bürstenrücken ins Vestibulum gerichtet), anschließend unter Abwinkelung in einen 45°-Winkel in den Interdentalraum gedrückt. Die Reinigung erfolgt durch leichte vibrierende

Bewegungen auf der Stelle. Die Charters-Technik wird nur vestibulär angewendet. Oral sollte nach der Bass-Methode gereinigt werden (Frandsen et al. 1972).

– Schrub-Technik

Bei der Schrub-Technik werden die Zahnflächen durch horizontale Schrubbewegungen gereinigt, bei der das Bürstenfeld senkrecht auf die Zahnflächen gerichtet ist und ein variabler Andruck gegen die Zahnreihen erfolgt (Mierau et al. 1989).

### 1.5. Untersuchungsmethoden zur Darstellung von pflegebedingten Gingivaschäden

Dem Nachweis parodontaler Schäden nach der Zahnreinigung mittels verschiedener Zahnbürstensysteme dienten unterschiedliche Untersuchungs-Methoden.

Alexander et al. (1977) untersuchten photospektrometrisch den Grad der Proteinausschwemmung aus gebürstetem Gingivaepithel von Goldhamstern. Er ermittelte so den Einfluss, den die Anzahl der Bürstbewegungen, abgerundete oder nicht abgerundete Borsten, weiche oder harte Borsten und die Verwendung von Zahnpasta hinsichtlich dieses Effektes hatten.

Johnson und McInnes (1994) führten eine sechsmonatige Studie mit 29 Probanden durch, die in dieser Zeit entweder eine manuelle oder eine schallbetriebene Zahnbürste verwendeten. Am Ende der Versuchszeit konnten sie keine Zunahme an Rezessionen bei ihren Probanden feststellen, auch waren am Tage der Abschlussuntersuchung durch ihre klinische Auswertung keine akuten Putzläsionen zu erkennen.

Khoch et al. (1992) untersuchten in einer Vergleichsstudie über vier Wochen die Effizienz und die Sicherheit dreier Zahnbürsten. 96 Probanden stellten sich zur Verfügung und putzten sich während dieser Zeit mit jeweils einem der drei Systeme ihre Zähne. Nach zwei oder nach vier Wochen wurden die Plaqueentfernung, Gingivitis und Schäden an der Gingiva beurteilt. Die Beurteilung der Gingiva erfolgte rein visuell.

Kuntsche und Lange (1978) vermaßen histologisch die Beeinflussung der Keratinisation des Gingivaepithels durch Bürststimulation. Sie wiesen zudem Unterschiede im Grad der Epithelschädigung durch die unterschiedlichen Zahnbürsten nach, die in der Studie zum Einsatz kamen. Die Stimulation wurde 3x pro Woche über einen Zeitraum von 6

Wochen durchgeführt. Versuchstiere waren vietnamesische Minischweine. Entnommene Exzisate wurden in Kunststoff eingebettet, mit dem Ultramikrotom zu Semidünnschnitten verarbeitet, gefärbt und mit einem halbautomatischen Bildanalysegerät ausgewertet.

Breitenmoser et al. (1979) untersuchte bei 30 Patienten die Auswirkung der Borstenabrundung auf das Schädigungspotential zweier Handzahnbürsten. In jeweils zwei Sitzungen in vierzehntägigem Abstand putzen die Probanden mit definiertem Druck 30 Sekunden lang einen umgrenzten Zahn-Gingiva-Bereich. Dieser wurde anschließend erst rein visuell und dann nach Anfärben mit Plaque-Indikator auf Bürstschäden hin untersucht.

Sandholm et al. (1982) wiesen klinisch und elektromikroskopisch Putzschäden nach. Die Zähne von 12 auszubildenden Fachhelferinnen wurden nach zwei Tagen eingestellter Hygiene von einer Dentalhygienikerin geputzt. Verwendet wurden Handzahnbürsten unterschiedlicher Härte und Zahnpasten unterschiedlicher Abrasivität. Danach wurden entstandene Schäden visuell klassifiziert, dann abgeformt und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Ebenfalls rasterelektronenmikroskopisch wiesen Kontturi-Närhi et al. (1989) Gingivaschädigungen nach, die in ihrem Fall allerdings durch das Airpolishing im Rahmen der professionellen Zahnreinigung ausgelöst wurden. Sie formten dazu die betroffenen Bereiche einmal nach der Behandlung ab und erstellten Modelle, deren Oberfläche danach mit dem Elektronenmikroskop betrachtet wurde.

Plagmann et al. (1978) beurteilte die mechanische Beeinflussung des Epithels durch zwei verschiedene Handzahnbürsten sowohl lichtmikroskopisch, als auch rasterelektronenmikroskopisch. Sie bürsteten vier Wochen lang 3x wöchentlich die „attached“ Gingiva von Minischweinen. Nach zwei und vier Wochen entnahmen sie Gewebeexzisate und fixierten sie in Glutaraldehyd. Eine Hälfte der Exzisate wurden durch die „kritische Punkt-Trocknung“ getrocknet, mit Gold bedampft und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Die andere Hälfte wurde in Kunststoff eingebettet. Es wurden Semidünnschnitte hergestellt und diese dann histologisch ausgewertet. Savill et al. (1998) analysierten die Veränderungen der Hart- und Weichgewebe ebenfalls mit Hilfe der Replika-Technik. Die Repliken wurden dann mit einem Messapparat digitalisiert, der mit einer Infrarotsonde kombiniert war. Auf diese Weise konnte die dreidimensionale Darstellung sowie das Oberflächenprofil der Hart- und Weichgewebestrukturen metrisch dargestellt werden. Nach Anwendung der Bürste

erfolgte erneut eine Replika-Herstellung mit anschließender Digitalisierung. Schließlich war es dadurch möglich, die digitalisierten Bilder, die vor und nach der Zahnreinigung angefertigt wurden, aufeinander zu projizieren. Konstante Referenzpunkte, die außerhalb der Untersuchungsgebiete befanden, ermöglichten die Übereinanderlagerung der digitalisierten Bilder. Dadurch wurden dann die morphologischen Veränderungen quantitativ bestimmt.

In einer weiteren Studie wurde bei einem Tierversuch an Ratten die Auswirkung der Bürststimulation auf die Epithelzellen untersucht. Nach intravenöser Injektion von Fluoreszein-gekoppeltem Dextran wurden Gingiva und Zunge für jeweils 2 Minuten mit einer elektrischen Zahnbürste, mit Borsten der mittleren Härte, gebürstet, die der Anatomie der Ratten angepasst worden. Die Exzisate wurden nach immunhistochemischer Bearbeitung an einem Gefriermikrotom zu Semidünnschnitten verarbeitet. Diese Präparate des entnommenen Gewebes wurden mittels konfokaler Laser-Scanning-Mikroskopie analysiert. Die quantitative Bewertung der unterschiedlichen Zellschichten des gingivalen Epithels erfolgte randomisiert an Abbildungen der Test- und Kontrollgruppe (Amano et al. 2007).

Alle konnten mittels ihrer Methoden mechanische Schäden nachweisen und durch das Ausmaß der Schäden Rückschlüsse auf die Beeinflussung durch verschiedene Manipulationen der Schleimhaut ziehen.

## 1.6 Fragestellung

Mireau et al. (1983) sehen die Zahnbürstenbeschaffenheit und Bürsttechnik auch als einen zentralen Faktor für die Genese von Gingivarezessionen an, weisen aber auch auf die multikausalen Zusammenhänge dieses Geschehens hin. Neben einer kombinierten Beteiligung von überdosierter Bürstkraft mit einer zu langen Einwirkungszeit hängt die Rezessionsbildung auch von anatomisch-physiologischen Voraussetzungen ab, wie einem dünnen, vestibulären Alveolarknochen. Es treten also durch schrubbende und kreisende Zahnbürstbewegungen, bei einem Zahnbürstdruck von mehr als 2 N und auch durch zu langes Zähneputzen, häufiger U-förmige Retraktionen der Gingiva kombiniert mit Hyperplasien (McCall-Girlanden) und V-förmige (Stillman-Clefts) Läsionen auf (Goldman et al. 1964). Um derartige Schäden zu vermeiden und auch, um den Belag möglichst gründlich zu entfernen, werden die Patienten in der Regel in der Bass-Technik oder in deren Modifikationen unterwiesen und bei Vorhandensein von Rezessionen angehalten, ihre Zähne nach der Stillman-Technik zu reinigen. Nachdem aber der Großteil der Bevölkerung größere kreisende oder schrubbende Bewegungen ausübt, die Zahnzwischenräume nicht zusätzlich reinigt und zu wenig Zeit für eine gründliche Reinigung aufbringt, ist die Reinigung oft unzureichend. In Folge dessen werden heutzutage zur modernen Zahnpflege eine Vielzahl an verschiedenen Zahnbürsten entwickelt, die den Zahnzwischenraum und gingivalen Bereich besser reinigen sollen als herkömmlichen Zahnbürsten mit planem Borstenfeld. Das Ziel ist also, bei minimaler Gingivaverletzung effizient zu reinigen.

Dem Kunden steht eine große Auswahl zur Verfügung, und dem zahnmedizinischen Team bleibt die Qual der Beurteilung: Welche Bürste ist in welcher Situation gut und welche nicht? Welches Modell empfehle ich den Patienten? Wo liegen die Indikationen und Kontraindikationen? Für eine gute Beratung brauchen der Zahnarzt und die Dentalhygienikerin bzw. Prophylaxeassistentin ein umfassendes Know-how. Es besteht deshalb Informationsbedarf, was von den verschiedenartig gestalteten Zahnbürsten zu halten ist.

Im Folgenden wurden zwei manuelle Zahnbürsten auf Ihr Verletzungspotenzial bzw. ihre Abrasionseigenschaften bezüglich der Oberflächentextur der Gingiva getestet, hierzu wurde eine REM-Analyse von Veränderungen der Schleimhaut herangezogen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Auswahl der verwendeten Handzahnbürsten

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden zwei manuelle Zahnbürsten hinsichtlich der Auswirkung auf Oberfläche der Gingiva verglichen.

Herkömmliche Zahnbürsten bestehen aus einem verschiedenartig ausgeformten Borstenfeld von mehreren hundert bis einigen tausend Borsten, wobei die Borstenlängsachsen senkrecht oder unter einem vorgegebenen Winkel an der Flachseite eines etwa rechteckigen Bürstenkopfes befestigt sind, welcher gewöhnlicherweise Bestandteil eines Haltegriffes ist. Vorzugsweise werden die Einzelborsten zu kreisrunden Gruppen von wenigen Millimetern Durchmesser in dichter Stellung zusammengefasst und die Gruppen in weniger dichter Stellung gleichmäßig über die Gesamtfläche des Bürstenkopfes angeordnet (multitufted) (Abb. 3a). Die Gestaltung des Bürstenkopfes, die Form des Borstenfeldes und die Borstenanordnung werden im Bestreben einer besseren Reinigungswirkung vielfach variiert.

Die verwendete Zahnbürste A ist die elmex<sup>®</sup> interX Kurzkopfzahnbürste mittel. Sie stellt eine Bürste der neuen Generation dar, von denen man sich eine effektivere Reinigungsleistung der Interdentalräume verspricht.

Da vermutlich die meisten Patienten Zahnseide gar nicht oder nicht regelmäßig verwenden, soll die elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste besonders bei diesen Personen zu einer verbesserten Kariesprophylaxe beitragen. Die vollständige Entfernung von Plaque in den Zahnzwischenräumen gelingt nur durch die ergänzende Verwendung von Interdentalprodukten (Zahnseide, Zahnhölzer, Floss, Interdentalbürsten). Man erwartet folgende Vorteile von diesen Bürstentypen:

Die elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste hat Borsten, die der Form der Zähne angepasst wurden. Sie besitzt Borstenbüschel in der Mitte des Borstenfeldes, die zueinander in entgegengesetzter Richtung stehen und sich überkreuzen, somit in der Lateralansicht ein X bilden. Als weitere Besonderheit weist sie verschiedene Borstenlängen auf. Die längeren X-Borsten reichen tiefer in die Interdentalräume hinein und säubern dort effektiver als herkömmliche Zahnbürsten. Der Kurzkopf sorgt für eine bessere

Erreichbarkeit schwer zugänglicher Bereiche im Mundbereich. Der ergonomische Griff ist zweifach abgewinkelt und hat eine abgerundete Form. Der Griffdurchmesser wurde verhältnismäßig dick gewählt, der weiche Daumenstopp sorgt für eine sichere Führung. Die Referenz-Zahnbürste B ist die Corsodyl® mittel. Sie stellt dabei dem klassischen Zahnbürstentyp mit einem multitufted und planen Bürstenfeld sowie abgerundeten Borsten dar. Diese soll eine optimale Plaquebeseitigung gepaart mit schonender Pflege der harten und weichen Gewebe bieten. Sie hat einen kurzen, abgewinkelten Kopf, so können die hinteren Zähne gut erreicht werden. Der Bürstengriff aufgrund des Designs ist rutschfest für einen guten Halt und für ein kontrolliertes Zähneputzen gestaltet.



**Abb. 3:** Zahnbürste A, elmex® interX (links). Zahnbürste B, Corsodyl® (rechts)

Allgemeine technische Daten zu den Testzahnbürsten wird in Tabelle 1 zusammengefasst.

Allgemeine Daten	Elmex® interX -Kurzkopf Mittel	Corsodyl® mittel
Gesamtlänge der Zahnbürste	18,55 cm	19,2 cm
Länge/ Breite des Bürstenkopfes	22,4 mm/13 mm	24,5 mm/12,3mm
Borstenlänge	11,5 mm	11 mm
Borstendurchmesser	0,175 - 0,20 mm	0,18 mm
Anordnung der Borstenbüschel	Oval	Oval
Anzahl der Borstenbüschel	27	33
Filamentanzahl der Borstenbüschel	20 – 25	50

**Tab. 1:** Technische Daten zu den getesteten Handzahnbürsten

## 2.2 Auswahl der Probanden

An dieser vergleichenden Split-mouth-Studie nahmen zehn Probanden teil, drei Männer und sieben Frauen im Alter zwischen 25 und 33 Jahren. Alle Probanden wurden über die Untersuchung aufgeklärt und unterschrieben eine Einverständniserklärung. Sie wurden in einem Screening auf ihre Tauglichkeit für eine Teilnahme an der Studie untersucht. Die Vorauswahl sollte die Ausgangsbedingungen der Probanden angleichen.

Einschlusskriterien waren:

- Guter Allgemeinzustand, keine systemischen Erkrankungen, die den oralen Befund beeinflussen

Ausschlusskriterien waren:

- Weniger als 20 natürliche Zähne
- Herausnehmbarer Zahnersatz oder orthodontische Geräte
- Taschentiefen > 5 mm
- Vorangegangene Parodontitisbehandlung in einem Zeitraum von sechs Monaten

Alle Probanden hatten eine zahnmedizinische Ausbildung (Zahnärzte oder Fachhelferinnen), so dass sie die Bass-Technik beherrschten. Jeweils 12-16 Stunden vor dem vereinbarten Termin zur Studie durften die Zähne nicht geputzt werden.

Die Plaqueakkumulation wurde mit Hilfe eines Plaqueindex nach O`Leary evaluiert (O`Leary et al. 1972). Mit der Relevalorlösung Mira-2-Tone<sup>®</sup> wurden die Flächen aller Zähne vestibulär und oral angefärbt. Die Bewertung wurde an sechs Messflächen pro Zahn ermittelt. Der Plaqueindex (%) nach O`Leary definiert sich als die Summe der positiven Plaquewerte dividiert durch die Anzahl aller erhobenen Plaquewerte. Probanden, die einen Plaqueindex bis 15% aufweisen konnten, erfüllten die Einschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie.

### 2.3 Versuchsprotokoll und Bewertungsmethoden

Das Versuchsprotokoll war derart gestaltet, dass die vestibulären Flächen der Eckzähne und Prämolaren im Bereich der befestigten Gingiva aller Quadranten beurteilt wurden. Dieser Zahnbürstenstudie ist im Split-mouth-Design durchgeführt worden. Der Untersucher war bezüglich des Zahnbürstentypes, der gerade getestet wurde, blind. Gemäß dem Split mouth-Design begann die erste Probandenhälfte mit der Austestung der Corsodyl<sup>®</sup> Zahnbürste auf ihre Traumatogenität gegenüber der Gingiva im 1. und 3. Quadranten und wechselten danach zur elmex<sup>®</sup> interX Kurzkopfzahnbürste im 2. und 4. Quadranten. Fünf Probanden testeten die Zahnbürsten in umgekehrter Reihenfolge. Die jeweilige Putzzeit wurde auf zwei Minuten festgelegt. Die Probanden mussten an zwei Sitzungen teilnehmen.

Die erforderlichen „Screening“-Daten wurden in der 1. Sitzung vor Beginn der Studie erhoben, indem ein Befund erstellt und die relevanten Angaben zum Gesundheitsstatus mit einem Anamnesebogen erfasst wurden. Bei Vorliegen alle Voraussetzungen unterschrieben die Probanden die Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Studie. Es wurden dann Abformungen vom Ober- und Unterkiefer zur Modellherstellung aus Gips entnommen. Damit erfolgte die Fertigung je vier Vorabformungen vom Eckzahn-Prämolarenbereich im Labor (Abb. 4), sowie erhielten sie folgende Informationen/Instruktionen für die 2. Testsitzung:

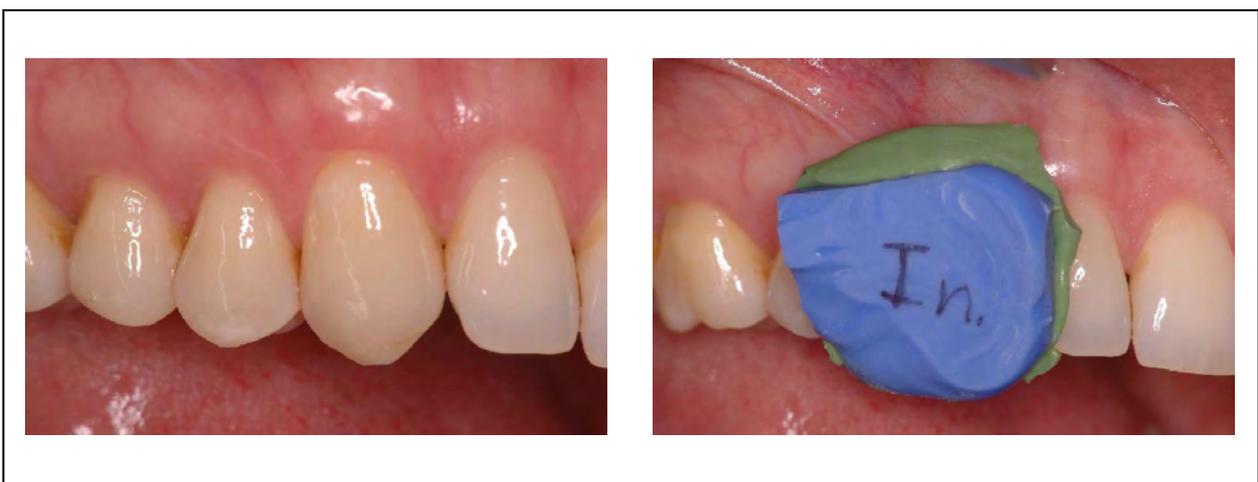
- Jeweils 12 - 16 Stunden vor dem vereinbarten Termin zur Studie durften die Zähne nicht geputzt werden

- Es durfte ausschließlich Elmex® Zahnpasta ohne Wechsel der Zahnpasta innerhalb der Studie verwendet werden



**Abb. 4:** Individuell gefertigte Vorabformungen im vierten Quadranten

In der 2. Sitzung wurden jeweils nach visueller Beurteilung vor der Testung Abdrücke vestibulär vom Eckzahn- und Prämolarenbereich mittels Light-body-Material President® entnommen (Abb 5). Zur Abdrucknahme dienten kleine rechteckige vorher individuell gefertigte Vorformen aus Registrado® (Abb. 4). Beim Putzen kam die modifizierte Bass-Technik mit der jeweiligen Zahnbürste zwei Minuten lang zur Anwendung; pro Quadrant 60 Sekunden. Nach diesem einmaligen Putzvorgang wurden dann erneut die vestibulären Flächen der einzelnen Putzfelder im Bereich der befestigten Gingiva abgeformt.



**Abb. 5:** Proband vor und nach der Abdrucknahme

Testablauf schematisch:

### 1. Screening Sitzung

- Anamnesebogen und Befund
- Einverständniserklärung
- Information/Instruktion
- Abformungen vom Ober- und Unterkiefer



Die Herstellung im Labor von vier Vorabdrucken des Eckzahn- und Prämolarenbereich (Abb. 4)



### 2. Die Testsitzung

- Abdrucknahme der bukkalen Putzfelder vorher mit den vorbereiteten Vorformen und visuelle Beurteilung mit klinischen Fotos (Abb. 5)
- Nach dem Cross-Over Design zwei Minuten putzen mit der jeweiligen Zahnbürste
- Abdrucknahme der bukkalen Putzfelder nachher mit den vorbereiteten Vorformen und visuelle Klassifizierung mit klinischen Fotos (Abb.5)

Mit Hilfe dieser Abdrücke wurden für die rasterelektronenmikroskopische Auswertung positive plastische Repliken hergestellt, indem die Abformungen mit einem Epoxidharz ausgegossen wurden (Stycast 1266 Part A und B, T-E-Klebertechnik). Dieser Werkstoff ist wasserbeständig und hat gute elektrische Eigenschaften, sowie hohe Klebekraft zu Metall, Glas und Kunststoff. In einer Sputteranlage wurden sie mit Gold bedampft.



**Abb. 6:** Aufnahme von Repliken, die mit Gold bedampft wurden

Die Rasterelektronenmikroskopie wurde mit dem Gerät Philips XL 30 (FEI) durchgeführt. Pro Proband wurden insgesamt vier Präparate vor und nach dem Versuch gefertigt. Von jedem Präparat wurden jeweils 4 REM-Bilder fotografiert. Zunächst dienen die Bilder in 20facher Vergrößerung zur Übersichtsbetrachtung und Orientierung, anschließend standen zentral der marginalen Gingivarand die 250fache Vergrößerung zur Auswertung. Die Untersuchungen dieser Veränderungen der Oberflächentextur der Gingiva wurden 1 mm zentral von der marginalen Gingiva durchgeführt.

In Anlehnung an früheren Studien (Kontturi-Närhi et al. 1989, Sandholm et al. 1982) wurde in der vorliegenden Untersuchung die Auswertung des gingivalen Zustandes nach Zahnpflege, und die unterschiedliche Schädigungsmuster anhand der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen folgendermaßen klassifiziert:

- Typ 1. Gesunde Epitheloberflächen bzw. keine Oberflächenveränderungen (Abb. 7B)
- Typ 2. Superfizielle Abrasionen oder Oberflächenrauhigkeiten (Abb. 8B)
- Typ 3. Erosionen entlang der freien marginalen oder der befestigten Gingiva bzw. Epithel-Lappenbildungen, die das darunterliegende Gewebe unbedeckt lassen (Abb. 9B)

Zusätzlich wurde von derselben geputzten Region vor und nach dem Putzvorgang die marginale Gingiva klinisch mit einer Auflösung von 300 dpi standardisiert aufgenommen. Bildausschnitt/-Vergrößerung und Auflösung waren identisch. Die so genannte visuelle Beurteilung von Gingivaschäden wurde mit unbewaffnetem Auge von einem Untersucher befundet.

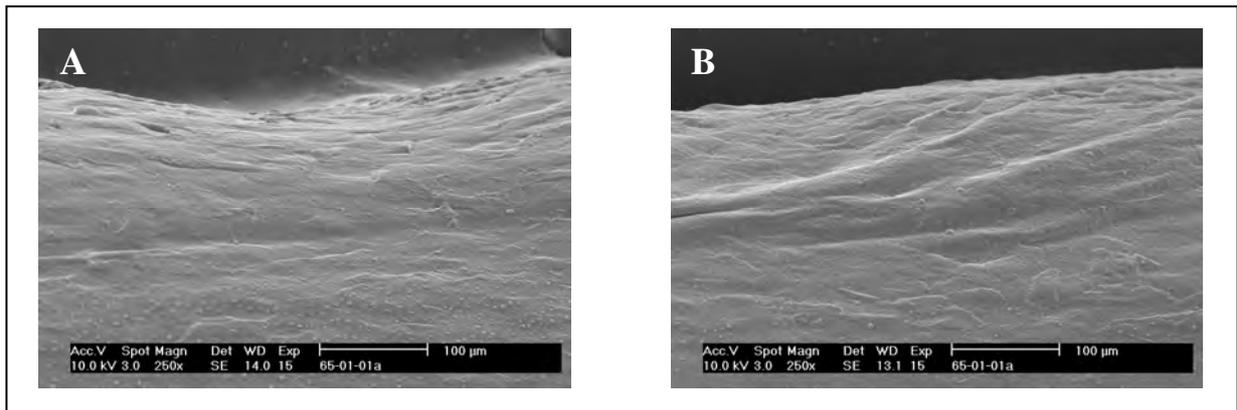
Die klinische Beurteilung der Gingiva erfolgte nach den Kriterien von Sandholm et al. (1982), und wurde in drei Erscheinungsformen klassifiziert: Eine positive Läsion, eine unsichere Läsion und eine nicht-traumatisierte Erscheinungsform.

Die Befundung dieser klinischen Fotos erfasste darüber hinaus mögliche Schädigungsmuster der marginalen Gingiva wie Blutung, Veränderung bei der Stippelung, Ödematisierung und Abrasionen bzw. Läsionen.

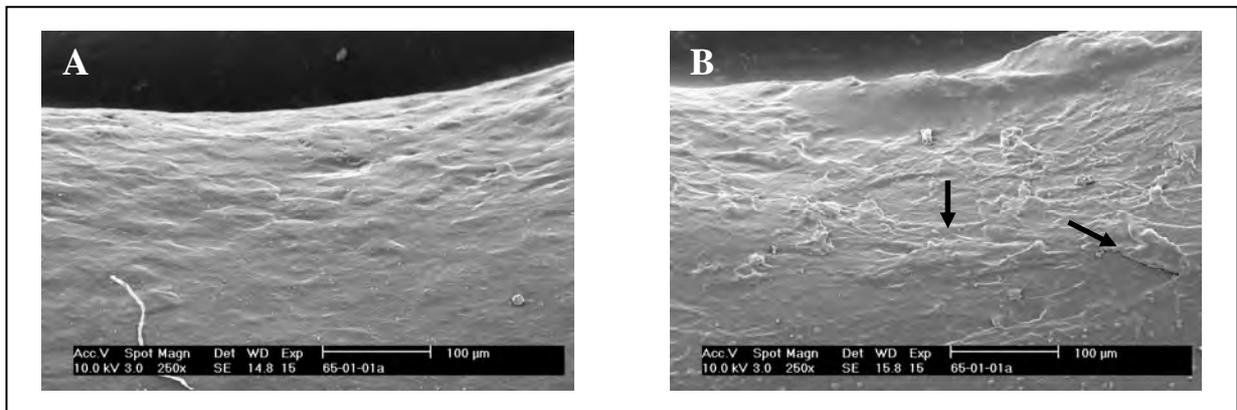
#### 2.4 Datenerfassung und Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte unter Zuhilfenahme des Statistik- Programms SPSS<sup>®</sup> (SPSS Inc., Chicago, USA). Die Verteilung der Schädigungsformen (Typ 1-Typ 3), bezog sich auf die Versuchsgruppen, wurde anhand einer Mehrfeldertafel untersucht und auf die Signifikanz mit Hilfe des Chi-Quadrat-Testes (P: 0,05) überprüft.

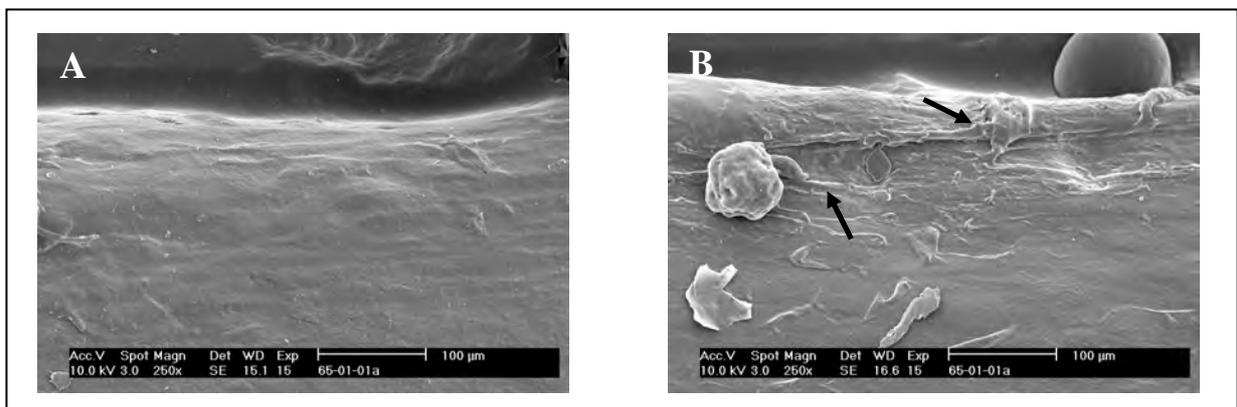
Bei der Datenauswertung wurde einerseits die Korrelation zwischen den klinischen Ergebnissen und der REM-Analyse anhand einer Mehrfeldertafel getestet und andererseits eine Signifikanztestung nach Pearson durchgeführt.



**Abb. 7:** REM-Bild (A) der weitgehend glatten „freien“ Gingiva vor dem Putzvorgang. REM-Bild (B) der unveränderten Oberfläche der „attached“ Gingiva nach dem Putzvorgang, als Typ 1 klassifiziert [Vergrößerung x 250].



**Abb. 8:** REM-Bild (A) der weitgehend glatten „freien“ Gingiva vor dem Putzvorgang. REM-Bild (B) der starken Oberflächenanrauung der „freien“ Gingiva nach dem Putzvorgang, als Typ 2 klassifiziert [Vergrößerung x 250].



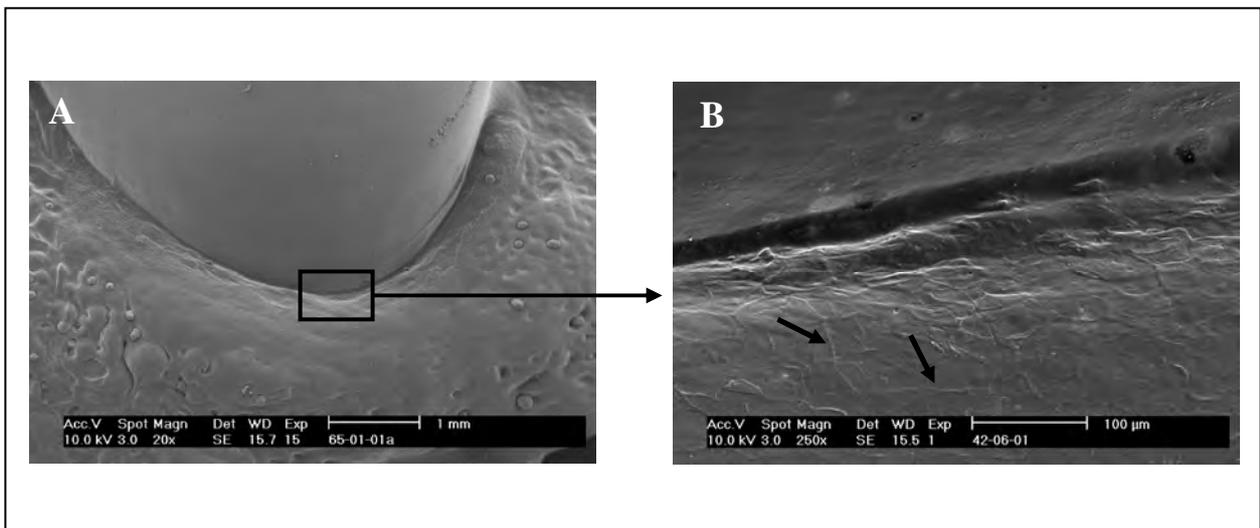
**Abb. 9:** REM-Bild (A) der glatten „freien“ Gingiva vor dem Putzvorgang. REM-Bild (B) der Erosion und Epithellappenbildung nach dem Putzvorgang, als Typ 3 klassifiziert [Vergrößerung x 250].

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Rasterelektronenmikroskopische Befunde

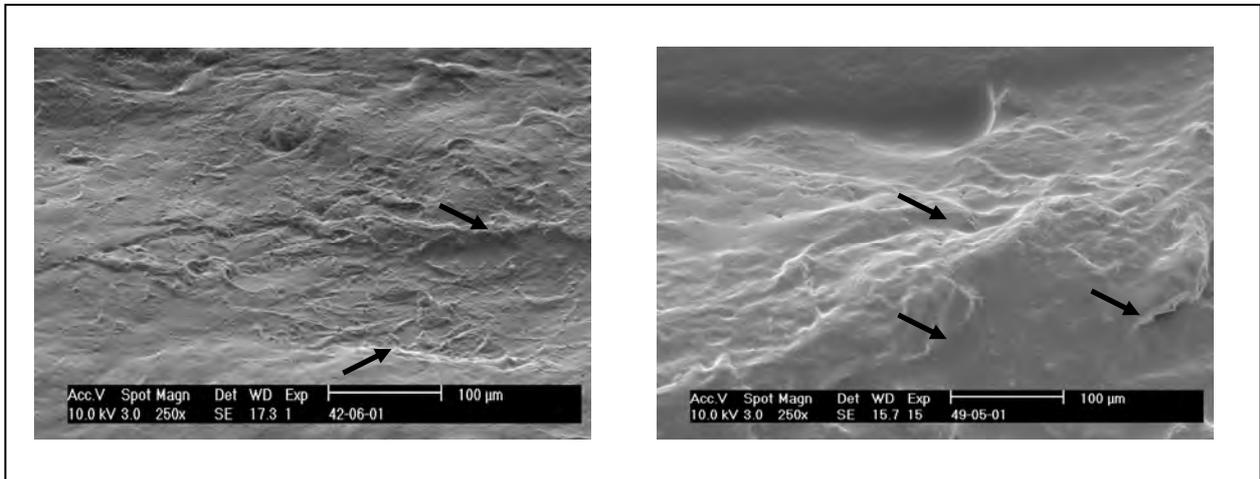
Insgesamt standen 160 REM-Bilder und 80 klinische Fotos der Gingiva, die mit den unterschiedlichen Zahnbürstentypen behandelt wurden, zur Auswertung. Zwei der mit der Corsodyl®-Zahnbürste behandelten Präparate konnten nicht ausgewertet werden, da die hergestellten Repliken nach rasterelektronenmikroskopischer Betrachtung als unbrauchbar einzustufen waren. In den Präparaten wurde eine starke Vorschädigung bzw. Artefakte sichtbar.

Die unbearbeitete „freie“ Gingiva zeigt in der Übersichtsvergrößerung im Rasterelektronenmikroskop eine weitgehend glatte Oberfläche (Abb. 10A). Bei stärkerer Vergrößerung treten die Grenzen der polygonalen Zellen als helle, meist gerade verlaufende Markierungslinien, manchmal mit kleinen Stufenbildungen, hervor (Abb. 10B).



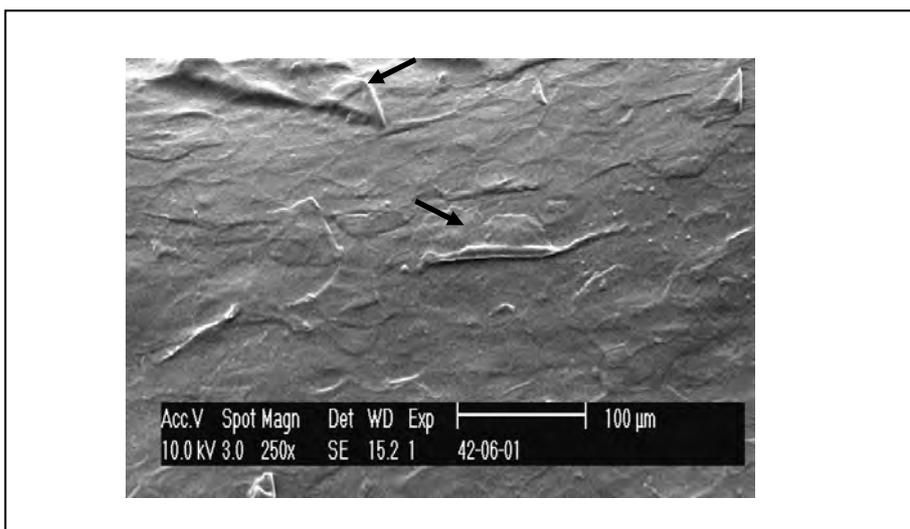
**Abb. 10:** Rasterelektronenmikroskopisches Übersichtsbild der weitgehend glatten Gingiva (A) [Vergrößerung X 20]. REM-Bild der Gingiva (B) [Vergrößerung X 250]. Die Grenzen der polygonalen Zellen treten als helle, meist gradlinige Linien auf.

Im Test zeigten beide Zahnbürsten unterschiedliche Auswirkungen bei der Bearbeitung der freien Gingiva. Die Zahnbürste A, elmex® interX, verursachte Schädigungen, die von Abtragungen größerer Flächen über kraterförmige Epitheldefekte bis zu ulkusähnlichen Verletzungen bis in das darunterliegende Bindegewebe gingen (Abb. 11).



**Abb. 11:** REM-Bilder der freien Gingiva nach einmaligem Zähneputzen mit der Zahnbürste A. Kraterförmige Epitheleinsenkungen sind deutlich erkennbar [Vergrößerung X 250].

Die Referenz-Zahnbürste B, Corsodyl® mittel, bewirkte nur oberflächliche Epithel-läsionen im Sinne von Ablösung einzelner Zellen oder Zellverbände, die aber nicht in die tiefere Epithelschichten reichten (Abb. 12).



**Abb. 12:** REM-Bild der marginale freie Gingiva nach einmaligem Zähneputzen mit Zahnbürste B. Großflächige Abtragung der oberen Zellschichten [Vergrößerung X 250].

Die Ergebnisse zeigten, dass beide Bürsten Schädigungen verursachten, wobei die des Bürstentyps elmex<sup>®</sup> interX tiefere Schichten erreichten. Tendenziell beschränkten sich Verletzungen der planen Referenz-Zahnbürste Corsodyl<sup>®</sup> auf oberflächliche Epithelschichten.

Die zwei unabhängigen Stichproben (Test- und Kontrollzahnbürste) wurden in einer Mehrfeldertafel gegenübergestellt (Tab. 2). Der Proband F wurde aus der Studie herausgenommen, weil die REM-Analyse durch Vorschädigung bzw. Artefakte nicht möglich war. Im direkten Vergleich der vorgenannten Zahnbürsten zeigen die unterschiedlichen Ergebnisse, die Einstufung der Gesamtanzahl der Präparate in die unterschiedlichen Schädigungsgrade, Typ 1, 2 und 3. Bei Verwendung der Corsodyl<sup>®</sup> Zahnbürste ergab sich bei 36 Präparaten folgende Aufteilung: 14 in Typ 1, 18 in Typ 2 und 4 in Typ 3. Unter Verwendung der elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste ergab sich bei gleicher Anzahl von Präparaten folgende Abweichung: 8 in Typ 1, 16 in Typ 2 und 4 in Typ 3. Beide Zahnbürsten führten aber zu keinem statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich ihres Verletzungspotenzials auf die Gingiva ( $p > 0,05$ ) (Tab. 3).

Auswertung der REM-Bilder anhand der Mehrfeldertafel in Tabellenform:

Schädigung	Anzahl		Gesamt
	Corsodyl <sup>®</sup>	elmex <sup>®</sup> interX	
Typ 1	14	8	22
Typ 2	18	16	34
Typ 3	4	12	16
Gesamt	36	36	72

**Tab. 2:** REM-Analyse in einer Kreuztabelle.

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	5,754(a)	2	0,056
Likelihood-Quotient	5,961	2	0,051
Anzahl der gültigen Fälle	72		

**Tab. 3:** Chi-Quadrat-Test für Signifikanzüberprüfung: Der im Test ermittelte P-Wert liegt nur unwesentlich über dem statistisch relevanten Wert (0,05). Folglich ergibt sich ein fast gleichwertiges Resultat im Vergleich der Abrasivität der beiden Bürsten.

Der prozentuale Anteil der Präparate (REM) mit Epithelschäden Typ 2 für die Bürste A beträgt 44,5%, für die Vergleichsbürste B 50%. Rasterelektronenmikroskopisch konnte die Traumatisierung (Schädigungstyp 3) der elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste bei 33,3% der Präparate sichtbar gemacht werden, dagegen allerdings 11,1% für die plane Corsodyl<sup>®</sup>-Zahnbürste (Tab. 4, 5).

Der einmalige Putzvorgang erzeugt an der Gingiva bei beiden Zahnbürsten eine Aufrauung der Oberfläche der Typ 2. Völlig intakte Epitheloberflächen im Bereich der anhaftenden Gingiva konnten bei der planen Zahnbürste häufiger beobachtet werden. Starke Aufrauungen und Destruktion des Epithels der Typ 3 zeigten dagegen vor allem die elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürsten.

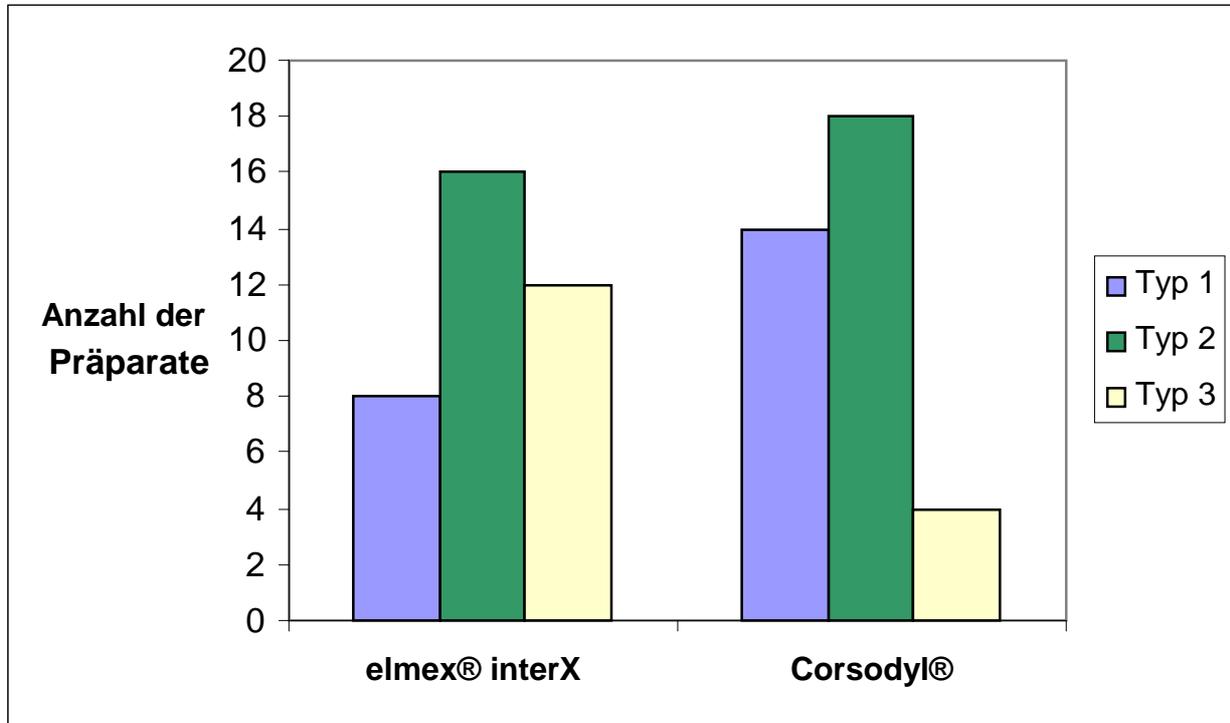
Bürstentyp A	Klassifizierung	Anzahl der Präparate	Prozentual
Corsodyl <sup>®</sup>	Typ 1	14	38,9 %
	Typ 2	18	50 %
	Typ 3	4	11,1 %

**Tab. 4:** Die prozentuale Verteilung der Epithelschäden für die Corsodyl<sup>®</sup> Zahnbürste: Im Test zeigte die Corsodyl<sup>®</sup> Zahnbürste bei der Hälfte von 36 Präparaten einen Schädigungsgrad der Typ 2. 38,9 % der Präparate wurden in Typ 1 und 11,1 % in Typ 3 eingestuft.

Bürstentyp B	Klassifizierung	Anzahl der Präparate	Prozentual
elmex <sup>®</sup> interX	Typ 1	8	22,2 %
	Typ 2	16	44,5 %
	Typ 3	12	33,3 %

**Tab. 5:** Die prozentuale Verteilung der Epithelschäden für die elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste: Im Test zeigte die elmex<sup>®</sup> interX bei 44,5 % der Präparate einen Schädigungsgrad der Typ 2. 22,2 % der Präparate wurden in Typ 1 und 33,3 % in Typ 3 eingestuft.

Im Folgenden werden die Gesamtergebnisse der zwei Bürsten des Putzversuches beschrieben. Die elmex® interX zeigt eine Tendenz zur höheren Abrasivität als der Corsodyl® Zahnbürste (Abb. 13).



**Abb. 13:** Eine grafische Darstellung der REM-Ergebnisse. Aus diesem Diagramm sind unwesentliche Abweichungen in Typ 1 und Typ 2 zwischen den beiden Bürstenarten zu erkennen. Die Anzahl der Präparate des Typs 3 der elmex® interX Zahnbürste ist höher als der Corsodyl® Zahnbürste.

### 3.2 Klinische Befunde

Die klinischen Ergebnisse der zwei unabhängigen Stichproben (Zahnbürste A und B) wurden in einer Mehrfeldertafel gegenübergestellt (Tab. 6). Im direkten Vergleich der vorgenannten Zahnbürsten zeigen die unterschiedlichen Ergebnisse die Einstufung der Gesamtanzahl der Präparate in den unterschiedlichen Schädigungen: Eine positive Läsion, eine negative Läsion und eine unsichere Läsion. Bei Verwendung der Corsodyl® Zahnbürste ergab sich bei 40 Bildern folgende Aufteilung: 3 positive, 25 negative und 12 unsichere Läsionsbefunde. Unter Verwendung der elmex® interX Zahnbürste ergab sich bei gleicher Anzahl von Bildern folgende Abweichung: 11 positive, 13 negative und 16 unsichere Läsionsbefunde.

Auswertung der klinischen Bilder anhand der Mehrfeldertafel in Tabellenform:

Schädigung	Anzahl		Gesamt
	Corsodyl®	elmex® interX	
Positive Läsion	3	11	14
Negative Läsion	25	13	38
Unsichere Läsion	12	16	28
Gesamt	40	40	80

**Tab. 6:** Klinische Analyse in einer Kreuztabelle. Die Ergebnisse der Corsodyl® Zahnbürste zeigen bei 40 Bilder folgende Aufteilung: 3 in positive, 25 in negative und 12 in unsichere Läsionsbefunde. Die Ergebnisse der elmex® interX Zahnbürste ergab sich bei gleicher Anzahl von Bildern folgende Abweichung: 11 in positive, 13 in negative und 16 in unsichere Läsionsbefunde.

Im Gegensatz wurde hier in den klinischen Untersuchungsergebnissen keine signifikante Korrelation gegenüber der REM-Analyse festgestellt. Die durchgeführten Korrelationsanalyse für die elmex® interX Zahnbürste war nicht signifikant,  $P= 0,683$  (Tab. 7). Es lag ebenfalls keine Korrelation zwischen klinischen Ergebnissen und der REM-Analyse für die Corsodyl® Zahnbürste,  $P= 0,18$  (Tab. 8).

		REM	Klinik
REM	Korrelation nach Pearson	1	,070
	Signifikanz (2-seitig)		,683
	N	36	36
Klinik	Korrelation nach Pearson	,070	1
	Signifikanz (2-seitig)	,683	
	N	36	36

**Tab. 7:** Korrelation zwischen klinischen Ergebnissen und der REM-Analyse für elmex® interX Zahnbürste

		REM	Klinik
REM	Korrelation nach Pearson	1	,229
	Signifikanz (2-seitig)		,180
	N	36	36
Klinik	Korrelation nach Pearson	,229	1
	Signifikanz (2-seitig)	,180	
	N	36	36

**Tab. 8:** Korrelation zwischen klinischen Ergebnissen und der REM-Analyse für Corsodyl® Zahnbürste

Im Folgenden sind drei Beispiele für die klinische Datenauswertung und Schädigungsmuster aufgezeigt:



**Abb. 14:** Fotodokumentation vor Anwendung der Zahnbürste (links). Eine positive Läsion nach Anwendung der Zahnbürste (rechts)



**Abb. 15:** Fotodokumentation vor Anwendung der Zahnbürste (links). Eine negative Läsion: Keine Veränderung nach Anwendung der Zahnbürste (rechts)



**Abb. 16:** Fotodokumentation vor Anwendung der Zahnbürste (links). Eine unsichere Läsion nach Anwendung der Zahnbürste (rechts)

In den klinischen Photographien zeigte sich nur bei einem Probanden bereits nach dem einmaligen Putzvorgang mit der elmex® interX Zahnbürste Epithelläsion mit subepithelialen Blutungspunkt entlang des marginalen Gingivarandes (Abb. 17). Die Auswirkungen der planen Referenzzahnbürste Corsodyl® waren weniger stark ausgeprägt (Abb. 17). Weitere klinische Zeichen für Gingivaschäden, wie Ödematisierung, Veränderung bei der Stippelung und Kraterförmige Epithelverletzungen der Oberflächentextur traten bei beiden getesteten Zahnbürsten nicht auf.



**Abb. 17:** Gesunde Epitheloberfläche der attached Gingiva im 3. Quadranten nach dem Putzen mit der Corsodyl® Zahnbürste (links). Blutungspunkt entlang der freien marginalen Gingiva im 1. Quadranten nach dem Putzen mit der elmex® interX Zahnbürste (rechts).

#### 4. Diskussion

Durch die zunehmende Aufklärungsarbeit über die Wichtigkeit von adäquat durchgeführten Mundhygienemaßnahmen wurde in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Verbesserung der Zahngesundheit erreicht. Heutzutage stellt sich jedoch auch die Frage, ob eine exzessiv betriebene Mundhygiene, durch immer weiter entwickelte Zahnbürsten und Zahnpasten wirklich eine weitere Verbesserung im Sektor der Zahngesundheit darstellt, oder ob nicht gerade dies zu einer Zunahme der Zahnschädigung durch z.B. Gingivaschädigungen im Sinne der Rezession führt. Ziel dieser Studie war es, zwei verschiedene Zahnbürstensysteme, die elmex<sup>®</sup> interX und die konventionelle plane Corsodyl<sup>®</sup> Zahnbürste, hinsichtlich des Nutzens und der möglichen Gingivaschädigung zu untersuchen.

In der dentalen Literatur sind nur wenige neuere Studien vorhanden, die sich mit den gingivalen Läsionen durch orale Mundhygiene befassen. Die meisten vergleichenden Untersuchungen beschreiben die Effizienz von unterschiedlichen Zahnbürsten und Ihre Auswirkung auf die Plaqueentfernung und auf die Zahnhartsubstanz (Cugini und Warren 2006).

Generell ist festzustellen, dass jeder Bürsteneinsatz eine Veränderung des Epithels bewirkt, sei es nun durch eine vermehrte Abschilferung oder durch eine Riss- und Spaltbildung der Gingiva. Ab welchem Ausmaß diese Veränderungen im Sinne eines Gingivatraumas zu einer Rezession führt, lässt sich jedoch nur vermuten (Litonjua et al. 2003).

Das Gingivaepithel zeichnet sich durch seinen besonders hohen kontinuierlichen Umsatz aus und hat dadurch die Fähigkeit einer raschen Regeneration, wobei die Umsatzrate bei 6-12 Tagen liegt (Schroeder 1992). Kleinere Verletzungen heilen deswegen zum Normalzustand aus, die Qualität des Epithels wird demnach nicht geschädigt. Die Lokalisation der Proliferation gingivaler Zellen durch Bürststimulation wurde in einer Studie an Mehrschweinchen untersucht (Tomofuji et al. 2007). Hier wurde die Epithelzellenproliferation in sechs individuell definierten Zonen, von apikal nach Koronal, nach Plaqueentfernung durch Kürette im Vergleich zur 3-wöchigen Anwendung einer Zahnbürste evaluiert. Der immunhistochemische Nachweis des

Proliferating Cell Nuclear Antigen (PCNA) wurde hier verwendet. Die Dichte der PCNA-positiven basalen Zellen nach Verwendung der Zahnbürste war 1,8 Mal höher als nach Verwendung der Kürette. Die Bürststimulation fördert die Proliferation gingivaler Zellen im Gegensatz zu den Fibroblasten im Parodontium. Inwieweit das Epithel durch seine Elastizität und seinen intraepithelialen Verbund die auf sich einwirkende Kraft in vertikaler und horizontaler Richtung unbeschadet auffangen kann und wie lange es diesen Kräften widersteht, kann mit diesem Versuch nicht generell bestimmt werden. Aussagen können für die Produkte dahingehend gemacht werden, ob die Form und Eigenkraft der Bürste bei gleichem Druck durch den Benutzer eine Schädigung des Epithels bereits nach einmaligem Putzvorgang hervorruft. In früheren Vergleichen elektrischer mit manuellen Zahnbürsten differieren die Ergebnisse bezüglich einer Gingivaschädigung von Produkt zu Produkt. In diesem Zusammenhang untersuchte Plagmann et al. (1978) die Veränderung der Anzahl von Zellmembraneinstülpungen und des Zelldurchmessers durch die mechanische Bearbeitung der Gingiva mit zwei verschiedenen Zahnbürsten im Sinne einer Massage, als Antwort der Zelle auf den exogenen Reiz. Die durchgeführten Varianzanalysen ergaben für beide Zahnbürsten keine statistisch signifikanten Änderungen zwischen dem Zustand vor und nach dem Langzeitversuch, sowohl was die Zahl der Zellmembraneinstülpungen als auch des Zelldurchmessers betraf. Hieraus ließ sich schließen, dass die Bürstenmassage keine Änderung jener Zellstrukturen hervorgerufen hat, die wahrscheinlich für die Vernetzung der Zellen verantwortlich sind. In der gleichen Studie konnten allerdings Verletzungen der Epitheloberfläche diese Barrierefunktion beim Putzvorgang mit der gezahnten Zahnbürste durchbrechen. Die Epithelverletzungen der befestigten Gingiva durch gezahnte Zahnbürsten reichten bis in tiefere Epithellagen, während die durch den planen Zahnbürstentyp hervorgerufenen Schäden sich auf den Bereich des Stratum corneums beschränkten. Zu einem ähnlichen Schluss kam auch Lange (1977): Der damals durchgeführte Test mit fünf Zahnbürsten, die sich in ihrer Form, ihrer Borstendicke, der Größe der Borstenfeldes, der Gestaltung der Borsten an der Oberfläche (gezahnt oder ungezahnt) voneinander unterschieden, zeigte, dass besonders von der gezahnten Bürste eine unphysiologische Gewebefriction ausging. Sowohl im Kurzzeitversuch als auch im Langzeitversuch nach 14 Tagen nahm nicht die Keratinisationsquote zu, sondern es wurden vermehrt Zellen aus tieferen

Epithelschichten freigesetzt. In einem tierexperimentellen Versuch an Ratten führte die Bürststimulation zu einem signifikanten Anstieg von sog. "immediate early genes", so z.B. c-fos, was auf eine Epithelreaktion bzw. eine Schädigung des Gingivaepithels hindeutet. C-fos-positive Zellen waren in allen Epithelschichten der Gingiva nachzuweisen. Zudem zeigte die Studie, dass die epitheliale Barrierefunktion nicht signifikant durch den Gebrauch der Zahnbürste beeinflusst wird, obwohl durchaus individuelle Verletzungen der Zellen zu beobachten waren. Somit konnte in dieser Studie nachgewiesen werden, dass das Zähneputzen in einem gewissen Rahmen zu Zellmembranverletzungen führen und eine lokale adaptive Veränderung der Gewebetextur im Sinne einer veränderten Genexpression hervorrufen kann (Amano et al. 2007).

Zwei Faktoren beim Zähneputzen, die hauptsächlich vom Anwender variiert werden können, sind die Putzdauer und die Putztechnik. In dem hier gezeigten Vergleich der beiden Zahnbürstentypen wurden diese beiden Parameter festgelegt. Auch wurde hierfür die Putzzeit gemäß der in der Literatur angegebenen habituellen Putzzeit von ca. 60 Sekunden definiert (Hawkins et al. 1986). Viele Faktoren bestimmen, wie groß der Druck des Benutzers auf die Epithelfläche ist: Z.B. die Feldgröße, Anzahl, Elastizität, Durchmesser, Anschnitt sowie der Abrundungsgrad der Borsten. Auch der Anpressdruck der Borsten ist für die Entstehung von Epithelschäden mitverantwortlich: Erst ab einer Überschreitung eines Anpressdruckes von 2N können Rezessionen entstehen (Mierau et al. 1989). Van der Weijden et al. (1996) stellten hingegen in ihrer Studie „Toothbrushing force in relation to plaque removal“ zur Diskussion, dass der übertragene Druck nicht nur von der angewendeten Kraft, sondern auch von der Borstenanzahl und -durchmesser abhängt. Zudem zeigte er, dass auch die Borstenlänge und der Grad der Abrundung eine wichtige Rolle spielen. Die Ergebnisse der Studie von Danser et al. (1998) zeigten ebenfalls, dass Abrasionsschäden der Gingiva nicht durch die beim Zähneputzen angewandte Kraft, sondern auch die Abrundung der Borstenspitzen und Form beeinflusst werden. In einer weiteren durchgeführten Studie konnte zudem auch kein Unterschied in einem hohen und niedrigen Anpressdruck hinsichtlich der Häufigkeit von Gingivaverletzungen gesehen werden (Van der Weijden et al. 2004).

In einem Kollektiv von Zahnmedizinstudenten, die im Umgang mit der Handzahnbürste trainiert waren, wurden zwei Zahnbürsten hinsichtlich ihres Verletzungspotentials verglichen. Hierbei wurden keine Hinweise für stärkere Gingivaabrasionen nach 2-wöchigem Gebrauch einer der beiden Zahnbürsten gefunden (Mantokoudis et al. 2001). Diese Ergebnisse konnten auch in einer anderen Studie von Sharma et al. (2005) bestätigt werden, in der ein Vergleich dreier Handzahnbürsten ebenfalls im festgelegten Zeitraum von zwei Wochen durchgeführt wurde. In der vorliegenden Untersuchung wurde im Gegensatz dazu die Wirkung auf gingivale Gesundheit nach einem *einmaligen* Putzvorgang untersucht.

Das Cross-over-, Parallel- und Split-mouth-Design sind in der Parodontologie und für Zahnbürstenstudien die Untersuchungsmethode der Wahl. In der hier vorliegenden Arbeit wurde aus folgenden Überlegungen heraus die Methode des Split-mouth-Designs verwendet:

Im Cross-over-Design testet der einzelne Proband jede in der Versuchsreihe vorgesehene Zahnbürste aus (Claydon et al. 2000). Somit ist ein interindividueller Abgleich gegeben, d.h. der Proband ist gleichzeitig Kontrolle und Test. In aufeinander folgenden Zeiträumen erhält der Proband die verschiedenen Zahnbürsten für jeweils die gleiche festgelegte Zeitdauer. Zwischen dem Zahnbürstenwechsel („cross-over“) innerhalb der Studie muss es einen gewissen Zeitraum geben, in dem eine Beeinflussung durch das erste Versuchsintervall ausgeschlossen wird. Solche Versuche sind nur dann zulässig, wenn Wechselwirkungen zwischen den Behandlungen ausgeschlossen werden können. Aus diesem Grund wird bei Cross-over-Versuchen zwischen den beiden Versuchsabschnitten eine Pause von einer Woche angesetzt (die „Wash-out“-Phase). Wechselwirkungen und Zeiteffekte müssen analysiert werden (Heinecke et al. 1992). Der Vorteil liegt in einer geringeren notwendigen Probandenzahl, der Nachteil besteht in dem größeren Organisationsaufwand und der längeren Studiendauer für den einzelnen Patienten. Es besteht jedoch die Gefahr, dass die Motivation nachlässt oder die Testreihe durch einen Lerneffekt des Probanden beeinflusst wird, so dass von der Verwendung dieses Studiendesigns Abstand genommen wurde. Eine alternative Methode stellt das Parallel-Design dar: Zwei Gruppen, die durch vorheriges Screening ausgewählt wurden, starten parallel mit jeweils der zu untersuchenden Zahnbürste. Jeder Proband testet nur eine Bürste. Der Vorteil

dieser Methode liegt in der kürzeren Studiendauer für den einzelnen Probanden, als Nachteil wird die erforderliche größere Probandenzahl angesehen. Mit dem Split-mouth-Design wurde ein Versuchsmodell beschrieben, bei dem bei jedem Probanden zwei oder mehrere Behandlungen vorgenommen werden, die jeweils gesonderte Teilabschnitte der Mundhöhle in Anspruch nehmen. Dadurch ermöglicht ein Split-mouth-Design den Vergleich verschiedener Therapieformen, wobei die durch Versuchspersonen bedingten Unterschiede eliminiert werden. Durch vergleichende Studien am selben Patienten kann die Irrtumsvarianz im Gegensatz zu Studien, die verschiedene Versuchspersonen miteinander vergleichen, reduziert werden. Die vorliegende Studie ist im Split-mouth-Design durchgeführt worden, da durch die Reduktion der Irrtumsvarianz eine Erhöhung der statistischen Trennschärfe resultiert (Hujoel und Derouen 1992).

Zur Untersuchung von Veränderungen und Einflüssen unterschiedlicher Zahnbürsten bzw. Mundhygienehilfsmitteln auf das gingivale Gewebe können verschiedene Untersuchungsmethoden angewandt werden. Hierzu dienen sowohl Kurz- oder Langzeit- *in vivo*- und *in-vitro*-Untersuchungen als auch tierexperimentelle Versuche. Die klinische Evaluationen dieser gingivale Abrasionen können zum einem durch Anfärben mit Plaque-Indikatoren, zum anderen mit dem bloßen Auge mittels Fotodokumentation unter standardisierten Bedingungen ausgewertet werden. Hier zu nennen ist zum Beispiel eine Studie von Sharma et al. (2005), die Gingivaveränderungen mittels visueller Beurteilung auswerteten. Zeichen bzw. Parameter für Gingivaschäden waren Farbe der Gingiva, Ödematisierung, Blutungen und Abrasionen der Oberflächentextur. In der hier vorliegenden Studie wurden Gingivaveränderungen ebenfalls mittels einer standardisierten Fotodokumentation ausgewertet. Hierbei zeigte sich im gesamten untersuchten Kollektiv nur ein Fall mit Blutung. Diese trat lediglich unter Verwendung der elmex® interX Zahnbürste auf, die im Sinne einer Graduierung nicht möglich war. Aufgrund der Seltenheit der Ergebnisse mit Blutungen und dem kleinen Studienkollektiv kann keine definitive Schlussfolgerung über Nutzen und Schaden einer längeren X-Borstenform gezogen werden. In der Folge sollten zum einen weitere Daten in einem größeren Studienkollektiv über einen längeren Studienzeitraum gesammelt werden. Zum anderen ist diese Methode stark Untersucher-abhängig, so dass in weiteren Untersuchungen versucht werden sollte, die visuelle Auswertmethode durch z.B.

zusätzliche Plaqueanfärbetechnik (Matokoudis et al 2001, Versteeg et al. 2005) zu objektivieren. Die klinische Beurteilung des klinischen Aspektes einer geputzten Zahnfleischregion nach einmaliger Mundpflege scheint also nicht geeignet, die Epithelschädigung genau zu ermitteln. Die klinische Dokumentation der Oberflächenveränderungen in diesem Versuch konnte möglicherweise daher keine Korrelation oder statistische Signifikanz zu der rasterelektronischen Analyse zeigen.

Eine weitere Untersucher-unabhängige Methode Gingivaschäden nachzuweisen ist die Rasterelektronenmikroskopie, die in der hier vorliegenden Studie verwendet wurde. Die hoch auflösende Rasterelektronenmikroskopie stellt eine objektive Untersuchungsmethode. Dieses Verfahren ermöglicht durch die große Schärfentiefe die räumliche Betrachtung, sowohl relativ großer Bezirke in der Übersicht als auch kleinster Ultrastrukturen an der Zelloberfläche (Plagmann et al. 1978). Dadurch war es möglich, in unser Studie sowohl größere Defekte im Sinne von Putzläsionen als auch Veränderungen im ultramikroskopischen Bereich an der Zelloberfläche zu erfassen.

Die Replika-Methode mit einer Abdruckmasse auf Silikon-Basis wurde in der vorliegenden Studie zur Evaluation dieser Schädigungsmuster verwendet. Dieser Transferprozess von einem biologischen Objekt kann zur Veränderung der Gewebetextur an sich führen. Im Rahmen einer vergleichenden Untersuchung wurden hierzu zwei unterschiedliche Abformungsmaterialien aus Polyvinylsiloxane und Polyurethane analysiert. Sowohl die Oberfläche des untersuchten Zahnes als auch des negativen und positiven Präparates (Gussobjekt) wurden mit verschiedenen Vergrößerungen beobachtet. Die Ergebnisse zeigten hier keinen signifikanten Unterschied zwischen Positiv- und Negativ-Präparat beider Materialien. Die Verwendung des positiven Gussobjektes ist allerdings nur bis zum vierten aufeinander folgenden Gussverfahren qualitativ optimal für die rasterelektronenmikroskopischen Analyse geeignet (Galbany et al. 2006). Aus diesem Grund stellen die in unserer Studie verwendeten Materialien und die Replika-Technik eine etablierte Untersuchungsmethode dar. Die Wirksamkeit dieser Verfahren zur Reproduktion einer Oberfläche in vivo konnten ebenfalls Wilner und Oliver (2000) zeigen.

Insgesamt wurden 160 rasterelektronenmikroskopische Bilder in Anlehnung an aufgestellten Kriterien von früheren Studien ausgewertet (Kontturi-Närhi et al. 1989, Sandholm et al. 1982). Gemäß diesen Kriterien wurde die rasterelektronen-

mikroskopische Intensität der Schädigung in 3 Typen unterteilt. Die Verteilung der verschiedenen Schweregrade der unterschiedlichen Zahnbürstentypen wurde in der Folge statistisch ausgewertet. Hierbei zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied des Abrasionsmaßes zwischen den beiden verwendeten Zahnbürstentypen.

Für künftige Studien sollte diskutiert werden, ob die Auswirkungen unterschiedlicher Zahnbürstenmodelle auf die Gingiva auch auf molekularbiologischer Basis untersucht werden sollte: Hierfür würde sich z.B. das immediate early gene c-fos eignen, dessen Genexpression durch Bürststimulationen des Gingivaepithels gesteigert wird.

In dieser Studie konnte statistisch kein signifikanter Unterschied hinsichtlich einer Epithelschädigung zwischen der elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste und der Corsodyl<sup>®</sup> Zahnbürste festgestellt werden. Tendenziell traten durch die elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste ein höheres Maß an Epithelschädigungen der Gingiva auf. Dieser Trend muss aber in größeren Studien widerlegt oder bestätigt werden.

## 5. Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung sollte Auskunft über die Abrasivität der neu entwickelten Form der hier getestete Handzahnbürste elmex<sup>®</sup> interX gegenüber der Gingiva nach einmaligem Putzvorgang geben.

An 80 Repliken von gebürsteten Gingivaabschnitten von 10 Probanden wurde der Einfluss von Bürsten-Beschaffenheit und Form auf den Grad der Gingivaepithelschädigung bestimmt und mit den Präparaten der geputzten Feldern mit der herkömmlichen Referenzzahnbürste Corsodyl<sup>®</sup> verglichen. Die Auswahl der Bürstenform, Putzzeit und Putztechnik erfolgte in Anlehnung an entsprechende Aussagen verschiedener diesbezüglicher Studien. Die Putzzeit wurde auf 60 Sekunden pro Quadrant festgelegt. Beim Reinigen kam eine modifizierte Bass-Technik zur Anwendung. Nach einer randomisierter Verteilung im Split-Mouth-Design wurden diese Veränderungen der Oberflächentextur der Gingiva in Eckzahn- und Prämolaren-Regionen mittels positiver Repliken analysiert. Nach visueller klinischer Beurteilung erfolgte die Auswertung der Präparate im Rasterelektronenmikroskop. Als Schädigungsformen galten superfizielle Abrasionen oder Oberflächenrauigkeiten sowie Erosionen entlang der freien marginalen oder der befestigten Gingiva bzw. Epithellappenbildungen, die das darunterliegende Gewebe unbedeckt lassen. Abweichungen gegenüber dem Referenzpräparat wurden auf ihre statistische Signifikanz untersucht, um so die verschiedenen Zahnbürstenformen miteinander vergleichen zu können.

Die geringeren Schäden verursachte die plane Referenzzahnbürste. Ungünstigere Schädigungswerte fanden sich für die elmex<sup>®</sup> interX Zahnbürste. Es wurde jedoch zwischen den Ergebnissen der Kontrollzahnbürste und der Testzahnbürste keine statistische Signifikanz festgestellt. Ebenfalls konnte keine Korrelation zwischen der rasterelektronenmikroskopischen Analyse und den klinischen Ergebnissen gezeigt werden. Eine Beurteilung des klinischen Zustands einer geputzten Zahnfleischregion nach einmaliger Mundpflege scheint also nicht geeignet, die Epithelschädigung zu ermitteln. Weit bessere Einblicke ließen sich mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie gewinnen. Eine allgemeine Empfehlung für eine der zwei untersuchten Handzahnbürsten in Bezug auf Gingivaverletzungen kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht gegeben werden.

## 7. Anhang

### 7.1 Anamnesebogen

Malchau 06-05-2005

#### Universitätsklinikum Bonn - Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

<b>A</b>	Name			Gewicht	
	Geburtsdatum			Größe	
<b>B</b>	Besteht bzw. bestand bei Ihnen eine der folgenden Erkrankungen?	nein	ja	Falls Sie mit ja antworten, bitte ggf. ergänzende Angaben eintragen:	
	1 Allergie (welche?) / Allergiepass vorhanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	2 Atemwegserkrankungen (welche?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	3 Blutgerinnungsstörung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	4 Diabetes (welcher Typ?), Zucker-Krankheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	5 Anfallsleiden (Epilepsie)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	6 Künstliche Gelenke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	7 Grüner Star (erhöhter Augendruck)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	8 Schilddrüsenerkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	9 Nervenleiden (z.B. Depression)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	10 Herz-Kreislauf-Erkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Herzinsuffizienz, Herzschwäche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Angina pectoris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Herzinfarkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Herzrhythmusstörungen / Herzschrittmacher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Herzfehler / Endokarditis-Risiko	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Schlaganfall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Erhöhter / verminderter Blutdruck	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Durchblutungsstörungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	11 Infektionskrankheiten (welche?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Hepatitis / TBC / HIV / Sonstige	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	12 Lebererkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	13 Magen-Darm-Erkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	14 Nierenerkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	15 Rheumaerkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	16 Tumorerkrankungen, Leukämie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<b>C</b>	Weitere Fragen				
	17 Frühere Operationen (welche?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	18 Andere Erkrankungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	19 Besteht eine Schwangerschaft?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	20 Regelmäßiger Genuss von Alkohol/Nikotin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	21 Nehmen Sie Medikamente? (welche?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	22 Röntgendiagnostik im Kopfbereich im letzten Jahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	23 Röntgenpass vorhanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<b>D</b>	Befinden Sie sich in zahnärztlicher/ärztlicher Behandlung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Name des Zahnarztes/Arztes				
	Anschrift des Zahnarztes/Arztes				
Tag, Monat, Jahr		Unterschrift			

7.2 Einwilligungserklärung

Name: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Ich \_\_\_\_\_

(Vorname, Name)

erkläre, dass ich die Probandeninformation zur wissenschaftlichen Untersuchung:

**„Gingivaabrasionen durch unterschiedliche Zahnbürsten“**

und diese Einwilligungserklärung erhalten habe.

- Ich wurde für mich ausreichend mündlich und schriftlich über die wissenschaftliche Untersuchung informiert.
- Ich weiss, dass ich jederzeit meine Einwilligung, ohne Angaben von Gründen, widerrufen kann, ohne dass dies für mich nachteilige Folgen hat.
- Ich bin über die Anwendung verschiedener Zahnbürstensystemen aufgeklärt worden.
- Ich bin damit einverstanden, dass die im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchung über mich erhobenen Krankheitsdaten sowie meine sonstigen mit dieser Untersuchung zusammenhängenden personenbezogenen Daten aufgezeichnet werden. Es wird gewährleistet, dass meine personenbezogenen Daten nicht an Dritte weitergegeben werden. Bei der Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Zeitung wird aus den Daten nicht hervorgehen, wer an dieser Untersuchung teilgenommen hat. Meine persönlichen Daten unterliegen dem Datenschutzgesetz.
- Mit der vorstehend geschilderten Vorgehensweise bin ich einverstanden und bestätige dies mit meiner Unterschrift.

\_\_\_\_\_ den, \_\_\_\_\_  
 (Ort) (Datum)

\_\_\_\_\_  
 (Proband)

\_\_\_\_\_ den, \_\_\_\_\_  
 (Ort) (Datum)

\_\_\_\_\_  
 (Prüfarzt)

## 7.3 Tabellen

**Tabelle 9:** Statistische REM - Analyse der Zahnbürste Corsodyl®

Proband	Zahn	Typ1	Typ2	Typ3	Bemerkungen
<b>A</b>	23		x		
	24	x			
	43		x		
	44	x			
<b>B</b>	13		x		
	14		x		
	33		x		
	34	x			
<b>C</b>	23	x			
	24	x			
	43	x			
	44		x		
<b>D</b>	13			x	
	14		x		
	33		x		
	34		x		
<b>E</b>	23	x			
	24	x			
	43	x			
	44	x			
<b>F</b>	13		x		
	14				Bewertung nicht möglich (Artefakt)
	33		x		
	<del>34</del>				Bewertung nicht möglich (Artefakt)
<b>G</b>	23		x		
	24		x		
	43		x		
	44		x		
<b>H</b>	13	x			
	14	x			
	33	x			
	34			x	
<b>K</b>	23			x	
	24		x		
	43		x		
	44		x		
<b>J</b>	13			x	
	14	x			
	33		x		
	34		x		

**Tabelle 10:** Statistische REM – Analyse der Zahnbürste elmex® interX

Proband	Zahn	Typ1	Typ2	Typ3	Bemerkungen
<b>A</b>	13		x		
	14			x	
	33		x		
	34		x		
<b>B</b>	23		x		
	24	x			
	43	x			
	44		x		
<b>C</b>	13			x	
	14		x		
	33	x			
	34	x			
<b>D</b>	23		x		
	24		x		
	43		x		
	44		x		
<b>E</b>	13	x			
	14	x			
	33	x			
	34	x			
<b>F</b>	23		x		
	24		x		
	43		x		
	44	x			
<b>G</b>	13			x	
	14		x		
	33		x		
	34			x	
<b>H</b>	23			x	
	24			x	
	43		x		
	44		x		
<b>K</b>	13			x	
	14			x	
	33			x	
	34			x	
<b>J</b>	23		x		
	24		x		
	43			x	
	44			x	

**Tabelle 11:** Statistische Analyse der klinischen Bildern der Zahnbürste Corsodyl®

1: nicht-traumatisierte Erscheinungsform. 2: unsichere Läsion. 3: positive Läsion

Proband	Zahn	1	2	3	Bemerkungen
A	23	x			
	24	x			
	43		x		
	44	x			
B	13	x			
	14		x		
	33	x			
	34	x			
C	23	x			
	24	x			
	43	x			
	44	x			
D	13	x			
	14		x		
	33	x			
	34			x	
E	23	x			
	24		x		
	43			x	
	44	x			
F	13		x		
	14	x			
	33	x			
	34		x		
G	23	x			
	24	x			
	43	x			
	44			x	
H	13	x			
	14	x			
	33	x			
	34		x		
K	23		x		
	24	x			
	43		x		
	44		x		
J	13	x			
	14	x			
	33		x		
	34		x		

**Tabelle 12:** Statistische Analyse der klinischen Bildern der Zahnbürste elmex® interX  
 1: nicht-traumatisierte Erscheinungsform. 2: unsichere Läsion. 3: positive Läsion

Proband	Zahn	1	2	3	Bemerkungen
A	13	x			
	14		x		
	33	x			
	34		x		
B	23	x			
	24		x		
	43			x	
	44			x	
C	13			x	
	14			x	
	33		x		
	34			x	
D	23			x	
	24		x		
	43		x		
	44	x			
E	13	x			
	14		x		
	33		x		
	34	x			
F	23			x	
	24		x		
	43		x		
	44			x	
G	13		x		
	14	x			
	33		x		
	34	x			
H	23		x		
	24		x		
	43	x			
	44	x			
K	13	x			
	14	x			
	33			x	
	34			x	
J	23	x			
	24		x		
	43			x	
	44		x		

## 7. Literaturverzeichnis

Ainamo J, Paloheimo L, Nordblad A, Murtomaa H. Gingival recession in schoolchildren at 7, 12 and 17 years of age in Espoo, Finland. *Com Dent Oral Epidem* 1986; 14: 283-286

Alexander JF, Saffir AJ, Gold W. The measurement of the effect of toothbrushes on soft tissue abrasion. *J Dent Res* 1977; 56: 722-727

Amano K, Miyake K, Borke JL, McNeil PL. Breaking biological barriers with a toothbrush. *J Dent Res* 2007; 86: 769-774

Bass CC. An effective method of personal oral hygiene. *J La State Med Soc* 1954; 106: 100-112

Breitenmoser J, Mörmann W, Mühlemann HR. Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingival. *J Periodontol* 1979; 50: 212-216

Claydon N, Leach K, Newcombe RG, Ley F, Scratcher C, Addy M. The use of professional brushing to compare 3 toothbrushes for plaque removal from individuals with gingival recession. *J Clin Periodontol* 2000; 27: 749-752

Cugini M, Warren PR. The Oral-B CrossAction manual toothbrush: a 5-year literature review. *J Can Dent Assoc* 2006; 72: 323

Danser MM, Timmerman MF, IJzerman Y, Bulthuis H, van der Velden U, van der Weijden GA. Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *J Clin Periodontol* 1998; 25: 701-706

DIN 13917-1. Zahnheilkunde; Zahnbürsten ; Begriffe, Maße, Anforderungen. Berlin: Beuth-Verlag, 1988

Edlan A. The prevention of inflammatory damage to the periodontium in children. *Int Dent J* 1967; 17: 329-338

Frandsen AM, Barbano JP, Suomi JD, Chang JJ, Burke AD. A comparison of the effectiveness of the Charters' scrub, and roll methods of toothbrushing in removing plaque. *Scand J Dent Res* 1972; 80: 267-271

Frentzen M, Pfaffle W, Nolden R. Gingivarezessionen bei jungen Erwachsenen als Folge einer intensiven Zahnpflege. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989; 44: 373-374

Galbany J, Estebaranz F, Martínez LM, Romero A, De Juan J, Turbón D, Pérez-Pérez A. Comparative analysis of dental enamel polyvinylsiloxane impression and polyurethane casting methods for SEM research. *Microsc Res Tech* 2006; 69: 246-252

Geiser EJ, Kleisner J, Marinello CP. Corrective therapy in gingival recession. Langer's subepithelial connective tissue graft and Holbrook-Ochsenbein's free mucosal transplant-methods and case examples. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1993; 103: 1288-1299

Glickman, J. *Clinical Periodontology*, Philadelphia: Saunders, 1972

Goldmann HM, Schluger S, Fox L, Cohen D: *Periodontal Therapy*, 3 ed. St. Louis: Mosby, 1964

Hawkins BF, Kohout PD, Lainson PA, Heckert A. Duration of toothbrushing for plaque control. *Quintessence Int* 1986; 17: 361-365

Heinecke A, Hultsch E, Repges R. *Medizinische Biometrie*. Berlin: Springer Verlag, 1992

Hujoel, PP, and Derouen TA. Validity issues in split-mouth trials. *J Clin Periodontol* 1992; 19: 625-627

Johnson BD, McInnes C. Clinical evaluation of the efficacy and safety of a New Sonic Toothbrush. J Periodontol 1994; 65: 985-992

Khocht A, Spindel L, Person P. A comparative clinical study of the safety and efficacy of three toothbrushes. J Periodontol 1992; 63: 603-610

Kleber BM, Schenk HJ. Etiology of gingival recessions. Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 845-848

Kleber BM. The pattern of prevalence of localized periodontal recessions. Dtsch Stomatol 1991; 41: 174-175

Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H. The gingival effects of dental airpolishing as evaluated by scanning electron microscopy. J Periodontol 1989; 60: 19-22

Kuntsche T, Lange DE. Über die Beeinflussung der Keratinisation des Gingivaepithels durch Bürstenstimulation. Dtsch Zahnärztl Z 1978; 33: 24-28

Lang NP, Loe H. The relationship between the width of keratinized gingiva and gingival health. J Periodontol 1972; 43: 623-627

Lange DE. The effect of various types of toothbrushes on the gingival surface. Zahnärztl Mitt 1977; 67: 729-736

Lange DE. Parodontologie in der täglichen Praxis. Berlin: Quintessenz, 1981

Lange DE. Mukogingivalchirurgische Eingriffe. In: Ketterl W, Hrsg. Parodontologie, Praxis der Zahnheilkunde. München: Urban & Schwarzenberg, 1990: 191-209

Litonjua LA, Andreana S, Bush PJ, Cohen RE. Toothbrushing and gingival recession. Int Dent J 2003; 53: 67-72

Mantokoudis D, Joss A, Christensen MM, Meng HX, Suvan JE, Lang NP. Comparison of the clinical effects and gingival abrasion aspects of manual and electric toothbrushes. *J Clin Periodontol* 2001; 28: 65-72

McGregor ID, Rugg-Gunn AJ, Gordon PH. Plaque levels in relation to the number of toothbrushing strokes in uninstructed English schoolchildren. *J Periodontal Res* 1986; 21: 577-582

Mieler I. Rezessionen an der Gingiva – Äthiologie, Klinik und Therapie. *Stomatol DDR* 1985; 35: 36-42

Mierau HD, Spindler T, Strossenreuther B. Effect of a water jet apparatus on gingival volumetric pulse. *Dtsch Zahnärztl Z* 1983; 38: 1066-1069

Mierau HD, Fiebig A. The epidemiology of gingival recession and possible clinical accompanying symptoms. Study of 2410 18-22-year-old patients. *Dtsch Zahnärztl Z* 1986; 41: 640-644

Mierau HD, Haubitz I, Volk W. Habit patterns in the use of the manual toothbrush. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989; 44: 836-841

Mierau HD. Der freiliegende Zahnhals. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992; 47: 643-653

O'Leary TJ, Drake RB, Naylor JE. The plaque control record. *J Periodontol* 1972; 43: 38

Arbeitsgemeinschaft Zahngesundheit, 2005: Mundgesundheit bei Kindern und Jugendlichen weiter auf Erfolgskurs – erreichte Ziele und zukünftige Schwerpunkte. Statement: Neueste Ergebnisse der vierten bundesweiten DAJ-Studie zur Zahngesundheit von Kindern und Jugendlichen. [www.agz-rnk.de/agz/download/2/2.Pressek.Pieper2004.pdf](http://www.agz-rnk.de/agz/download/2/2.Pressek.Pieper2004.pdf) (Zugriffsdatum: 09.05.2008)

Plagmann HC. Clinical studies and long-term observations after the covering of exposed root surfaces by coronal sliding flaps. Dtsch Zahnärztl Z 1980; 35: 743-746

Plagmann HC, Goldkamp B, Lange DE, Morgenroth K. Über die mechanische Beeinflussung der Alveolarmukosa und der Gingiva durch verschiedene Zahnbürstentypen. Dtsch Zahnärztl Z 1978; 33: 14-20

Plagmann HC. Lehrbuch der Parodontologie. München: Hanser, 1998

Raetzke P. Die parodontale Rezession: Untersuchungen zur Prävalenz, Ätiologie, Signifikanz und zur Therapie. München: Hanser, 1988

Rateitschak KH und EM, Wolf HF. Farbatlanten der Zahnmedizin, Parodontologie. Stuttgart – New York: Thieme, 1984

Sangnes G. Traumatization of teeth and gingiva related to habitual tooth cleaning procedures. J Clin Periodontol 1976; 3: 93-103

Sangnes G, Gjermo P. Prevalence of oral soft and hard tissue lesions related to mechanical toothcleansing procedures. Community Dent Oral Epidemiol 1976; 4: 77-83

Savill G, Jackson R, Lynch E. Toothbrush design : adapting for the future. Int Dent J 1998; 48: 519-525

Sandholm L, Niemi ML, Ainamo J. Identification of soft tissue brushing lesions. A clinical and scanning electron microscopic study. J Clin Periodontol 1982; 9: 397-401

Sharma NC, Qaqish JG, Galustians HJ, Cugini M, Thompson MC, Warren PR. Plaque removal efficacy and safety of the next generation of manual toothbrush with angled bristle technology: results from three comparative clinical studies. Am J Dent 2005; 18: 3-7

Schneider H. Konservierende Zahnheilkunde. Linnich: Apollonia Verlag, 1995

Schroeder HE. Orale Strukturbiologie. Stuttgart – New York: Thieme, 1992

Tomofuji T, Sakamoto T, Ekuni D, Yamamoto T, Watanabe T. Location of proliferating gingival cells following toothbrushing stimulation. *Oral Dis* 2007; 13: 77-81

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, Van der Velden U. Toothbrushing force in relation to plaque removal. *J Clin Periodontol* 1996; 23: 724-729

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Versteeg PA, Piscaer M, Van der Velden U. High and low brushing force in relation to efficacy and gingival abrasion. *J Clin Periodontol* 2004; 31: 620-624

Vehkalahti M. Occurrence of gingival recession in adults. *J Periodontol* 1989; 60: 599-603

Versteeg PA, Timmerman MF, Piscaer M, Van der Velden U, Van der Weijden GA. Brushing with and without dentifrice on gingival abrasion. *J Clin Periodontol* 2005; 32: 158-162

Wennström JL, Lindhe J, Sinclair F, Thilander B. Some periodontal tissue reactions to orthodontic tooth movement in monkeys. *J Clin Periodontol* 1987; 14: 121-129

Wilner FJ, Oliver RG. Evaluation of a reproduction technique for the study of the enamel composite/bracket base area. *J Orthod* 2000; 27: 261-266

## 8. Danksagung

Ich möchte mich ganz besonders bei Prof. Dr. M. Frentzen für die Überlassung des interessanten Themas und für die fachliche Beratung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken.

Weiterhin gilt mein Dank ebenso Prof. Dr. Dr. S. Jepsen, Direktor der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, sowie der Oberärztin Dr. P.-M. Jervøe-Storm und Priv.- Doz. Dr. A. Braun.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen fleißigen Helfern und treuen Probanden der Studie, die sich zur Verfügung gestellt haben und ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern, meinen Geschwistern und Freunden für ihr Verständnis und die seelische und moralische Unterstützung danken.