

Aus der Abteilung Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
(Komm. Direktor: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Histologische Untersuchung am Schweinegaumen zu möglichen
Zahnfleischverletzungen durch verschiedene Handzahnbürsten**

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Negin Pirouzmandi
aus
Göttingen

Göttingen 2011

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. R. Mausberg

2. Berichterstatter/in: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Sennhenn-Kirchner

3. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med. Oppermann

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Mai 2011

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	3
2.1	Anatomischer und histologischer Aufbau des Parodonts.....	3
2.1.1	Histologischer Aufbau des oralen Gingivaepithels.....	4
2.2	Klassifikationen von parodontalen Traumata.....	6
2.2.1	Einteilung nach „Deutsche Gesellschaft für Parodontologie“ von 1987 ...	6
2.2.2	Einteilung nach „Deutsche Gesellschaft für Parodontologie“ von 1999 ...	7
2.3	Mundhygiene und Mundhygiene-Hilfsmittel	8
2.3.1	Zahnbürsten	9
2.3.1.1	Die Handzahnbürste	9
2.3.1.1.1	DIN 13917 von 1988.....	12
2.3.1.1.2	DIN EN ISO 20126 von 2005.....	13
2.3.1.2	Herstellungsverfahren einer Handzahnbürste	13
2.3.1.3	Einfluss der Zahnbürstenborsten hinsichtlich ihrer Beschaffenheit.....	14
2.4	Nutzungsintervall von Zahnbürsten	17
3	VERSUCHSPLANUNG	18
4	MATERIAL UND METHODE.....	20
4.1	Material.....	20
4.1.1	Handzahnbürsten	20
4.1.2	Vorbereitung der Zahnbürsten für die Versuche	21
4.1.3	Schweinegingiva.....	25
4.1.4	Zahnputzmaschine	25
4.1.5	Spannvorrichtung zur Fixierung der Proben	26
4.2	Methode.....	29
4.2.1	Simulation des Putzvorgangs	29
4.2.2	Aufbereitung der Proben.....	29
4.2.3	Lichtmikroskopische Untersuchung	32
4.2.4	Definition der mikroskopischen Bewertungskriterien	34
4.3	Statistische Auswertung	36

5	ERGEBNISSE	37
5.1	Schadigungsgrade der Zahnbürsten mittlerer Härte vs. Benutzungsperiode.....	37
5.2	Schadigungsgrade der Zahnbürsten weicher Härte vs. Benutzungsperiode.....	39
5.3	Vergleich der weichen mit den mittelharten Zahnbürsten	40
6	DISKUSSION	43
6.1	Diskussion von Material und Methode	44
6.1.1	Diskussion der Materialien.....	44
6.1.2	Diskussion der Methode	45
6.1.3	Diskussion der Ergebnisse	46
7	ZUSAMMENFASSUNG	49
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	50
9	ANHANG.....	56
9.1	Verwendete Bürstenköpfe nach verschleißendem Putzvorgang	56
9.2	Vorgang der Formalin - Fixierung von Gewebe	58
9.3	HE-Färbeprotokoll	59
9.4	Bewertung aller 328 Schnitte.....	60

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

	Seite		Seite
Abb. 2.1	3	Tab. 2.1	8
Abb. 2.2	4	Tab. 4.1	20
Abb. 2.3	10	Tab. 5.1	41
Abb. 2.4	11	Tab. 5.2	41
Abb. 2.5	11		
Abb. 3.1	19		
Abb. 4.1	22		
Abb. 4.2	24		
Abb. 4.3	24		
Abb. 4.4	24		
Abb. 4.5	24		
Abb. 4.6	24		
Abb. 4.7	26		
Abb. 4.8	27		
Abb. 4.9	27		
Abb. 4.10	28		
Abb. 4.11	31		
Abb. 4.12	32		
Abb. 4.13	33		
Abb. 5.1	38		
Abb. 5.2	39		
Abb. 5.3	40		
Abb. 9.1	56		
Abb. 9.2	56		
Abb. 9.3	57		
Abb. 9.4	57		

1 Einleitung

Seit geraumer Zeit ist ein wachsendes Mundhygienebewusstsein der Bevölkerung zu beobachten. Damit verbunden ist aber auch gleichzeitig eine Zunahme zahlreicher Parodontopathien. Aus epidemiologischen Untersuchungen ist bekannt, dass Patienten mit intensiver Mundhygiene mehr Zahnfleischverletzungen, im Sinne von Gingivaretraktion, V-förmigen Gingivadefekten und Stillmanschen Spalten aufweisen, als andere Patienten (Gormann 1967; Sangnes und Gjermo 1976). Die Lokalisation dieser Traumata lässt darauf schließen, dass die Läsionen primär durch das tägliche Zähnebürsten verursacht werden (Topoll 1985).

Schon Mierau fand 1992 in einer Studie heraus, dass gerade falsche Mundhygienemaßnahmen zu solchen Verletzungen führen können. Als kritischen Schwellenwert zur Entstehung von Traumata gab Mierau einen Wert von $> 2 \text{ N}$ als Anpressdruck an. Aber auch gebrauchte und damit abgenutzte Bürsten und der falsche Gebrauch von Interdentalhygieneutensilien können einen Anteil zur Schädigung des Gewebes beitragen (Topoll 1985; De Trey 1983).

Meist ist das Geschehen kombiniert mit einem vestibulären Fehlstand der Zähne (Parfitt und Mjor 1964; Gorman 1967; Maynard und Ochsenbein 1975), dem Fehlen von vestibulären Knochenanteilen, hoch ansetzenden Frenuli (Hirschfeld 1934, Gottsegen 1954, Smukler und Dreyer 1969) oder gar parafunktionellen Habits. Aber auch eine falsche Zahnputztechnik sollte berücksichtigt werden (Gorman 1967; Hall 1977; Breitenmoser et al. 1978).

Sicher scheint, dass die Härte der Zahnbürsten und/oder eine falsche Putztechnik eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Gingivaverletzungen spielen. Ab welchem Anpressdruck jedoch Verletzungen der Gingiva auftreten und ob dies in Abhängigkeit von der Härte bzw. vom Abnutzungsgrad der entsprechenden Zahnbürsten variiert, ist bis heute nicht zufriedenstellend geklärt.

Sind die Verletzungsarten möglicherweise abhängig von der Borstenqualität, bzw. Borstensteifheit und/oder der Putzdauer? Und wie sehen die Verletzungen durch Zahnbürstentraumatisierung aus?

Ziel dieser In-Vitro-Studie ist es, anhand von handelsüblichen Zahnbürsten mit unterschiedlicher Borstenhärte (weich, mittel) und drei verschiedenen Abnutzungsgraden (neuwertig, 3- und 6monatigem Gebrauch) mögliche traumatische Veränderungen der Gingiva durch das Putzen aufzuzeigen. Anhand von frisch gewonnenem Schweinegaumen sollen in einer Bürstmaschine mit verschieden abgenutzten Handzahnbürsten das Zähneputzen und somit die Traumatisierung simuliert werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomischer und histologischer Aufbau des Parodonts

Das funktionelle Verankerungssystem des Zahnes ist der Zahnhalteapparat (Abb. 2.1). Er wird eingeteilt in das Zahnfleisch (Gingiva propria), Zahnzement (Cementum), Zahnfach (Alveole) und Wurzelhaut (Desmodont). Die Gingiva beginnt an der mukogingivalen Grenzlinie und bedeckt die koronalen Abschnitte des Alveolarfortsatzes. Sie endet am Zahnhals und umschließt die Zähne mit dem Saumepithel, welches den Epithelansatz bildet. Diese Grenzlinie fehlt palatinal / lingual. Unterschieden wird zwischen freier marginaler Gingiva (ca. 1,5 mm breit), der befestigten und der interdentalen Gingiva. Zwischen zwei benachbarten Zähnen ist die interdental Gingiva gegen das interdentale Septum hin eingesenkt und wird als Col bezeichnet. Das Saumepithel ist ca. 2 mm hoch und umschließt ringförmig den Zahnhals. Apikal besteht es aus nur wenigen Zellagen, koronal -in Sulkusnähe- aus etwa 15 - 30 Zellagen, und ist an dieser Stelle etwa 0,15 mm breit. Aus nur zwei Straten besteht das Saumepithel: dem Stratum basale, welches mitotisch hochaktiv ist, und dem Stratum suprabasale. Die Basalzellen sind über Hemidesmosomen und die externe Basallamina mit dem Bindegewebe verbunden. Die Zellumsatzrate wird für die Gingiva mit 10 - 12 Tagen angegeben.

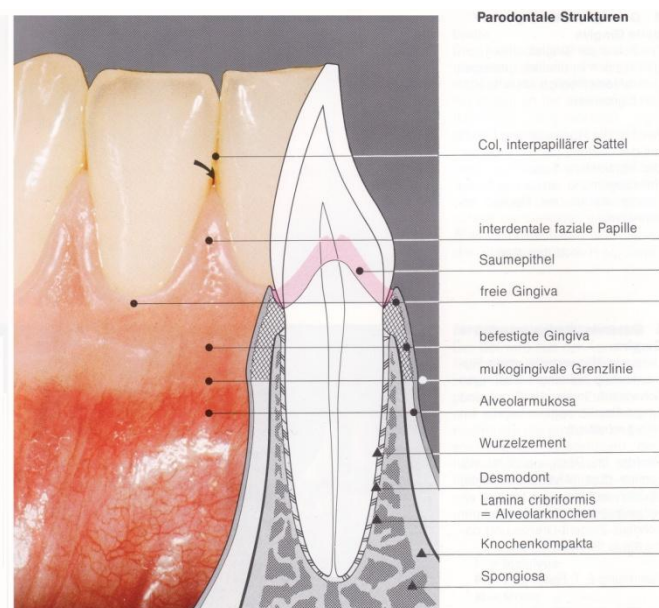


Abb. 2.1: Übersicht Parodontale Strukturen (Rateitschak und Wolf 1989, S.1)

Produkt und Teil des Saumepithels ist der Epithelansatz, der aus einer internen Basallamina und Hemidesmosomen besteht. Er vermittelt die epitheliale Haftung zwischen Gingiva und Zahnoberfläche. Die Basallamina und die Hemidesmosomen des Epithelansatzes sind denen der Epithel-Bindegewebs-Grenzfläche analog (Rateitschak und Wolf 1989).

2.1.1 Histologischer Aufbau des oralen Gingivaepithels

Die Gingiva besteht hauptsächlich aus einem verhornten mehrschichtigen Plattenepithel. Neben den Keratozyten finden sich innerhalb des Epithels zu ca. 10% atypische Zellen, wie z.B. Melanozyten, Langerhans-Zellen und spezifische Zellen.

Das orale Gingivaepithel besitzt eine vierschichtige Struktur (Abb. 2.2). Sie besteht aus dem Stratum basale, Stratum spinosum, Stratum granulosum und dem Stratum corneum. Abgegrenzt von dem Bindegewebe wird das Epithel durch die Basalzellamina. Die Dicke des oralen Epithels variiert beim Menschen zwischen 190 μm (Mundboden) und bis zu 500 μm (Wange). Die palatinale Gingiva ist 300 μm dick (+/- 70 μm). Das den Zähnen am nächsten gelegene Gingivaepithel, im Bereich des alveolaren Vestibulum, ist 270 μm (+/- 50 μm) dick (Schroeder 1992).

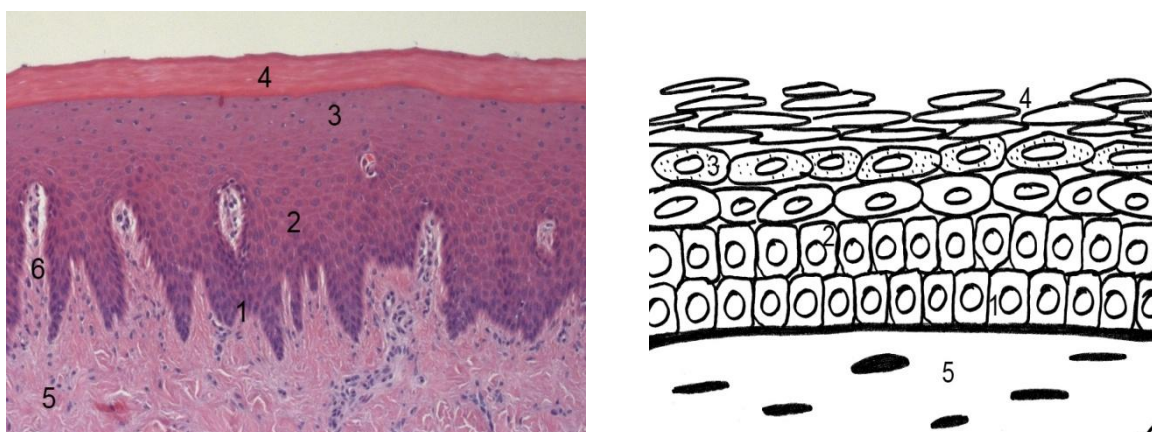


Abb. 2.2: Schichtung des oralen Gingivaepithels mit Stratum basale (1), Stratum spinosum (2), Stratum granulosum (3), Stratum corneum (4), der Lamina propria (5) und epithelialen Leisten (6)

Die Schichtung der Gingiva im Einzelnen:

Stratum basale

Der Basalzelllamina aufliegend liegt das Stratum basale. Es ist mitotisch aktiv und ist für die stetige Erneuerung der Gingiva zuständig. Nur im Stratum basale findet eine Proliferation der Zellen statt.

Stratum spinosum

In dem Stratum spinosum findet die Differenzierung der Epithelzellen statt. Das Stratum hat eine variable Stärke und füllt die Mitte der epithelialen Leisten auf.

Stratum granulosum

In dieser Schicht weist das Zytoplasma der Zellen Keratohyalin granula auf. Das Stratum ist nur wenige Zellen dick.

Stratum corneum

Das Stratum corneum bildet die oberste Schicht und somit die Grenzschicht zur Mundhöhle. Sie besteht aus stark abgeflachten Hornschuppen und ist unterschiedlich dick. Das Epithel des alveolaren Vestibulums besitzt in der Regel kein Stratum corneum. Nur bei mechanischer Belastung des Epithels lässt sich ein Stratum corneum auf der Gingiva feststellen. So besitzt der palatinale Anteil des Gingivaepithels eine 10 bis 15 µm dicke Schicht.

In der vorliegenden Arbeit wurde Gingiva vom Hausschwein verwendet. Entnahmebereich war der Gaumen. Das Gingivaepithel besitzt aufgrund der mechanischen Belastung des Hausschweins beim Fressen einen deutlicheren Anteil des Stratum corneums. Sie betrug bei den histologischen Schnitten durchschnittlich 100 µm.

2.2 Klassifikationen von parodontalen Traumata

In den letzten Jahren gab es verschiedene Methoden, Verletzungen der Gingiva und auch Mikroverletzungen darzustellen. Zahlreiche rasterelektronen-mikroskopische und histologische Befunde wurden erhoben. Auch kam die Ultraschalltechnik sehr häufig zum Einsatz, um die verbliebene Gingiva nach einer Reizung durch Bürsten in ihrer Dicke zu messen und diesen Wert mit dem ursprünglichen zu vergleichen (Braun und Nolden 1998; Schulze et al. 2001).

Gewebsschädigungen, speziell verursacht durch das Putzen der Zähne mit einer Zahnbürste, wurden von manchen Autoren eigenhändig eingeteilt. Glickmann zum Beispiel stellte 1972 zwei verschiedene Formen dar:

1. diffuses Erythem der Gingiva mit eventuell nachfolgender schmerzhafter Bläschen- und Erosionsbildung im traumatisierten Gingivabereich
2. Stichverletzungen durch abstehende Borsten und Abtragung des Epithels mit Freilegung des Bindegewebes

Es gibt eine Vielzahl von Parodontopathien, welche durch die Deutsche Gesellschaft für Parodontologie eine Einteilung gefunden haben.

Nachfolgend sind die offiziellen Einteilungen der Deutschen Gesellschaft für Parodontologie aufgeführt.

2.2.1 Einteilung nach „Deutsche Gesellschaft für Parodontologie“ von 1987

(nach Trapmann 2002, S. 16)

In dieser Klassifikation wurden die mechanischen Schädigungen in traumatogene und involutive Formen unterschieden.

1. Traumatogene Formen:

- a) Verletzungen der Gingiva: mechanische, chemische oder thermische Insulte an der Gingiva

- b) Desmodontales Trauma: traumatische, abakteriell-entzündliche Destruktionen des tiefen parodontalen Stützgewebes.

2. Involutive Formen:

- a) Parodontale Rezessionen: die entzündungsfreie Rückbildung des Parodontiums
- b) Alveolaratrophie: entzündungsfreier Schwund des Alveolarknochens einschließlich der Interdentalsepten.

Traumatische Verletzungen sind als akutes Ereignis zu verstehen. Sie treten ursächlich und akut nach einem Trauma auf. Wirkt hingegen ein Trauma über längere Zeit ein, so spricht man von einer involutiven Form. Des Weiteren werden auch genetische Dispositionen als Ursache betrachtet.

2.2.2 Einteilung nach „Deutsche Gesellschaft für Parodontologie“ von 1999

(nach Hellwig et al. 2007, S. 413)

Die im Jahr 1999 international aufgestellte Klassifikation parodontaler Erkrankungen löst die Nomenklatur aus dem Jahr 1987 der Deutschen Gesellschaft für Parodontologie ab.

Entsprechend klinischen, radiographischen und anamnestischen Kriterien beschreibt die neue Klassifikation eigenständige Formen der Parodontitis und orientiert sich nicht an der früheren Art der Einteilung, welche aufgrund des Alters des Patienten bei der Erstdiagnose erfolgte (Hellwig et al. 2007).

Die in dieser Arbeit schwerpunktmäßig beschriebenen Gingivaschädigungen gehören demnach zur Gruppe der Gingivopathien, die nicht durch dentale Plaque induziert sind. Es handelt sich um traumatische Läsionen, die primär mechanisch verursacht wurden.

Auszug aus PA-Klassifikation

I Gingivopathien

B. nicht durch dentale plaqueinduzierte Gingivopathien

6. Traumatische Läsionen (unbeabsichtigt, iatrogen, unfallbedingt)

a. Chemische Verletzung

b. Physische Verletzung

c. Thermale Verletzung

Tab. 2.1: Auszug aus PA-Klassifikation (Deutsche Gesellschaft für Parodontologie 1999).

2.3 Mundhygiene und Mundhygiene-Hilfsmittel

Es gibt in der heutigen Zeit eine enorme Bandbreite an verschiedenen Reinigungsmitteln, die die Mundhygiene erleichtern. Eingeteilt werden diese in mechanische und chemische Hilfsmittel.

Mechanische Hilfsmittel

➤ Zahnbürsten:

- Handzahnbürsten
- Elektrische Zahnbürsten
- Schallzahnbürsten

➤ Zahnzwischenraumpflege:

- Interdentalbürsten
- Zahnseide
- Zahnhölzer
- Munddusche

Chemische Hilfsmittel

- Spüllösungen
- Zahnpasten
- Kaugummi (speicheltreibendes Mittel)
- Fluoridpräparate.

2.3.1 Zahnbürsten

Zwei Aufgaben hat eine Zahnbürste nach landläufiger und besonders von der Werbung oft herausgestellter Ansicht zu erfüllen.

- I. die mechanische Reinigung der Zahnoberflächen und der marginalen Gingiva von bakterieller Plaque und
- II. zum anderen die Stimulation der Gingiva im Sinne einer Massage (Plagmann et al. 1978).

Aufgrund ihrer histologischen Untersuchungen, sahen Hirsch et al. 1967 eine bessere Zellvernetzung des Gingivaepithels durch die Bürstenmassage. Einen ähnlichen Effekt vermuteten Plagmann et al. 1972 aufgrund zytologischer Befunde.

Da in dieser In-Vitro Studie ausschließlich Handzahnbürsten zum Einsatz kommen, werden diese nun nachfolgend näher betrachtet.

2.3.1.1 Die Handzahnbürste

Die manuell anzuwendenden Zahnbürsten unterliegen der deutschen Industrienorm, welche 1973 entwickelt wurde (Trapmann 2002) und 1988 sowie 2005 zuletzt aktualisiert wurde (DIN 13917 1988, DIN EN ISO 20126 2005).

Die DIN EN ISO 20126 beschreibt eine Zahnbürste wie folgt (siehe hierzu auch Abb. 2.3, 2.4, 2.5):

- **Der Griff** stellt einen Teil der Zahnbürste dar, der zum Fassen der Bürste dient. Er ist mit dem Namen oder Handelszeichen des Herstellers oder Verteilers dauerhaft und lesbar zu versehen, z. B. durch Prägen.
- **Der Bürstenkopf** ist der Teil der Zahnbürste, der den Besteckungsträger und die Gesamtheit des Besteckungsmaterials umfasst.
- Als **Besteckungsträger** nennt man den Teil der Zahnbürste, in dem die **Monofile** befestigt sind. Diese sind einzelne Elemente eines Büschels bzw. Bündels.
- Das **Bürstenfeld** einer Zahnbürste ist diejenige Fläche, die von der Besteckung in Schnitthöhe gebildet wird.
- Die Gesamtheit aller **Monofilen**-Bündel stellt die Zahnbürstenbesteckung dar.
- Diejenige Fläche, die von der Besteckung auf dem Bürstenkopf oder dem Besteckungsträger eingenommen wird, nennt man Besteckungsfeld.

Mittlerweile gibt es eine große Vielzahl an Zahnbürstentypen auf dem Markt. Meist bestehen sie nur noch aus Kunststoff und besitzen ein dichtes (multitufted) Bürstenfeld mit Kunststofffilamenten (Golding 1982, Chong und Beech 1983). Die meisten Variationen findet man in der Elastizität des Bürstenkopfs und im Bürstenschnitt. Federungsmechanismen werden häufig in den Übergang vom Griff zum Kopf oder in den Kopf selbst eingebaut.



Abb. 2.3: Aufbau einer Zahnbürste (seitliche Ansicht) mit Griff (1), Bürstenkopf (2) und Federungsmechanismus (3)

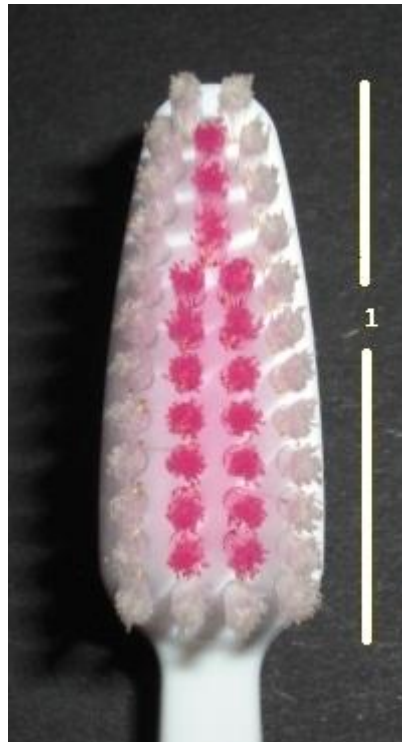


Abb. 2.4: Zahnbürstenkopf mit Besteckungsfeld (1)

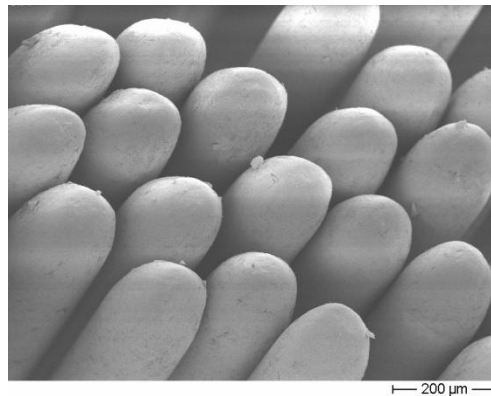


Abb. 2.5: Rasterelektronenmikroskopisches Bild eines aus Monofilamenten bestehenden Bürstenfelds (van Nüss 2010)

2.3.1.1.1 DIN 13917 von 1988

Schon die Deutsche Industrienorm DIN 13917 von 1988 legte die Kriterien einer Zahnbürste detailliert fest. So wurden die Art des Griffs, des Bürstenkopfs und die Verankerung der Borsten genauestens festgelegt und erläutert. Auch erfolgte eine Einteilung in die

- Härtegrade **weich, mittel, hart** und
- nach dem **Personenkreis** der Nutzer, wie **Kinder, Jugendliche** und **Erwachsene**.

Diese beiden Hauptkriterien gelten bis heute. Desweiteren wurden in der DIN 13917 genormt:

- die Länge und Breite des Bürstenkopfs, das Besteckungs- und Bürstenfeld
 - Die Besteckung sollte aus synthetischen Monofilen bestehen, hygienisch einwandfrei und frei von unangenehmen Gerüchen und Geschmäckern sein. Griff und Bürstenkopf mussten dieselben Eigenschaften aufweisen.
- das Borstenprofil. (Die Borsten selbst mussten abgerundet sein.)
 - Heutzutage gibt es aber auch mikrofeine Filamentenden, wie z.B. bei der Zahnbürste der Marke Meridol (GABA GmbH, Lörrach, Deutschland).
- die Anordnung der Büschel
- bei bestimmungsmäßigen Gebrauch dürfen keine toxischen Stoffe freigesetzt werden.

2.3.1.1.2 DIN EN ISO 20126 von 2005

Diese Internationale Norm für Handzahnbürsten bestimmt den Zweck einer solchen Bürste, das Prüfverfahren und die Anforderungen, die eine Bürste aufweisen muss. Dadurch werden Mindeststandards festgelegt und eine Gebrauchssicherheit gewährleistet. Auch wurde das Aussehen und der Aufbau einer Zahnbürste (Griff, Bürstenkopf, Besteckungsträger, Bürstenfeld) genau definiert (siehe 2.3.1.1)

Nach der DIN EN ISO 20126 ist eine Bürste ausschließlich ein von Hand bewegtes Gerät, das nur zur Reinigung der Zahnoberflächen dient.

Sie darf keinerlei sichtbare Verunreinigungen, scharfe oder raue Oberflächen aufweisen, und muss funktionsfähig sein. Die Verpackung selbst darf keine Verunreinigung zulassen. Sie sollte mit dem Handelsnamen, sowie Namen und Postanschrift des Herstellers und/oder des zuständigen Händlers versehen sein.

2.3.1.2 Herstellungsverfahren einer Handzahnbürste

Das Herstellungsverfahren der Handzahnbürsten bezieht sich auf die Verankerungsform der Borstenbüschel im Bürstenfeld. Auf konventionelle Art wurden die Borsten mit Hilfe von Metallklammern im Bürstenkopf verankert. Nach dieser Verankerungsmethode erfolgt im Anschluss die Endrundung der Borsten.

Mittlerweile werden drei neuere Herstellungsverfahren angewandt.

I. **Spritzgussverfahren**

Der Borstenkopf wird beim *Spritzgussverfahren* um die Borsten gespritzt

II. **Einfügeverfahren**

Beim *Einfügeverfahren* werden die Borsten in das erwärmte und dadurch weiche Material des Bürstenkopfes hineingesteckt.

III. **Einschweißverfahren**

Eine gleichzeitige Erwärmung erfordert das *Einschweißverfahren*.

Alle drei Verfahren haben Einfluss auf das Aussehen der Handzahnbürsten und auf die Endrundung der Borsten, welche im Hinblick auf das Verletzungsrisiko, bzw. auf die Reinigungswirkung eine wichtige Rolle spielen.

Bürstenkopf und Borsten müssen aus einem gleichen Material bestehen. Die einzelnen Bündel dürfen bei einer konstanten, direkten Zugkraft von 15 Newton (DIN EN ISO 20126) nicht vom Borstenkopf getrennt werden. Durch diese Verfahren hat man nun eine Bandbreite an Möglichkeiten, den Bürstenkopf zu gestalten. Durch diese Herstellungsverfahren ist es gelungen einen Fortschritt aus hygienischer Sicht zu erreichen. Bakterien können nicht mehr in die, wenn auch sehr kleinen, Zwischenräume zwischen Borsten und Bürstenkopf eindringen.

2.3.1.3 Einfluss der Zahnbürstenborsten hinsichtlich ihrer Beschaffenheit

In der Literatur finden sich zahlreiche Studien, die die Verletzungsarten der Gingiva mittels Zahnputzartikeln aufzeigen. Dabei wurde zwischen verschiedenen Arten der Untersuchungen unterschieden.

- Rein **visuelle** Verfahren zeigen ein makroskopisches Bild diverser Verletzungen (Smukler und Landsberg 1984; Topoll 1985; Breitenmoser et al. 1978).
- Noch deutlicher kommen Verletzungen in **histologischen** Untersuchungen zum Vorschein (Kuntsche und Lange 1978; Anneroth und Poppelmann 1975; Plagmann et al. 1978).
- Auch **sonographische** Dickenmessungen der Gingiva zeigen das Verletzungspotential der Borsten auf (Braun und Nolden 1998).
- **Labor-chemische** Untersuchungen weisen Blutzellen nach, die auf Verletzungen hinweisen (Bass 1948).

Nachfolgend wird auf einige Untersuchungen hingewiesen.

In einer der ersten Studien (Bass 1948) erhielten Probanden für die Reinigung ihrer Zähne Zahnbürsten, die sich in der Form der Borstenenden unterschieden (abgerundete bzw. abgeschnittene Borstenenden).

Nach dem Putzvorgang wurde die Spüllösung der Probanden aufgefangen. Diese Lösungen wurden zentrifugiert und auf Blutzellen hin untersucht. In den Proben der Testpersonen, die mit scharfkantigen Bürsten geputzt hatten, fanden sich zahlreiche Blutzellen, die auf eine erhöhte Gewebeverletzung hinwiesen.

Auch die Form der Borstenspitzen entscheidet über die Effektivität und das Verletzungspotential einer Zahnbürste. Leimgruber stellte 1951 fest, dass einzig und allein die Borstenspitze darüber entscheidet, ob eine Bürste die Zähne reinigt, ohne die Zahnhartsubstanz oder gar die Gingiva zu traumatisieren, oder ob durch den Gebrauch mehr Schäden als Vorteile entstehen werden.

Storsberg zeigte 1955 in Tierversuchen das Verletzungspotential von scharfkantigen im Vergleich zu abgerundeten Nylonborsten auf. Die Anwendung der scharfkantigen Bürsten verursachten bei Hunden häufiger entzündliche Prozesse des marginalen Parodonts mit horizontaler und vertikaler Atrophie des Parodonts. Diese konnten bei der Verwendung von abgerundeten Nylonbürsten nicht nachgewiesen werden.

- Anneroth und Poppelman wiesen 1975 in einer Studie bei Hunden nach, dass das Borstenmaterial Einfluss auf die Gingiva bei Hunden hat. Sie verwendeten Nylon- und Polyethylenborsten. Während die Nylonzahnbürste unter dem Elektronenmikroskop scharfe Kanten zeigte, die infolge der schrägen Schnittflächen entstanden, wiesen die Polyethylenborsten glatte gerundete Borstenenden auf. Ein weiterer Unterschied bestand darin, dass die Nylonborste einen runden Querschnitt hatte, während die Polyethylenborsten quadratisch geformt waren und weniger Verletzungen verursachten, als Nylon.
- In weiteren klinischen Studien wurde diese Gefährlichkeit der nicht abgerundeten Borsten bestätigt. In einer Studie (Breitenmoser et al. 1978), wurden 30 Probanden aufgefordert, mit einem standardisierten Anpressdruck bei einer definierten Putzzeit ihre Zähne zu putzen. Es handelte sich dabei um nicht abgerundete Borsten. Unter Anwendung eines fotografisch-planimetrischen Auswerteverfahrens wurde eine um 30% größere Läsionsfläche im Bereich der Gingiva festgestellt. Somit ist bewiesen worden,

dass es auch trotz einer sachgemäßen Handhabung der Zahnbürste, bei nicht abgerundeten Borsten, zu mehr Verletzungen gekommen ist.

In einer Studie an Minischweinen wurden 4 Wochen lang 3x wöchentlich im Halbseitenvergleich nach standardisierter Methode jeweils gegenüberliegende Quadranten mit einer planen, sogenannten „multi tufted“ und einer gezahnten, sogenannten „space tufted“ Zahnbürste für 20 Sekunden geputzt (Plagmann et al. 1978). Das Ergebnis dieser Versuchsreihe erbrachte, dass beide Zahnbürsten an der Alveolarmukosa eine starke Aufrauhung und Destruktion der Epitheloberfläche mit Loslösung vieler Einzelzellen und oberflächlicher Zellverbände erzeugte.

Ähnlich sahen die Schädigungen an der freien Gingiva aus. Bei der „attached“ Gingiva zeigten sich erstmals unterschiedliche Verletzungsformen.

Weitere Studien prüften den Einfluss von Quantität und Qualität des Putzens, sowie das Material der Borsten im Hinblick auf die Schädigungen des Parodonts.

- Epidemiologische Untersuchungen von Sangnes und Gjermo erwiesen 1975, dass Patienten mit **intensiver Mundhygiene** mehr Gingivaretraktionen, V-förmige Defekte und Stillmansche Spalten aufwiesen, als andere Patienten.
- De Trey fand in seiner Studie 1983 heraus, dass allein die **Borstensteifheit** einen größeren Einfluss auf die Traumatisierung der Gingiva hat, als die **Kraftausübung**.
- Bei Frentzen et al. wurden 1989 1000 Bundeswehrsoldaten im Alter von 18-22 Jahren auf Gingivarezessionen hin untersucht. Die Putzgewohnheiten wurden ebenfalls ausgewertet. Am Schluss der Studie konnte ein Zusammenhang zwischen den Rezessionen als eventuelle **Folgeerscheinung der Putztechnik** (hauptsächlich vertikales Putzen) und einem **häufigen Bürstenwechsel** gesehen werden. 23% der Probanden wiesen die Gingivaschädigungen als Folgeerscheinung auf.
- Aber auch die Abrasivität einiger **Zahnpasten** (Sandholm et al. 1982) zeigten Verletzungen.

Zusammenfassend verweist Ketzler 1994 auf die Parameter **Bürstzeit, Häufigkeit des Putzens, Bürstkraft, Bürstaktivität, Bürsttechnik und Handhabung** der Bürste. Diese genannten Faktoren spielen eine große Rolle in der Häufigkeit und Verteilung diverser Schädigungen des Zahnfleisches.

2.4 Nutzungsintervall von Zahnbürsten

In der Literatur gibt es unterschiedliche Angaben über die empfohlene Nutzungsdauer von Zahnbürsten. Sie reichen von vier Wochen (Hellwig et al. 2007) bis hin zu vier Monaten (American Dental Association 2005). Laut des unabhängigen Marktforschungsinstituts Nielsen zeigten Verkaufszahlen aus April 2005 bis März 2006, dass die Verbraucher alle drei bis sechs Monate ihre Bürsten wechselten.

Daher wurden in dieser Studie gezielt Zahnbürsten mit einer vorherigen Benutzungszeit von drei und sechs Monaten verwendet.

3 Versuchsplannung

Ziel dieser Studie war es zu ermitteln, ob die durch das Zähneputzen an der Gingiva entstehenden Verletzungen, sowie der Verletzungsgrad in Abhängigkeit von der Härte bzw. dem Abnutzungsgrad der verwendenden Zahnbürsten variiert.

Um ein möglichst realitätsnahes Ergebnis zu erhalten, wurden Zahnbüsten mit unterschiedlicher Abnutzung verwendet (neuwertig, 3 und 6 Monate alte Bürsten). Auch wurden zwei verschiedene Härtegrade (mittel und weich) verwendet. Als Gingiva dienten Proben von der palatinalen Gingiva von frisch geschlachteten Hausschweinen. Diese Proben wurden mit den jeweiligen Zahnbürsten einem simulierten Putzvorgang unterzogen.

Nach dem Putzvorgang wurden die Gingivapräparate in Mikrotomschnitte überführt und mittels Lichtmikroskop mikromorphometrisch auf Verletzungen hin untersucht. Die Verletzungsgrade wurden durch eine eigens entwickelte Skala ermittelt.

Nachfolgend ist der detaillierte Versuchsaufbau der Studie abgebildet (Abb. 3.1).

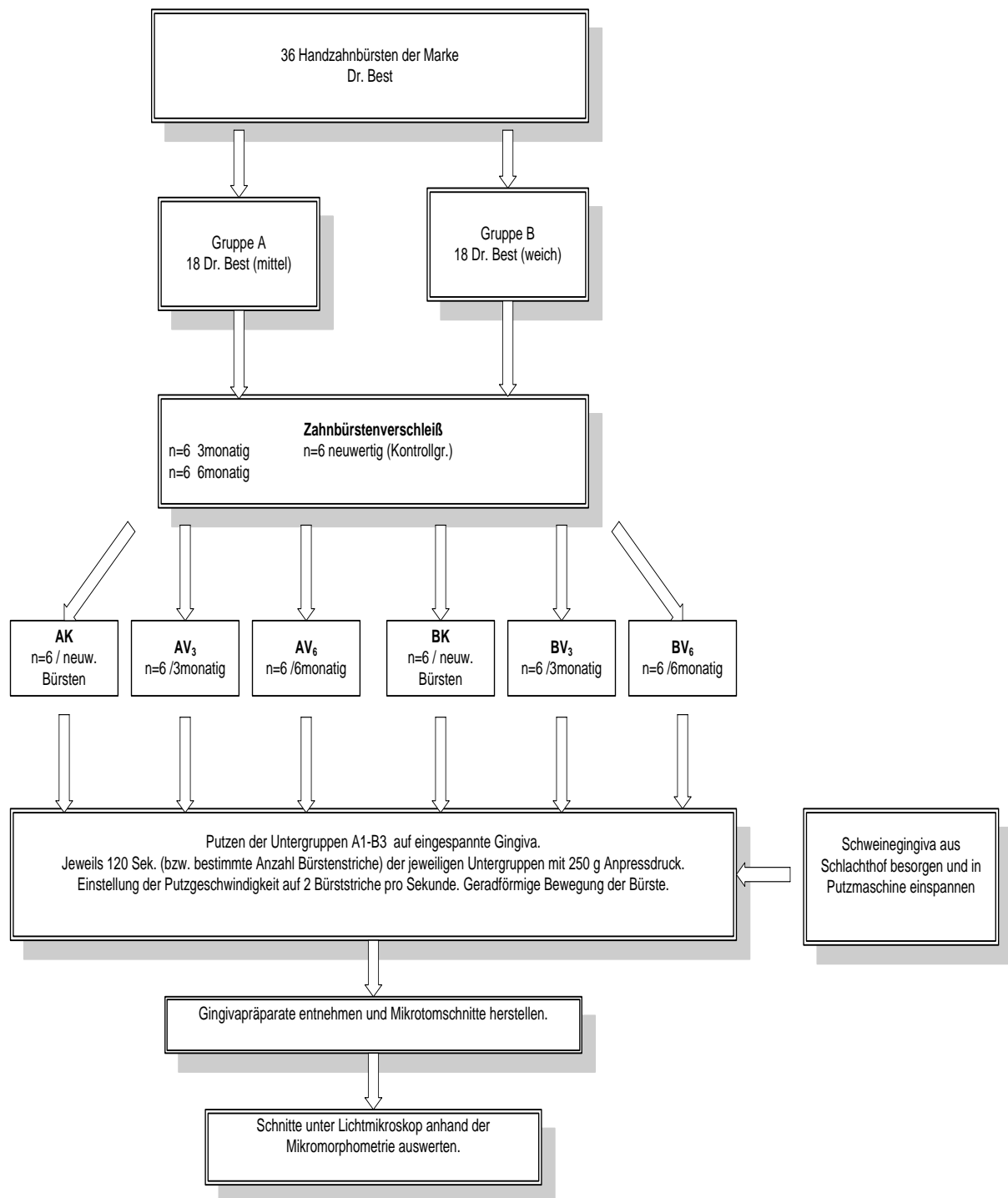


Abb. 3.1: Ablaufplan der Studie

4 Material und Methode

4.1 Material

4.1.1 Handzahnbürsten

In dieser In-Vitro-Studie wurden insgesamt 36 Zahnbürsten der Marke „Dr. Best-Plus“ (Glaxo Smith Kline, Bühl, Deutschland) (Tab. 4.1) verwendet. 18 Zahnbürsten der Härte „weich“ und 18 in der Härte „mittel“.

Länge und Breite des Bürstenkopfes	Länge : 30 mm Breite : 12 mm
Vertrieb	Glaxo Smith Kline, Bühl, Deutschland
Hersteller	M&C Schiffer GmbH, Neustadt Deutschland
Anzahl der Borstenbüschel	43
Art der Borstenbefestigung	Metallanker
Borstenmaterial	Nylon (PA 6.12 Polyamid)
Form der Borstenspitze	abgerundet
Preis der Zahnbürste	1-2 Euro

Tab. 4.1: Dr. Best Plus

Da in dieser Untersuchung nicht nur neuwertige Bürsten zum Einsatz kommen sollten, wurden 12 Bürsten der Gruppe weich bzw. mittel einer simulierten Abnutzung von 3 bzw. 6 Monaten in einer Putzmaschine unterzogen. So teilten sich die Zahnbürsten in zwei Haupt- und drei Untergruppen auf.

Für den Versuch erfolgte die Einteilung der Bürsten nach folgendem Schema.

In die **Hauptgruppe**:

→ **A: Dr. Best mittel**

Untergruppe

- **K:** Kontrollgruppe (KEIN Verschleiß) n = 6
- **V₃:** Verschleißsimulation für 3monatigen Gebrauch n = 6
- **V₆:** Verschleißsimulation für 6monatigen Gebrauch n = 6

In die **Hauptgruppe**:

→ **B: Dr. Best weich**

Untergruppe

- **K:** Kontrollgruppe (KEIN Verschleiß) n = 6
- **V₃:** Verschleißsimulation für 3monatigen Gebrauch n = 6
- **V₆:** Verschleißsimulation für 6monatigen Gebrauch n = 6

4.1.2 Vorbereitung der Zahnbürsten für die Versuche

Für die Verschleißgruppen (**V₃** und **V₆**) erfolgte das Putzen/der Verschleiß nach festgelegten Putzzeiten bzw. Bürstenstrichen zur Simulation der natürlichen Abnutzung der Zahnbürsten (3 bzw. 6 Monate) bei stets gleichem Anpressdruck von 250g. Die Kontrollgruppe **K** blieb neuwertig. Sie sollte eine neue Zahnbürste simulieren.

Da davon ausgegangen wird, dass pro Sekunde 4,5 Bürststriche erfolgen (Heath und Wilson 1974), ergibt sich bei einer Putzdauer von 2 Minuten und 2 x täglichen Anwendungen eine Anzahl von 97.200 Bürststrichen in drei Monaten bzw. 194.400 in sechs Monaten.

Rechenweg:

2 Minuten = 120 Sekunden

2x täglich = 4 Minuten = 240 Sekunden

240 Sekunden x 4,5 Bürststriche pro Sekunde = 1080 Striche pro Tag

1080 Striche pro Tag x 30 Tage = 32400 Striche pro Monat

97.200 für 3 Monate

194.400 für 6 Monate

Zur Simulation der Putzbewegungen wurden die Köpfe der Zahnbürsten auf genau abgemessenen Kunststoffkörpern in die jeweiligen sechs Vorrichtungsschalen der Zahnputzmaschine eingespannt (Abb. 4.1). Bei der simulierten Putzbewegung wurde kein künstlicher Speichel verwendet, sondern nur herkömmliche Zahnpasta mit Leitungswasser vermengt, um so einen möglichst natürlichen Abrieb durch die Zahnbürste und nicht durch Putzkörperchen der Paste zu erzielen. In Anhang 9.1 werden alle im Versuch verwendeten Bürstenköpfe nach dem verschleißenden Putzvorgang gezeigt.

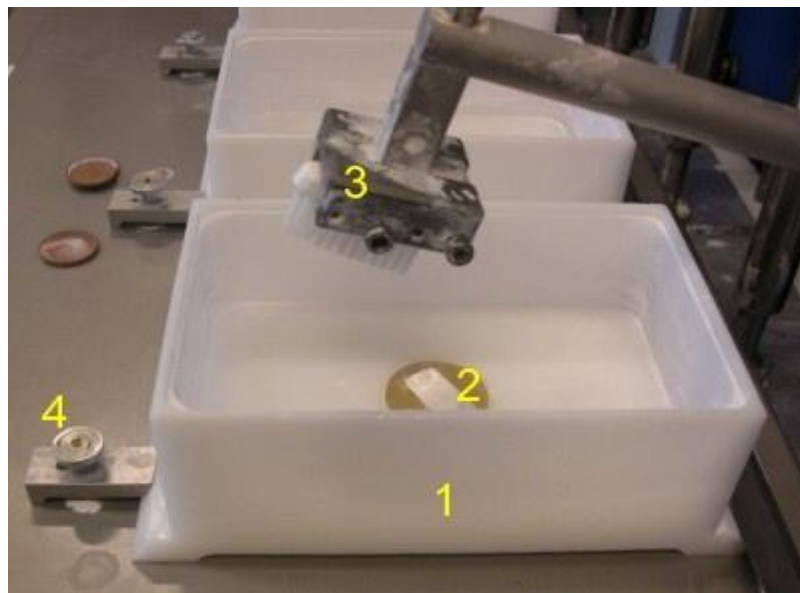


Abb.4.1: Simulation des verschleißenden Putzens der Zahnbürsten mit Vorrichtungsschale (1), Kunststoffkörper (2), Halter für Zahnbürstenköpfe (3) und Klemmvorrichtung (4)

Entsprechend der o.g. Gruppeneinteilung und der entsprechenden Vorbehandlung der Zahnbürsten ergab sich letztendes folgende Gruppeneinteilung:

1. Gruppe AK; Gruppe AV₃; Gruppe AV₆

2. Gruppe BK; Gruppe BV₃; Gruppe BV₆

Es standen somit 36 Zahnbürsten

- Kontrollgruppe (6 x weich / 6 x mittel Bürsten), (Abb. 4.2)
- Verschleiß von 3 Monaten (6 x weich / 6 x mittel Bürsten), (Abb. 4.3/ 4.5)
- Verschleiß von 6 Monaten (6 x weich / 6 x mittel Bürsten), (Abb. 4.4/ 4.6)

zur Verfügung.



Abb. 4.2: Beispiel für eine unbenutzte weiche Zahnbürste.



Abb. 4.3: Beispiel einer Zahnbürste (mittlerer Härte) nach simulierter 3monatiger Nutzung.



Abb. 4.4: Beispiel einer Zahnbürste (mittlerer Härte) nach simulierter 6monatiger Nutzung.



Abb. 4.5: Beispiel einer Zahnbürste (weiche Härte) nach simulierter 3monatiger Nutzung.



Abb. 4.6: Beispiel einer Zahnbürste (weiche Härte) nach simulierter 6monatiger Nutzung.

4.1.3 Schweinegingiva

Als Versuchsmaterial dienten Schweinekieferhälften von 4-6 Monate alten männlichen Hausschweinen, die an den Versuchstagen eigenhändig vom Schlachthof (Hausschlachtereie Seibert, Göttingen) bezogen wurden, wo sie circa eine halbe Stunde vorher geschlachtet worden waren. Da es in dieser Studie um lebendes Material ging, war nur ein kleines Zeitfenster von wenigen Stunden vorhanden, bevor die Zellen in einen Zersetzungsprozess eintraten und somit die histologischen Ergebnisse durch Autolyse des Untersuchungsmaterials verfälscht hätten.

Da wir es mit Schlachttieren zu tun hatten, wurde von der Schlachtereie der Oberkiefer nie symmetrisch geteilt. Die Stücke mussten für die Versuche so geschnitten werden, dass eine ebene Unterseite entstand. Nur die „glatte“ Schnittfläche ermöglichte auch die Putzbewegung der Zahnbürste in einer waagerechten Ebene. Dies ermöglichte auch einen durchgehenden gleichbleibenden Anpressdruck von 250g. Die Gaumenkieferhälften wurden deshalb in der histopathologischen Abteilung des Klinikums Göttingen mithilfe einer Bandsäge in ca. 5x10cm große Proben gesägt. Diese Größe wurde gezielt gewählt, da sie sich optimal für die Spannvorrichtung (Abb. 4.8) der Putzmaschine eignete. Unmittelbar nach dem Zusägen, wurden sie dem Bürstvorgang unterzogen.

4.1.4 Zahnputzmaschine

Zur Nachahmung der Putzbewegungen diente eine Zahnbürstputzmaschine (Abb. 4.7) (hergestellt in den wissenschaftlichen Werkstätten des Klinikums Göttingen), welche für sechs Zahnbürsten Halterungsvorrichtungen aufweist. Die Haltestange ist verbunden mit einem Gewicht, welches mit einer Federwaage genau eingestellt werden kann. Für diese Studie wurde ein Gewicht von 250g eingestellt.

Zu dem Gerät gibt es sechs passende Kunststoffschalen, die diverse Probenarten aufnehmen können. Sie sind auf einem beweglichen Tisch einklemmbar. Die Putzmaschine verfügt über zwei Regler, mit deren Hilfe einerseits die Putzgeschwindigkeit und andererseits die Putzbewegung eingestellt werden kann. Dabei gibt es eine geradlinige und eine rüttelnde Bewegung. In dieser Studie kam die

geradlinige Bewegung zum Einsatz, um so, bei der späteren Auswertung das exakte Putzareal erfassen zu können. Ein Display zeigt die Anzahl der Putzbewegungen an und dient auch zur genauen Einstellung der Anzahl der Bewegungen.



Abb. 4.7: Zahnputzmaschine mit Regler für die Einstellung der Bürstbewegung bzw. Geschwindigkeit (1) und sechs Vorrichtungsschalen (2)

4.1.5 Spannvorrichtung zur Fixierung der Proben

Um die Schweinekieferproben in den Kunststoffschalen der Putzmaschine (Abb.4.7) fixieren zu können, diente eine eigens für die Studie entworfene Spannvorrichtung (Abb. 4.8). Mithilfe von vier Schrauben konnte so die Probe fest fixiert werden, ohne, dass sie sich beim eigentlichen Putzvorgang löste. Die Spannvorrichtung selbst konnte auf dem beweglichen Tisch der Putzmaschine befestigt werden (Abb. 4.9/ Abb. 4.10).



Abb. 4.8: Spannvorrichtung (2) mit Schrauben (1) zur festen Fixierung der Proben

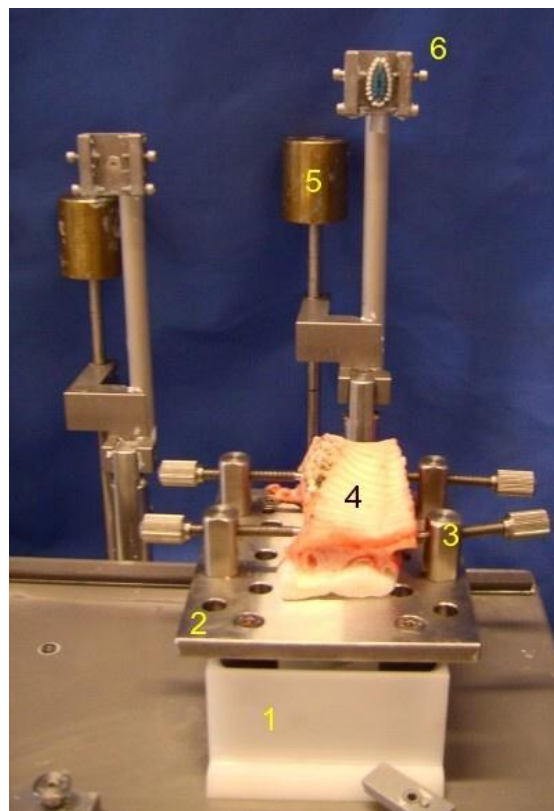


Abb. 4.9: Fixierte Schweinekieferprobe (4) in Spannvorrichtung (2) und Vorrichtungsschale (1), eingespannter Zahnbürstenkopf (6), Spannvorrichtungsschraube (3) zur Fixierung der Proben, sowie Gewicht (5) zur Einstellung des Anpressdrucks

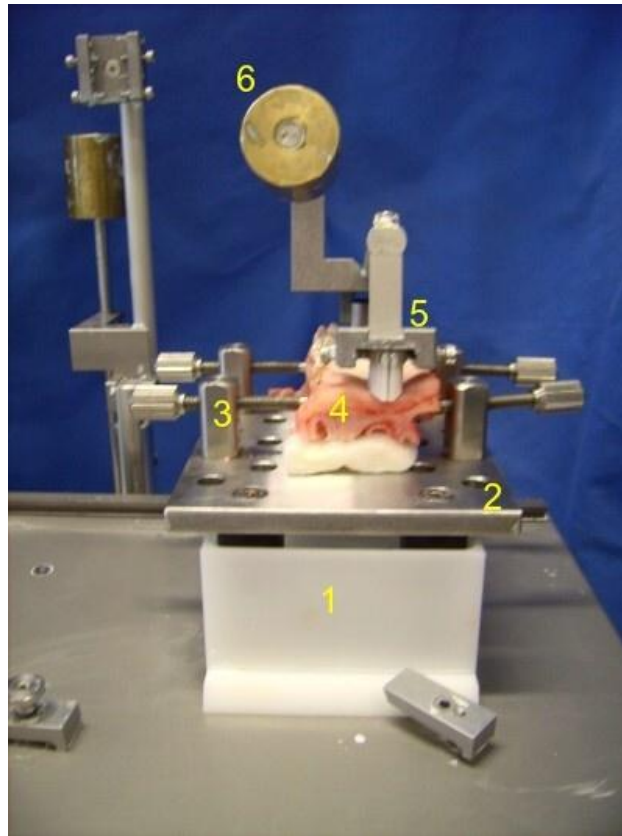


Abb. 4.10: Bürstvorgang, Ansicht von vorn Vorrichtungsschale (1), Spannvorrichtung (2), Schraube zur Fixierung der Proben (3), Schweinekieferprobe (4), Halter für Zahnbürstenköpfe (5), Gewicht zur Einstellung des Anpressdrucks (6)

4.2 Methode

4.2.1 Simulation des Putzvorgangs

Um die Versuchsanordnung auf ihre mechanische Stabilität hin zu testen, wurden einige Vorversuche durchgeführt und erste histologische Präparate hergestellt. Dabei wurden die Qualität und die Aussagekraft dieser Präparate überprüft.

Die eigentliche Pilotstudie erfolgte im Anschluss.

Die Zahnbürsten wurden jeweils Gruppenweise **AK; AV₃; AV₆ BK; BV₃; BV₆** (Kap. 4.1.2) in die Bürstenmaschine eingespannt. Die Spannvorrichtung mit dem Gingivapräparat wurde in die Putzmaschine eingebracht.

Das Gingivapräparat wurde mit Aqua dest. aus einer Sprühflasche feucht gehalten, um einem vorzeitigen Austrocknen und somit verfälschten Beschädigungen zuvorzukommen. Auf den Einsatz von Zahnpasta wurde bewusst verzichtet, da die darin beinhaltenen Schleifkörper verfälschte Daten hervorrufen konnten.

Anschließend wurde die Gingivaprobe mit der jeweiligen Zahnbürstengruppe und einem Anpressdruck von 250g und 120 Sekunden geputzt.

Untersuchungen von Heath und Wilson ergaben 1974, dass durchschnittlich 4,5 Bürstenstriche pro Sekunde beim Putzen durchgeführt werden. Da für diese Putzstudie nur die Bürstenstriche auf der Gingiva eminent waren, und nicht die auf der Zahnhartsubstanz, wurde die Putzfrequenz auf 2 Striche pro Sekunde reduziert. Bei einer Putzdauer von 120 Sekunden waren es somit 240 Striche. Die Maschine wurde auf diesen Wert exakt eingestellt.

4.2.2 Aufbereitung der Proben

Nach dem Putzvorgang wurden die Gingivaproben der Spannvorrichtung entnommen und zügig weiterverarbeitet, um autolytische Schädigungen zu vermeiden.

Zur Gewebe-Aufarbeitung wurde die Gingiva mittels eines Raspatoriums vorsichtig vom Knochen abgehoben und in jeweils drei bis vier 5x5 mm groß definierte Stücke

zugeschnitten, anschließend in beschriftete Einbettkassetten in 4%iges Formalin fixiert und in Paraffin eingebettet. Die Proben entsprachen den geputzten Arealen. Es erforderte eine vorsichtige Handhabung, um das spätere mikroskopische Bild nicht durch zusätzliche Beschädigungen zu verfälschen. Die eventuellen Verletzungen durften nur von den Putzbewegungen der Bürste hervorgerufen worden sein und nicht etwa durch unvorsichtige Manipulation an den Präparaten.

Insgesamt wurden nach dieser Methode mit 36 Zahnbürsten und 36 Schweinekieferhälften, von denen die Gingiva in 3 gleichgroße Stücke portioniert wurde, 108 Fragmentstücke gewonnen.

Um die Proben beim späteren Einbettvorgang in der richtigen Schnittlage zu fixieren, wurde die Schnittfläche mit einem blauen Farbstift markiert. Zuvor wurden Schritte der Entwässerung durchgeführt. Mit Hilfe von Leitungswasser wurde das Fixierungsmittel ausgewaschen. Die eigentliche Entwässerung begann mit einer in der Konzentration aufsteigenden Alkoholreihe und einer abschließenden Inkubation in einem Intermediärmedium, in diesem Fall Xylol. Das Einbringen der Gewebe in Paraffin erfolgte an der Paraffinausgießstation der Firma Leica EG 11400. Im Anhang erfolgt eine Übersicht der Formalin-Fixierung (Anhang 9.2)

Anschließend wurden die Gewebefragmente in heißem Paraffin (70° C) eingebettet und sofort herunter gekühlt. Die Anfertigung der Schnitte erfolgte mittels eines Mikrotoms. In diesem Fall handelte es sich um das Rotationsmikrotom der Firma Reichert-Jung 2035 vom Typ Biocut (Abb. 4.11).

Das Mikrotom arbeitet nach dem Prinzip eines Feinhobels. Der Vorschub erfolgt in allen Mikrotomen meist mechanisch. Für die Anfertigung von Schnitten für die Lichtmikroskopie genügen Stahlmesser. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden unterschieden:

- Ultradünnschnitte (Schnittdicke 0,03-0,1 µm)
- Semidünnschnitte (0,5-2 µm)
- lichtmikroskopisch verwendbare Schnitte (5-20 µm)

(Junqueira und Carneiro 2004)



Abb. 4.11: Mikrotom (Fa. Reichert)

Die auf -20°C heruntergekühlten Blöcke wurden in $0,3\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schnitte geschnitten. Pro Block, bzw. Fragmentstück wurden 5 Schnitte entnommen. Bei 36 Zahnbürsten und damit 36 Schweinekieferhälften ergaben sich aus 108 Fragmentstücken 540 Schnitte.

Die erhaltenen Schnitte wurden zuerst auf einem Kaltwasserbad aufgefangen und anschließend auf einem Heißwasserbad (ca. 45°C) gestreckt, um möglichst glatt auf einem Objektträger aufgezogen werden zu können. Die aufgezogenen Schnitte wurden in einem Trockenschrank (Firma Memmert) bei 56°C getrocknet und konnten danach für die weitere histologische Verwendung benutzt werden.

Um die Architektur und die pathologischen Veränderungen des Gewebes beurteilen zu können, wurde in dieser Studie die Hämatoxylin-Eosin-Färbung angewandt. Die HE-Färbung stellt die typische Routinefärbung dar. Hämatoxylin färbt Zellkerne und Zytoplasmatanteile, die reich an rauem endoplasmatischen Retikulum sind, blau-violett. Eosin färbt andere Zytoplasmaanteile, sowie viele faserige extrazelluläre Komponenten rot (Sobotta und Welsch 2006).

Die Färbung dauert je nach verwendeten Protokollen zwischen fünf und 45 Minuten. Im Anhang kann das HE-Färbeprotokoll eingesehen werden (Anhang 9.3).

Die fertigen Präparate müssen für die lichtmikroskopische Untersuchung trocknen. Aber auch während des Trocknungsvorganges ist es möglich, die fertig gefärbten Schnitte mithilfe eines Mikroskops anzuschauen. Dies ist sinnvoll, da man während dieser Phase eine erneute Färbung desselben Präparats vornehmen kann, um Strukturen besser darstellen zu können.

4.2.3 Lichtmikroskopische Untersuchung

Die histologische Auswertung erfolgte lichtmikroskopisch mit dem Axioskop 2 Mikroskop der Firma Zeiss (Abb. 4.12). Mithilfe des Programms AxioVision 4.6 konnten die mikroskopierten Präparate digital fotografiert und morphometrisch ausgewertet werden.



Abb. 4.12: Mikroskop (Fa. Zeiss)

Insgesamt entstanden knapp 600 Schnitte, welche nach Bedarf gefärbt wurden. Pro Zahnbürste (bzw. pro Schweinekieferhälfte) gab es jeweils drei Paraffinblöcke, mit jeweils mindestens 5 Schnitten.

Von den 5 Schnitten wurde jeweils jeder dritte histologisch untersucht. Die Schnitte entstammen von Anfang, Mitte und Ende eines Fragmentstücks. Insgesamt kam man somit auf 9 histologisch ausgewertete Schnitte pro Schweinegaumen, bzw. pro Zahnbürste. Diese 9 Messungen können als Messwiederholungen betrachtet werden. 324 histologische Schnitte dienten letztendlich der gesamten Untersuchung (Abb. 4.13).

Es musste pro verwendeter Zahnbürste mindestens ein Schnitt eines Blocks ausgewertet worden sein. Um die Aussagekraft zu erhöhen, wurden jeweils 3 Schnitte pro Zahnbürste angefärbt und ausgewertet.

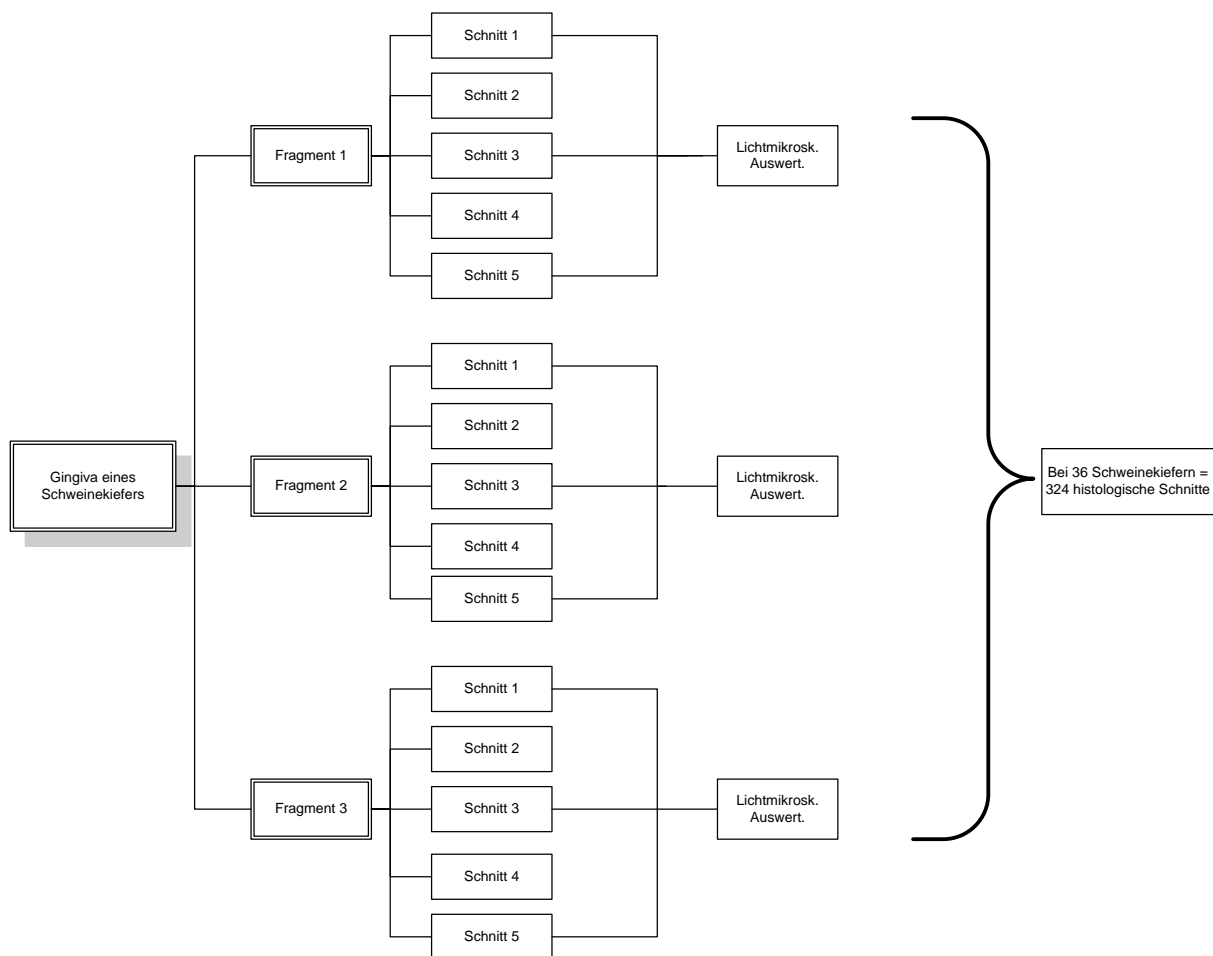
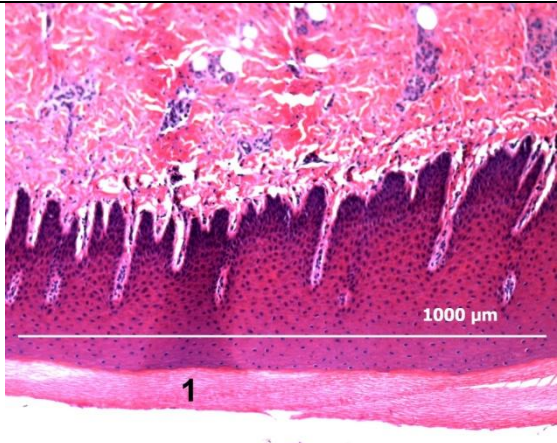
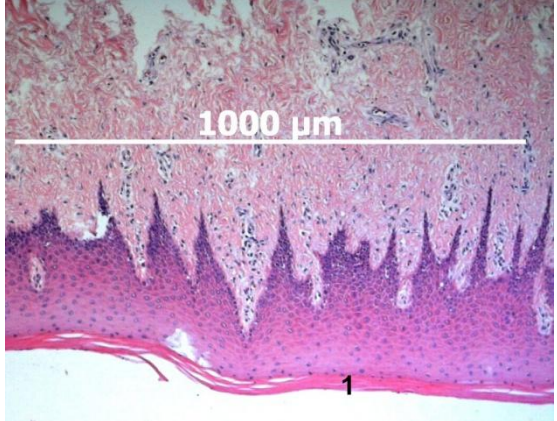
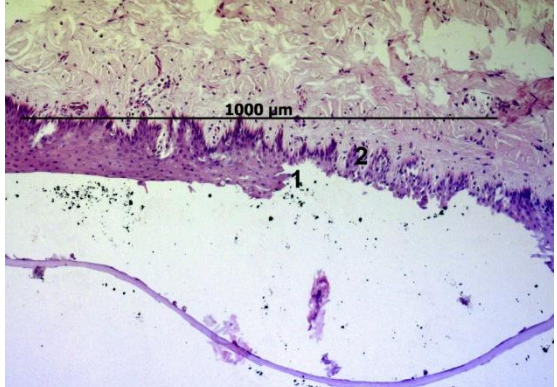
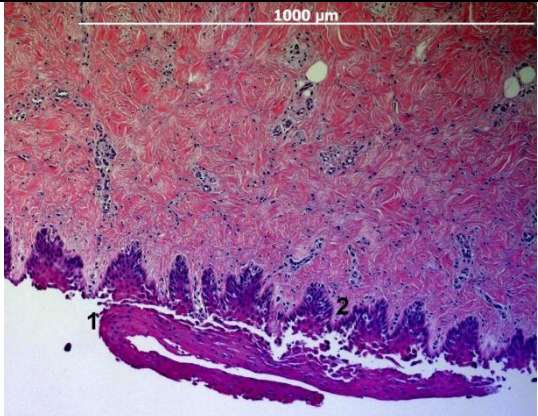
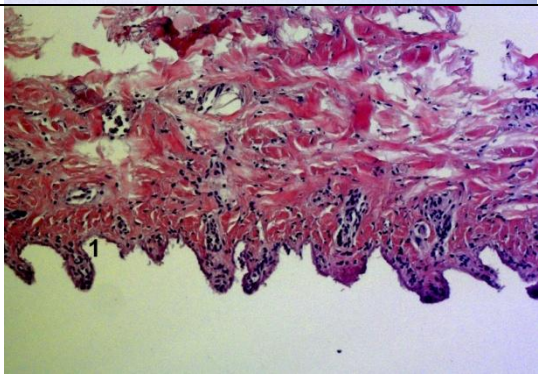
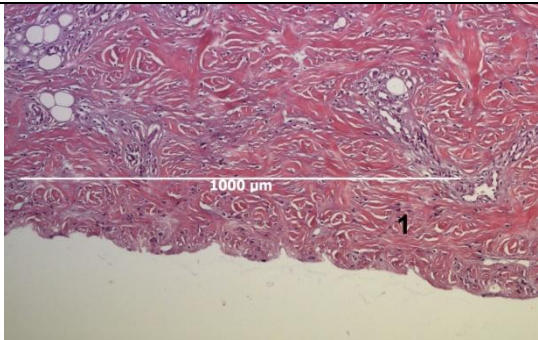


Abb. 4.13: Schematischer Arbeitsablauf der Studie

4.2.4 Definition der mikroskopischen Bewertungskriterien

Die Auswertung der Bilder erfolgte mittels einer selbstgestalteten Bewertungsskala mit einem Score von 0 bis 5. Jeder Wert entsprach einem definierten Verletzungsgrad.

Grad 0		Unbeschädigtes Gingiva-epithel. Das Stratum corneum (1) ist völlig intakt.
Grad 1		Initiale Schädigung der obersten Epithelschicht: Das Stratum corneum (1) löst sich ab bzw. zeigt „Einrisse“.
Grad 2		Oberste Epithelschicht abgelöst. Beginnende Schädigung des Stratum spinosum (1). Intaktes Stratum basale (2).

Grad 3		<p>Fast komplettes Fehlen des Stratum spinosum (1). Stratum basale (2) weiterhin intakt.</p>
Grad 4		<p>Stratum spinosum fehlt völlig. Stratum basale (1) noch intakt.</p>
Grad 5		<p>Epithelschicht nicht mehr vorhanden. Freiliegendes Bindegewebe (1). Stratum basale ist komplett zerstört.</p>

4.3 Statistische Auswertung

In der Studie wurden jeweils 3 Fragmente pro untersuchtem Schweinegaumen verwendet. Pro Fragment wurden je 5 histologische Schnitte erstellt. Von diesen Schnitten wurden drei Lichtmikroskopisch ausgewertet. Es ergaben sich somit pro Schweinegaumen neun Messungen die als Messwiederholungen zu betrachten sind. Alle Aufnahmen wurden verblindet dreimalig bewertet. Als Datengrundlage für die Statistik wurde nur der letzte Bewertungsdurchgang herangezogen, um einen Lerneffekt des Readers auszuschließen, da nur ein Reader bei der Auswertung teilnahm.

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit Frau Katharina Lange, aus der Abteilung für medizinische Statistik der Universität Göttingen.

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Schädigungsgrade der Gingiva durch das simulierte Putzen mit den Handzahnbürsten der verschiedenen Härtegrade (weich/mittel) und den unterschiedlichen Verschleißtypen (neu, 3 Mon. und 6 Mon. alte Bürsten) dargestellt.

5.1 Schädigungsgrade der Zahnbürsten mittlerer Härte vs. Benutzungsperiode

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Schädigungsgrade der Zahnbürsten mit mittlerer Härte in Abhängigkeit zu der Dauer ihrer vorherigen Benutzungsperiode dargestellt. Abbildung 5.1 stellt die gemessenen Schädigungsgrade nach der für diesen Versuch selbstentwickelten Skala dar (siehe Kapitel 4.2.4).

0 = keine Schädigung der Gingiva / Stratum corneum / Disjunctum völlig intakt

1 = Schädigung der oberen Epithelschicht (Stratum disjunctum) löst sich ab, bzw. zeigt Einrisse

2 = Einrisse bis ins das Stratum spinosum

3 = Mittlere Epithelschicht zerstört / Stratum basale noch vorhanden

4 = Einrisse bis ins Stratum basale nur noch Reste des Epithels zu erkennen

5 = Kompletter Verlust der Epithelschicht / freiliegendes Fettgewebe (Lamina propria mucosa)

Es sind jeweils die medianen Werte der Versuchsreihen sowie die Perzentilen (25% und 75%) dargestellt.

Es zeigte sich, dass die neuen Zahnbürsten mit mittlerer Härte einen medianen Schädigungsgrad von 5 haben. Der Mittelwert betrug 4,67 (+/- 0,95 Standardabweichung). Die Zahnbürsten, welche eine 3 monatige simulierte Benutzung durchlaufen hatten, haben einen Schädigungsgrad von Median 3. Hier

betrug der mittlere Schädigungsgrad 2,99 (+/- 1,62 Standardabweichung). Die 6 Monate alten Zahnbürsten wiesen einen medianen Schädigungsgrad von 5 auf. Bei dieser Gruppe betrug der mittlere Schädigungsgrad 4,23 (+/- 1,29 Standardabweichung) auf.

Die Messergebnisse zeigen auf, dass sowohl die neuwertigen Zahnbürsten als auch die Zahnbürsten mit einer simulierten Gebrauchsperiode von 6 Monaten eine deutlich stärkere Schädigung des Gingivagewebes (medianer Schädigungsgrad = 5), hervorriefen, als die 3 Monate alten Zahnbürsten. Hier war ein medianer Schädigungsgrad von 3 gemessen worden.

Der mediane Schädigungsgrad der neuen und der 6 Monate alten Zahnbürsten war identisch (Score = 5), wobei allerdings die Streuung bei den 6 monatigen Bürsten größer war.

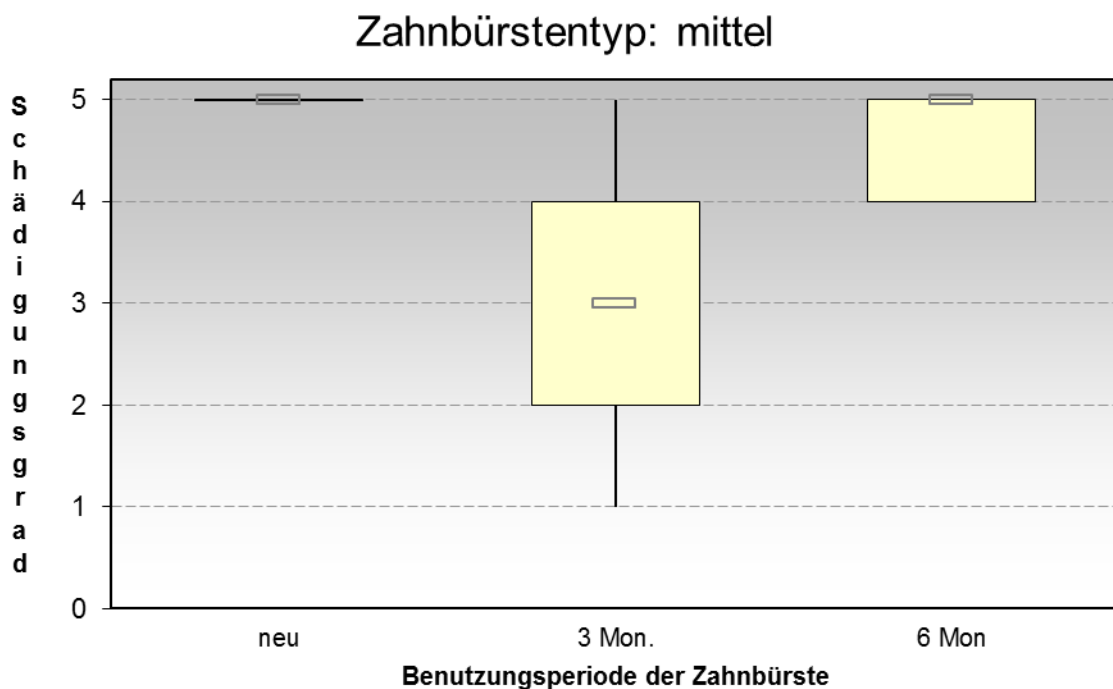


Abb. 5.1: Schädigungsgrad der Zahnbürsten mittlerer Härte (neu, nach drei Monaten und nach sechs Monaten simulierten Gebrauchs).

5.2 Schädigungsgrade der Zahnbürsten weicher Härte vs. Benutzungsperiode

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Versuchsreihen mit den Zahnbürsten weicher Härte in Abhängigkeit zu der Dauer ihrer vorherigen Benutzungsperiode dargestellt. Abbildung 5.2 stellt die Schädigungsgrade, sowie die medianen Werte der Versuchsreihen und ihren Perzentilen dar (siehe auch 5.1).

Die neuen Zahnbürsten mit weicher Härte wiesen einen mittleren Schädigungsgrad von 4,14 ($\pm 1,38$ Standardabweichung) und einen medianen Score von 5 auf. Die 3 Monate alten Zahnbürsten hatten einen mittleren Schädigungsgrad von 3,3 ($\pm 1,83$ Standardabweichung), der mediane Wert betrug 4,5. Die Zahnbürsten, welche eine 6 monatige simulierte Benutzung durchlaufen hatten, haben einen mittleren Schädigungsgrad 4,0 ($\pm 1,0$ Standardabweichung), bei dieser Gruppe betrug der mediane Score 5.

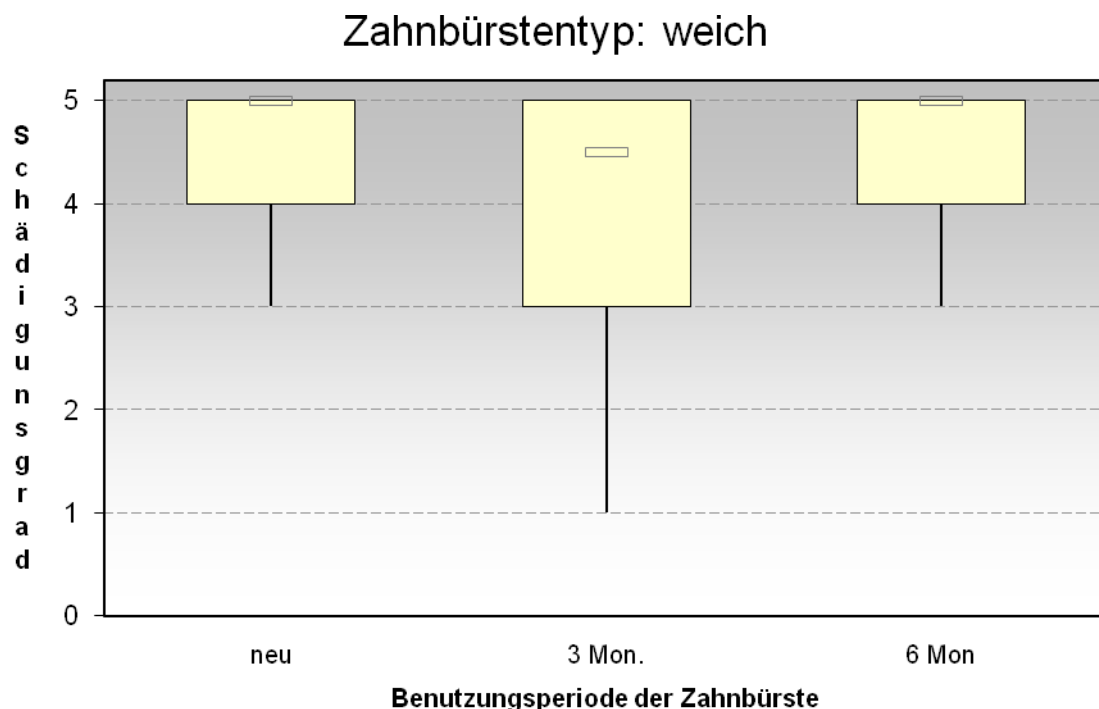


Abb. 5.2: Schädigungsgrad der Zahnbürsten weicher Härte (neu, nach drei Monaten und nach sechs Monaten simulierten Gebrauchs).

Auch bei dieser Versuchsreihe war der mediane Schädigungsgrad der neuen und der 6 Monate alten Zahnbürsten identisch (Score = 5). Die Streuung der Ergebnisse ist ebenfalls identisch. Bei den 3 Monate alten Zahnbürsten ergab sich nur ein gering niedriger medianer Wert (Score = 4.5).

5.3 Vergleich der weichen mit den mittelharten Zahnbürsten

Ähnlich wie in der Versuchsreihe mit den mittelharten Zahnbürsten zeigt sich bei den Ergebnissen der weichen Zahnbürsten, dass die neuen und auch die 6 Monate alten Zahnbürsten mit einem medianen Score von 5 das höchste Schädigungspotential haben. Auch zeigt sich, dass die Zahnbürsten mit einer simulierten Benutzung von 3 Monaten mit dem medianen Schädigungsgrad von 4,5 einen geringeren Score haben.

In Abbildung 5.3 wird der relative Effekt der Messungen aufgezeigt. Hierbei wird dargestellt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass weitere Messungen in der jeweiligen Gruppe (Zahnbürstentyp neu, 3 Monate, 6 Monate alte Bürsten) einen größeren Messwert als im Mittel über alle Gruppen haben.

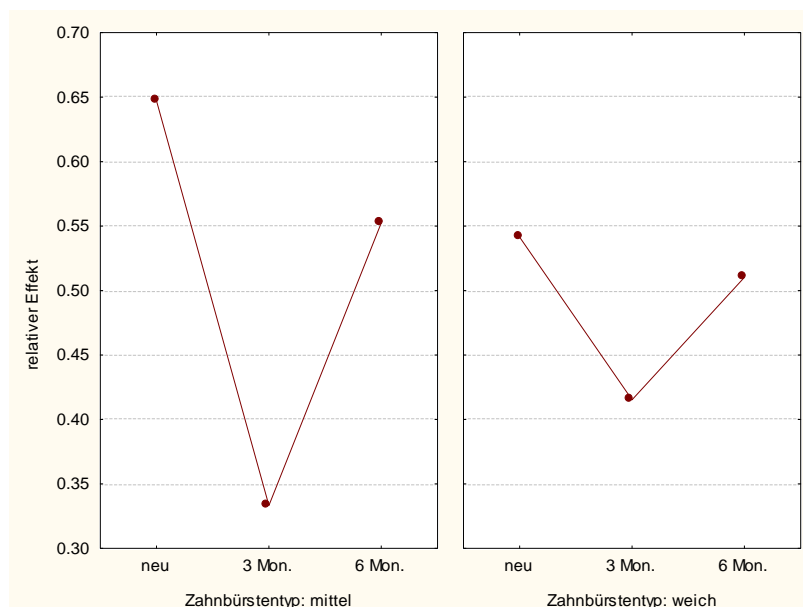


Abb. 5.3: Relativer Effekt der Zahnbürsten neu ,3 sowie 6 Monate für „mittel“ und „weich“

Die relative Auswertung lässt erkennen, dass der Bewertungsscore nach 3 Monaten, sowohl bei den mittleren, als auch bei den weichen Zahnbürsten den niedrigsten Wert aufweist.

Die Messergebnisse zeigten, dass die Verwendung eines anderen Zahnbürstentyps (weich/mittel) keinen signifikant (0,6116 p-Wert) unterschiedlichen Schädigungsgrad ergaben (Tabellen 5.1, 5.2). Auch im Vergleich der Messwerte zwischen den unterschiedlichen Zahnbürstentypen im Verhältnis zu ihrer Abnutzung, ergaben sich keine statistisch relevanten Unterschiede (0,2098 p-Wert). Allerdings hatte die Benutzungsperiode (Verschleiß) einen deutlichen Einfluss (0,0009 p-Wert) auf den Schädigungsgrad.

Faktor	p-Wert	Interpretation
Zahnbürstentyp	0,6116	Nicht signifikant
Verschleiß	0,0009	Signifikant
Zahnbürstentyp*Verschleiß	0,2098	Nicht signifikant

Tab. 5.1: Signifikanten der Versuchsergebnisse (Zahnbürstentyp, Verschleiß)

Vergleich	p-Wert	p-Wert adjustiert	Interpretation
Neu vs. 3 Monate	0,0003	0,0005	Signifikant
Neu vs. 6 Monate	0,2016	0,3434	Nicht signifikant

Tab. 5.2: Signifikanz der Zahnbürsten neu vs. 3 Monate und neu vs. 6 Monate

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied der Schädigungsgrade der 6 Monate alten Zahnbürsten (p-Wert = 0,3434) im Vergleich zu den neuen. Der Schädigungsgrad der neuen Zahnbürsten im Vergleich zu den 3 Monate alten war hingegen signifikant (p-Wert = 0,0005).

Diese Zahlen liefern keinen Hinweis darauf, dass der Zahnbürstentyp Einfluss auf den Schädigungsgrad der Gingiva hat. Es zeigt sich allerdings, dass das Alter der Zahnbürsten einen signifikanten Einfluss auf die Schädigung hat.

Die Dauer der vorherigen Benutzung der Zahnbürsten zeigte auf, dass sich bei 3 Monate alte Bürsten eine wesentlich geringere Schädigung ergibt, als bei neuen oder

6 Monate alten. Die neuen und 6 Monate alten Zahnbürsten zeigen keinen signifikanten Unterschied in der Schädigung. Die 3 Monate alten Zahnbürsten verursachen die geringste Beschädigung der Gingiva. Bemerkenswert dabei ist, dass die 3 Monate alten harten Zahnbürsten einen geringen Schädigungsgrad aufweisen, als die gleichalten weichen Zahnbürsten.

6 Diskussion

Die Hauptaufgabe einer Zahnbürste, das Reinigen der Zahnoberflächen und des angrenzenden Parodonts bzw. der Gingiva von Plaque, lässt sich nur durch physikalischen Kontakt der Borsten mit dem Zahn und der Gingiva erreichen. Jedoch verursacht jeder Kontakt, jede Bewegung an der Kontaktstelle Reibung und somit auch je nach Kraft temporäre oder permanente Beschädigungen des Areals. Schon Bass konnte 1948 in seiner Studie nachweisen, dass durch die Benutzung einer Zahnbürste im Sputum freie Zellen zu finden sind.

Die Hersteller der Zahnbürsten sind sich dieses Dilemmas bewusst und versuchen daher, durch verschiedene Veränderungen des Designs und der Materialien der Zahnbürsten, die Benutzung und Handhabung zu verbessern. So konnte Storsberg 1955 nachweisen, dass abgerundete Nylonborsten weniger freie Zellen im Sputum verursachten, als abgeschnittene.

Auch die Empfehlung, alle drei Monate die Zahnbürste zu wechseln, fußt auf dem Wissen, dass ein längerer Gebrauch nicht nur die Plaqueentfernung verschlechtert, sondern auch die Schädigungen an Zahnhartsubstanz und Parodont zunehmen.

Selbst die DIN hat sich dieses Problems angenommen und daher nicht ohne Grund in der DIN 13917 von 1988 die unterschiedlichen Härtegrade (weich, mittel und hart) aufgenommen. Auch, um dem Endverbraucher einen Anhaltspunkt zu geben, bewusst eine weniger abrasive und somit weniger gefährliche Zahnbürste zu kaufen.

In dieser Studie sollte daher ermittelt werden, ob und wie stark sich das histologische Erscheinungsbild der Gingiva in Abhängigkeit zur vorherigen Benutzungszeit und zum Härtegrad der verwendeten Zahnbürste unterscheidet.

6.1 Diskussion von Material und Methode

6.1.1 Diskussion der Materialien

Bei dieser Versuchsreihe stellt sich zwangsläufig die Frage, ob die Ergebnisse nicht aussagekräftiger gewesen wären, wenn man statt Schweinegingiva Probanden für die Versuchsdurchführung herangezogen hätte. Bei solch einer In-vivo-Studie muss aber gewährleistet sein, dass alle Probanden mit dem gleichen Anpressdruck putzen und allesamt die gleiche vorgeschriebene Putztechnik einhalten. Wichtig hierbei ist auch eine immer gleichbleibende Motivation des Probanden. Schon in früheren Versuchen wurde dem Problem entgegen gewirkt, indem Zahnbürsten mit Sensoren verbunden wurden, welche die Kraft anzeigten (Fraleigh et al. 1967).

Um diese Fehlerquellen zu vermeiden, wurde in dieser Studie mittels einer mechanischen Zahnputzmaschine geputzt, um dadurch die verschiedenen Variablen (Putzdauer, Anpressdruck und gleiche Putzbewegungen) standardisieren zu können.

Die Zahnputzmaschine wurde auf eine geradlinige Putzbewegung eingestellt. Bei dieser Bewegung kann man mit Sicherheit sagen, dass der gewünschte Anpressdruck von 250g auf einem kleinen definierten Areal ausgeübt wird. Die rüttelnde Bewegung als Alternative wäre zu ungenau gewesen, da es zu schwierig gewesen wäre, das exakte Areal einzugrenzen, auf dem sich die Bürste 120 Sekunden lang befand. Die Putzzeit (4,5 Bürststriche pro Sekunde) wurde der Literatur entnommen (Heath und Wilson 1974). Für diese Studie wurden jedoch 2 Striche pro Sekunde verwendet, da im Unterschied zu der Aussage von Heath und Wilson (1974), nur die Gingiva und kein Zahn mit der Bürste in Kontakt stand.

Da mittels histologischer Schnitte der Gingiva die Schädigungsgrade ermittelt werden sollten, verboten sich menschliche Probanden von alleine. Es wurde daher bei der Durchführung dieser Arbeit bewusst die Gingiva des Schweins gewählt, da diese im histologischen Aufbau, der Schleimhaut des Menschen ähnelt (Kapitel 2.2). Die frischen Schweinekieferhälften, welche die Quelle der Gingivaproben waren, wurden direkt nach der Schlachtung eigenhändig von Schlachthof Sebert (Göttingen) vom Untersucher bezogen. Um dem raschen Zersetzungsprozess der Zellen entgegen zu wirken, wurden sie sofort zu den Testzwecken verarbeitet.

Die Zahnbürsten der Marke Dr. Best Plus (Glaxo Smith Kline, Bühl, Deutschland) wurden in den Härtestufen weich und mittel gewählt, um einen Vergleich der unterschiedlichen Härten, nicht aber der unterschiedlichen Herstellungsmethode oder Qualitätsunterschiede von verschiedenen Produzenten/Marken zu erzielen. Diese Zahnbürstenmarke erwies sich für diese Versuchsreihe als günstig, da sie über ein planes Borstenfeld verfügt. Zusätzliche Funktionen der Bürste, wie spezielle Interdentalraumpflege durch überlange Borsten, hätten kein eindeutiges Ergebnis aufgewiesen.

6.1.2 Diskussion der Methode

Die Schädigungsgrade der Gingiva wurden nach der eigens für diesen Versuch entwickelten Skala ermittelt (Kapitel 4.2.4). Die Skala von 0 (keine Schädigung) bis 5 (starke Schädigung) richtete sich nach dem histologischen Aufbau der Gingiva und zeigte den zunehmenden Tiefenverlust der Gingiva auf. Da der Tiefenaufbau der verwendenden Gingiva auch über verschiedene Schweinekieferhälften im Versuch identisch war, konnte somit ein vergleichbarer Wert der Schädigung ermittelt werden.

Um einen Lerneffekt bei der Beurteilung der Schädigungsgrade zu minimieren, wurden die gewonnenen histologischen Schnitte dreimalig verblindet ausgewertet. Für die statistische Analyse wurde nur der letzte Durchgang verwendet. Da die Bilder nur von einem Reader ausgewertet wurden, hängen die Studienergebnisse zwangsläufig von der Qualität des auswertenden Readers ab. Mehrere Reader würden ein objektiveres Ergebnis erzielen. Die Verwendung von mehreren Readern hätte aber als Konsequenz auch eine Kalibrierung selbiger zur Folge gehabt. Dies erschien als sehr schwierig, da die auszuwertenden histologischen Bilder aufgrund von Schwankungen der Qualität (histologische Färbung der Schnitte, Artefakte etc.) und nicht zuletzt die Deutung der Schädigungsgrade einen zu großen Freiraum in der Interpretation erlaubt hätten. Statt einer gewünschten Objektivierung der Daten hätte dies durch die subjektive Wahrnehmung weiterer Reader eine größere Streuung der

Messdaten zur Folge gehabt. In dieser Studie gibt es demnach ein rein subjektives Resultat, welches allerdings hierdurch in sich kongruent ist.

Da es sich um Lebendmaterial handelte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die gemessenen mikroskopischen Verletzungen ausschließlich von den jeweiligen Zahnbürsten stammen. Im alltäglichen Schlachtbetrieb wird nicht auf den sorgfältigen Umgang mit der Schleimhaut des Tieres geachtet. Es konnten sich daher auch, durch die fließbandartige Schlachtung, vorab Verletzungen an der Gaumenschleimhaut gebildet haben. Selbst Nahrung, die das Tier kurz vor der Schlachtung zu sich genommen hatte, kann diverse Mikroverletzungen verursacht haben. Eine weitere Quelle für Vorschädigung kann sich bei der Zuschneidung der Schweinekieferhälften und bei der Fixierung in der Spannvorrichtung ergeben haben. Letztendlich spielt auch die Zeit eine große Rolle. Das histologische Bild kann nach einer fortschreitenden Autolyse Veränderungen aufweisen. Die Standardisierung des Untersuchungsgutes war somit schwierig zu gewährleisten. Um diese Fehlerquellen möglichst gering zu halten, wurden für die Studie mehrere Versuchsreihen durchgeführt bzw. um der Autolyse entgegen zu wirken, eine sehr zeitnahe Verarbeitung der Proben eingehalten.

6.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Verschieden ausgeprägte Ergebnisse sind bei der Gegenüberstellung der Zahnbürstentypen zu erkennen. Bei Betrachtung des Median wiesen die Zahnbürsten, welche einem künstlichen Verschleiß von 3 Monaten ausgesetzt waren, den niedrigsten Wert auf. Die neuen als auch die 6 Monate alten Zahnbürsten hatten einen signifikant größeren Schädigungsgrad als die 3 Monate alten.

Neuwertige Bürsten wiesen die höchsten Verletzungsgrade auf. Dies könnte als Ursache die starren noch ungebogenen Filamente haben. Scheinbar haben die einzelnen Filamente nach einem Gebrauch von 3 Monaten das geringste Verletzungspotential, da sie zum Teil leicht verbogen zu sein scheinen. Bei den 6 Monate alten Bürsten verstärkte sich das Verletzungsrisiko wieder. Ob dies mit einer

Splissbildung der Filamente oder anderen mechanischen Veränderungen in Zusammenhang zu bringen ist, wäre noch zu klären.

Anhand rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen wäre es sinnvoll, die Bürsten miteinander zu vergleichen. Ein plastisches Bild der Bürstenoberfläche wäre nur so gegeben. Strukturveränderungen der Filamente könnten so besser beurteilt und bewertet werden.

Allgemein wird empfohlen, dem Austausch von Zahnbürsten alle drei bis sechs Monate Folge zu leisten. Hinsichtlich der Bakterienbesiedlung einer Zahnbürste wäre dies denkbar sinnvoll. Hinsichtlich der Verletzungskraft wäre dies in Bezug auf die Ergebnisse dieser Studie zu bekräftigen, da die Zahnbürsten nach sechsmonatigem Gebrauch wieder erhöhte Verletzungen am Zahnfleisch aufwiesen. Da das Verletzungsrisiko bei 3 monatigen Gebrauch am geringsten ist und eine zu früh getauschte neue Zahnbüste wieder einen höheren Schädigungsgrad an der Gingiva verursacht, wäre diesbezüglich ein Wechsel nach vier bzw. fünf Monaten zu empfehlen. REM-Bilder in der Studie von van Nüss (2007) wiesen nach einer 3 bzw. 6monatigen Benutzung durch Probanden ein ähnliches Bild bei den unterschiedlichen Abnutzungserscheinungen (Splissbildung) auf.

In der Literatur findet man etliche In-Vivo-Studien, die untersucht haben, ob die Art und Handhabung einer Zahnbürste Schädigungen an Zahn und Zahnfleisch verursachen kann (Lange 1977, Breitenmoser et al. 1978). In den Studien waren die Zahnbürsten stets neuwertigen Ursprungs und wurden meist in einem sehr kurzen Zeitraum von Probanden verwendet. Obwohl man die hier vorgestellte In-Vitro-Studie nicht direkt mit den durchgeführten In-Vivo-Studien vergleichen kann, so zeigte sich, dass die Dauer des Putzens und die Härte der Zahnbürste wichtige Faktoren bei der Schädigung der Zahnhartsubstanz sind (Anneroth und Poppelmann 1975). Es ist anzunehmen, dass eine verstärkte Schädigung der Zahnbürstenborsten eine proportional ähnliche Schädigung der Gingiva verursacht. Einen direkten Bezug von Alter der Zahnbürste und der Schädigung der Gingiva bei Benutzung, wurde in dieser Arbeit zum ersten Mal untersucht.

Interessant in den Ergebnissen ist, dass offensichtlich kein Zusammenhang zwischen den Härtegraden und den Verletzungen besteht. So zeigten die unterschiedlichen Zahnbürsten, trotz verschiedener Härte, einen sehr ähnlichen Score bezogen auf ihre

Altersklasse. Da für diese Untersuchung nur ein Hersteller ausgewählt wurde, ist noch zu ermitteln, ob bei anderen Herstellern diese Symmetrie ebenfalls vorhanden ist.

Da die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit durchgehend auf einem Anpressdruck von 250g beruhen, wäre eine Verallgemeinerung auf die gesamte Bevölkerung falsch. So variiert vermutlich die ausgeübte Putzkraft und Zeit von Person zu Person. Bei unterschiedlichen Anpressdrücken, müsste das Ergebnis anders ausfallen. Ein erhöhter Druck macht einen Wechsel der Bürste noch vor dem dreimonatigen Verschleiß nötig. Auch bleibt fraglich, ob eine langsamere Putzgeschwindigkeit mehr oder weniger Verletzungen aufweisen würde. Wenn man bedenkt, dass 250g Anpressdruck wirken, ist anzunehmen, dass eine langsamere Geschwindigkeit mehr Verletzungen bringen könnte, da die ausgeübte Kraft für einen längeren Zeitraum auf einen Punkt ausgeübt werden würde.

Betrachtet man die Auswertung aller 328 Bilder, so sind einige stark variierende Werte enthalten (Anhang 9.4). Bei diesen Ausreißern handelt es sich vermutlich um Proben, die schon während der Herstellung (Schlachtung bzw. der Weiterverarbeitung zu den Proben) geschädigt wurden. Des Weiteren kann auch bei den simulierten Putzbewegungen nicht ausgeschlossen werden, dass es durch nicht 100-prozentige Ausrichtung der Proben zu den Zahnbürsten zu schräg axialen und somit zu punktuellen Mehrbelastungen gekommen sein könnte. Leichte Abweichungen könnten schon zu Ungleichgewichten und somit stärkeren Schädigungsgraden führen.

Ein Grund für den gehäuft vorkommenden Schädigungsgrad 5 könnte die Putzweise der Bürsten über die Gingiva sein. Da nicht, wie bei der allgemein empfohlenen Bass-Technik, in einem Winkel von genau 45°, sondern mit 90° Anlegefläche auf die Gingiva geputzt wurde, war die einwirkende Kraft auf das Areal größer.

7 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, zu klären, ob Handzahnbürsten mit verschiedenen Härtegraden und unterschiedlichen Abnutzungsgraden Verletzungen am Zahnfleisch verursachen und welche Verletzungsgrade vorherrschen. Diese Frage sollte mit Hilfe einer In-Vitro-Studie an Schweinegaumen eruiert werden.

Für den Versuch wurden 36 Handzahnbürsten eines Herstellers mit den zwei Härtegraden „weich“ und „mittel“ verwendet. Die Zahnbürsten wurden in drei Untergruppen einer simulierten Abnutzung von 3 bzw. 6 Monaten unterzogen. Eine Untergruppe blieb als Referenz neuwertig. Nach dieser Vorbereitung wurden die 36 Zahnbürsten in eine Zahnputzmaschine eingespannt und über Schweinegingiva automatisch für einen 120s langen Putzzyklus mit 250g geführt. Die beprobte Schweinegingiva wurde anschließend histologisch aufbereitet. Die so gewonnenen 328 Gingivaschnitte wurden danach lichtmikroskopisch untersucht. Anhand einer sechsstufigen Skala wurden die entstandenen Verletzungsgrade bestimmt.

Die lichtmikroskopische Untersuchung ergab, dass das Epithel weitgehend oberflächlich abgetragen war, so dass das Bindegewebe frei lag. Die Ergebnisse zeigten, dass es eine signifikant geringere Schädigung bei den Zahnbürsten mit einer 3-monatigen Abnutzung gab. Dies sowohl bei den „weichen“ als auch den „mittleren“ Zahnbürsten. Es gab keinen bedeutsamen Unterschied der Schädigung bei den neuwertigen und 6 Monate alten Zahnbürsten. Die Schädigungsgrade bei den weichen zu mittleren Zahnbürsten waren sehr ähnlich und nicht signifikant.

Generell war das Verletzungspotential bei allen getesteten Zahnbürsten sehr hoch. Der meist gemessene Schädigungsgrad war Stufe 5.

8 Literaturverzeichnis

American Dental Association (Council on Scientific Affairs, November 2005):
Statement on Toothbrush care: Cleaning, Storage and Replacement,

<http://www.ada.org/prof/resources/positions/statements/toothbrush.asp>

Anneroth G, Poppelmann A (1975):
Histological evaluation of gingival damage by toothbrushing
Acta Odontol Scand; 33: 119-127

Armitage GC (1999):
Development of a classification system for periodontal diseases and conditions
Ann Periodontol; 4: 1-6

Bass CC (1948):
The optimum characteristics of toothbrushes for personal oral hygiene.
Dent Items Interest; 70: 697

Braun A, Nolden R (1998):
Vestibuläre Ultraschall-Schleimhautdickenmessung bei parodontalen Rezessionen
Dtsch Zahnärztl Z; 53: 862-865

Breitenmoser J, Mörmann W, Mühlemann HR (1978):
Zahnfleischverletzung durch Zahnbürstenborsten
Schweiz Monatsschr Zahnheilkd; 88: 79-89

Chong MP, Beech DR (1983):
Characteristics of toothbrush.
Aust Dent J 28 (4), 202-211

Danser MM, Timmermann MF, Ijzerman Y, Bulthuis H, v. d. Velden U, v. d. Weijden
GA. (1998):
Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing
J Clin Periodontol; 25: 701-706

De Trey ER (1983):
Einfluss der Borstensteifheit von Zahnbürsten auf Kraftausübung,
Gingivatraumatisierung und Plaqueentfernung
Schweiz Monatsschr Zahnheilkd; 93: 153-162

Deutsche Gesellschaft für Parodontologie e.V.
<http://www.dgparo.de>

DIN 13917, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1988

DIN EN ISO 20126, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2005

Ender M
Die sonograph. Messung der Dicke der fixierten Gingiva
Med. Diss. Bonn 2003

Fraleigh CM, Mc Elhaney JH, Heiser RA (1967):
Toothbrushing Force Study
J Dent Res; 46: 209-214

Frentzen M, Pfäffle W, Nolden R (1989):
Gingivarezessionen bei jungen Erwachsenen als Folge einer intensiven Zahnpflege?
Dtsch Zahnärztl Z; 44: 373-374

Glickmann I
Clinical Periodontology
4th ed Saunders (W.B) Co Ltd Philadelphia 1972

Golding PS (1982):
The modern toothbrush, a short history of tooth cleansing.
Dent Health (London) 21 (5), 10-11, 14-15

Gorman WJ (1967):
Prevalence and etiology of gingival recession.
J Periodontol; 38: 316

Gottsegen R (1954):
Frenum position and vestibular depth in relation to gingival health
Oral Surg; 7: 1069

Hall WB (1977):
Present status of soft tissue grafting
J Periodontal; 48: 587

Heath JR, Wilson HJ (1974):
Forces and rates observed during in vivo toothbrushing
Biomed Eng ; 9 (2): 61-4

Hellwig E, Klimek J, Attin T
Einführung in die Zahnerhaltung
Urban & Fischer München Jena 2007; 413 und 442

Hirsch C, Cimasoni G, Held AJ (1967) :
Keratinisation et brossage: Etude histologique.
Parodontologie; 1: 32

Hirschfeld I (1934):
The toothbrush – its use and abuse: traumatization of the soft tissue by the
toothbrush
Dent Items Interest; 56: 159

Junqueira LCU, Carneiro J
Histologie
6. Auflage Springer Medizin Verlag Heidelberg 2004

Ketzler B
Die Rezession der Gingiva unter histor. Gesichtspunkten
Med. Diss. Rostock 1994

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

Lange DE (1977):
Über den Einfluß verschiedener Zahnbürsten-Typen auf die Gingivaoberfläche
Zahnärztl Mitt; 67: 729-736

Leimgruber C (1951):
Etwas über Zahnbürsten
Schweiz Monatsschr Zahnheilkd; 61, 590-602

Löst C, Irion KM, Nüssle W, Ketterl W (1988):
Ultraschall-B-Bilder vom fazialen und oralen Limbus alveolaris
Dtsch Zahnärztl Z; 43: 190-193

Maynard GJ, Ochsenbein C (1975):
Mucogingival problems: prevalence and therapy in children
J Periodontal; 46: 543

Mierau HD (1992):
Der freiliegende Zahnhals
Dtsch Zahnärztl Z; 47: 643-653

Mierau HD, Spindler T (1984):
Beitrag zur Ätiologie der Gingivarezessionen
Dtsch Zahnärztl Z; 39: 634-639

Müller H.P.
Parodontologie
Thieme Stuttgart-New York 2001

Niemi ML, Ainamo J, Etemadzadeh H (1988):
Gingivale Abrasion und Plaqueentfernung mit manuellen gegenüber elektrischen
Zahnbürsten
Oralprophylaxe; 10: 11-17

Parfitt GS, Mjor IA (1964):
Clinical evaluation of local gingival recession in children
J Dent Child; 31: 257

Plagmann HC, Lange DE, Müller K (1972):
Zytologische Studien über die Beeinflussung des oralen Gingivaepithels durch elektrische Zahnbürsten und Wasserstrahlgeräte
Dtsch Zahnärztl Z; 26: 593

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

Rateitschak KH, Wolf HF
Farbatlanten der Zahnmedizin 1
Parodontologie
2. Auflage Thieme Stuttgart-New York 1989, 1-4

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

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

Sauerwein E (1962):
Traktat über die Zahnbürste
Dtsch Zahnärztl Z; 17: 121-134

Schroeder HE
Orale Strukturbilogie
4. Auflage Thieme Stuttgart – New York 1992, 350-352

Schulze D, Curic B, d'Hoedt (2001):
Untersuchungen am Schweinekiefermodell zur Präzision von Schleimhautdickenmessung mittels B-Scan-Sonographie
Dtsch Zahnärztl Z; 56: 485-489

Smukler H, Dreyer CJ (1969):
Principal fibers of the periodontium
J Periodont Res; 4: 19

Smukler H, Landsberg J (1984):
The toothbrush and gingival traumatic injury
J Periodontal; 55: 713- 719

Sobotta J, Welsch U
Lehrbuch Histologie
2. Auflage Urban & Fischer, München 2006

Steinle K
Klin.-experimentelle Studie über die Auswirkungen zweier Handzahnbürsten auf die
Gingiva sowie in Bezug auf die Plaquereduktion an den Zahnoberflächen
-Diskussion verschiedener Bewertungsmethoden-
Med. Diss. München 2003

Storsberg S
Histologische Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Zahnbürsten auf das
marginale Parodontium beim Hunde.
Med. Diss. Münster 1955

Topoll HH (1985):
Putzverletzungen der marginalen Gingiva
Quintessenz; 36: 1893-1899

Trapmann M
Traumatisch bedingte Schädigungen der Gingivaoberfläche durch Zahnbürsten
-ein Vergleich von drei Zahnbürstensystemen-
Med. Diss. Bonn 2002

van Nüss, Katrin
Vergleichende klinische Studie über das Abnutzungsverhalten von 7 manuellen
Zahnbürsten unterschiedlicher Preiskategorien
Med. Diss. Göttingen 2007

van Nüss, Katrin, Regensburg: Persönliche Mitteilung 2010

9 Anhang

9.1 Verwendete Bürstenköpfe nach verschleißendem Putzvorgang



Abb. 9.1: Simulierte Abnutzungserscheinung einer mittelharten Zahnbürste von 3 Monaten bei 250g kontinuierlichem Anpressdruck



Abb. 9.2: Simulierte Abnutzungserscheinung einer mittelharten Zahnbürste von 6 Monaten bei einem kontinuierlichen Anpressdruck von 250g



Abb. 9.3: Simulierte Abnutzungserscheinung einer weichen Zahnbürste von 3 Monaten bei einem kontinuierlichen Anpressdruck von 250g.



Abb. 9.4: Simulierte Abnutzungserscheinung einer weichen Zahnbürste von 6 Monaten bei einem kontinuierlichen Anpressdruck von 250g.

9.2 Vorgang der Formalin-Fixierung von Gewebe

- mind. 24 Std. Gewebe in der fertig angesetzten Formalinlösung, bei Raumtemperatur fixieren

- 1 Stunde Spülen der Gewebe in Leitungswasser, danach aufsteigende Alkoholreihe

- 90 Min. 50% Ethanol

- 90 Min. 75% Ethanol

- 90 Min. 75% Ethanol

- 90 Min. 96% Ethanol

- 90 Min. 96% Ethanol

- 90 Min. 100% Ethanol

- 90 Min. 100% Ethanol

- 90 Min. 100% Ethanol

- 90 Min. Xylol

- 90 Min. Xylol

Paraffin 60°C

Paraffin 60°C

Danach werden die Gewebefragmente in heißem Paraffin (70°C) eingebettet.

9.3 HE-Färbeprotokoll

1. Roti Histol	10 Minuten
2. Roti Histol	10 Minuten
3. Roti Histol	10 Minuten
4. 100% EtOH	2 Minuten
5. 100% EtOH	2 Minuten
6. 96% EtOH	2 Minuten
7. 96% EtOH	2 Minuten
8. 75% EtOH	2 Minuten
9. Aqua dest.	2 Minuten
10. Hämatoxylin	2 Minuten
11. Wässern (Bläuen) der Küvette mit lauwarmen Wasser für	10 Minuten
12. Aqua dest.	2 Minuten
13. Eosin mit einem Tropfen Eisessig	30 Sekunden
14. Küvette 10-15 mal in Aqua dest. dippen	
15. 75% EtOH	30 Sekunden
16. 96% EtOH	30 Sekunden
17. 96% EtOH	30 Sekunden
18. 100% EtOH	1 Minute
19. 100% EtOH	2 Minuten
20. Roti Histol	5 Minuten
21. Roti Histol	5 Minuten
22. Roti Histol	5 Minuten
23. Deckeln der Präparate mit Roti Histokit	

9.4 Bewertung aller 328 Schnitte

LfdNr	Schlüssel	Zahnbürstentyp 1=mittel / 2=weich	Verschleiß 0=nein/1=3Mo/2=6Mo	Gruppe	Prüfkörper -Nr.	Bewertungsgrad
1	101	1	0	1	1	1
2	102	1	0	1	2	1
3	103	1	0	1	3	1
4	104	1	0	1	4	5
5	105	1	0	1	5	5
6	106	1	0	1	6	5
7	107	1	0	1	7	5
8	108	1	0	1	8	5
9	109	1	0	1	9	5
10	110	1	0	1	10	5
11	111	1	0	1	11	5
12	112	1	0	1	12	5
13	113	1	0	1	13	4
14	114	1	0	1	14	5
15	115	1	0	1	15	5
16	116	1	0	1	16	5
17	117	1	0	1	17	5
18	118	1	0	1	18	5
19	119	1	0	1	19	5
20	120	1	0	1	20	3
21	121	1	0	1	21	4
22	122	1	0	1	22	5
23	123	1	0	1	23	5
24	124	1	0	1	24	4
25	125	1	0	1	25	5
26	126	1	0	1	26	4
27	127	1	0	1	27	5
28	128	1	0	1	28	5
29	129	1	0	1	29	5
30	130	1	0	1	30	5
31	131	1	0	1	31	5
32	132	1	0	1	32	5
33	133	1	0	1	33	4
34	134	1	0	1	34	5
35	135	1	0	1	35	5
36	136	1	0	1	36	5
37	137	1	0	1	37	5
38	138	1	0	1	38	5
39	139	1	0	1	39	5
40	140	1	0	1	40	5
41	141	1	0	1	41	5
42	142	1	0	1	42	4
43	143	1	0	1	43	5
44	144	1	0	1	44	5
45	145	1	0	1	45	5
46	146	1	0	1	46	5
47	147	1	0	1	47	5

48	148	1	0	1	48	5
49	149	1	0	1	49	5
50	150	1	0	1	50	5
51	151	1	0	1	51	5
52	152	1	0	1	52	5
53	153	1	0	1	53	5
54	154	1	0	1	54	5
55	201	1	1	2	1	5
56	202	1	1	2	2	5
57	203	1	1	2	3	5
58	204	1	1	2	4	5
59	205	1	1	2	5	5
60	206	1	1	2	6	4
61	207	1	1	2	7	4
62	208	1	1	2	8	5
63	209	1	1	2	9	4
64	210	1	1	2	10	4
65	211	1	1	2	11	4
66	212	1	1	2	12	3
67	213	1	1	2	13	4
68	214	1	1	2	14	3
69	215	1	1	2	15	3
70	216	1	1	2	16	1
71	217	1	1	2	17	1
72	218	1	1	2	18	2
73	219	1	1	2	19	5
74	220	1	1	2	20	2
75	221	1	1	2	21	3
76	222	1	1	2	22	0
77	223	1	1	2	23	0
78	224	1	1	2	24	1
79	225	1	1	2	25	1
80	226	1	1	2	26	1
81	227	1	1	2	27	0
82	228	1	1	2	28	3
83	229	1	1	2	29	3
84	230	1	1	2	30	2
85	231	1	1	2	31	5
86	232	1	1	2	32	5
87	233	1	1	2	33	1
88	234	1	1	2	34	1
89	235	1	1	2	35	3
90	236	1	1	2	36	2
91	237	1	1	2	37	2
92	238	1	1	2	38	1
93	239	1	1	2	39	1
94	240	1	1	2	40	1
95	241	1	1	2	41	1
96	242	1	1	2	42	1
97	243	1	1	2	43	4
98	244	1	1	2	44	5
99	245	1	1	2	45	5
100	246	1	1	2	46	4

101	247	1	1	2	47	5
102	248	1	1	2	48	5
103	249	1	1	2	49	2
104	250	1	1	2	50	2
105	251	1	1	2	51	2
106	252	1	1	2	52	3
107	253	1	1	2	53	5
108	254	1	1	2	54	4
109	301	1	2	3	1	4
110	302	1	2	3	2	5
111	303	1	2	3	3	5
112	304	1	2	3	4	4
113	305	1	2	3	5	5
114	306	1	2	3	6	5
115	307	1	2	3	7	5
116	308	1	2	3	8	5
117	309	1	2	3	9	5
118	310	1	2	3	10	5
119	311	1	2	3	11	5
120	312	1	2	3	12	5
121	313	1	2	3	13	5
122	314	1	2	3	14	4
123	315	1	2	3	15	5
124	316	1	2	3	16	5
125	317	1	2	3	17	5
126	318	1	2	3	18	5
127	319	1	2	3	19	5
128	320	1	2	3	20	4
129	321	1	2	3	21	5
130	322	1	2	3	22	5
131	323	1	2	3	23	5
132	324	1	2	3	24	5
133	325	1	2	3	25	3
134	326	1	2	3	26	3
135	327	1	2	3	27	5
136	328	1	2	3	28	5
137	329	1	2	3	29	5
138	330	1	2	3	30	5
139	331	1	2	3	31	0
140	332	1	2	3	32	0
141	333	1	2	3	33	0
142	334	1	2	3	34	4
143	335	1	2	3	35	4
144	336	1	2	3	36	4
145	337	1	2	3	37	3
146	338	1	2	3	38	3
147	339	1	2	3	39	2
148	340	1	2	3	40	5
149	341	1	2	3	41	5
150	342	1	2	3	42	5
151	343	1	2	3	43	5
152	344	1	2	3	44	4
153	345	1	2	3	45	3

154	346	1	2	3	46	3
155	347	1	2	3	47	4
156	348	1	2	3	48	2
157	349	1	2	3	49	5
158	350	1	2	3	50	5
159	351	1	2	3	51	4
160	352	1	2	3	52	5
161	353	1	2	3	53	5
162	354	1	2	3	54	5
163	401	2	0	4	1	5
164	402	2	0	4	2	5
165	403	2	0	4	3	5
166	404	2	0	4	4	5
167	405	2	0	4	5	5
168	406	2	0	4	6	5
169	407	2	0	4	7	4
170	408	2	0	4	8	4
171	409	2	0	4	9	4
172	410	2	0	4	10	5
173	411	2	0	4	11	4
174	412	2	0	4	12	5
175	413	2	0	4	13	3
176	414	2	0	4	14	5
177	415	2	0	4	15	5
178	416	2	0	4	16	4
179	417	2	0	4	17	5
180	418	2	0	4	18	5
181	419	2	0	4	19	4
182	420	2	0	4	20	5
183	421	2	0	4	21	5
184	422	2	0	4	22	5
185	423	2	0	4	23	4
186	424	2	0	4	24	4
187	425	2	0	4	25	2
188	426	2	0	4	26	2
189	427	2	0	4	27	2
190	428	2	0	4	28	1
191	429	2	0	4	29	1
192	430	2	0	4	30	1
193	431	2	0	4	31	3
194	432	2	0	4	32	2
195	433	2	0	4	33	3
196	434	2	0	4	34	5
197	435	2	0	4	35	5
198	436	2	0	4	36	5
199	437	2	0	4	37	5
200	438	2	0	4	38	5
201	439	2	0	4	39	5
202	440	2	0	4	40	5
203	441	2	0	4	41	4
204	442	2	0	4	42	5
205	443	2	0	4	43	5
206	444	2	0	4	44	5

207	445	2	0	4	45	5
208	446	2	0	4	46	5
209	447	2	0	4	47	5
210	448	2	0	4	48	5
211	449	2	0	4	49	5
212	450	2	0	4	50	5
213	451	2	0	4	51	5
214	452	2	0	4	52	1
215	453	2	0	4	53	1
216	454	2	0	4	54	1
217	501	2	1	5	1	3
218	502	2	1	5	2	3
219	503	2	1	5	3	3
220	504	2	1	5	4	4
221	505	2	1	5	5	4
222	506	2	1	5	6	4
223	507	2	1	5	7	5
224	508	2	1	5	8	5
225	509	2	1	5	9	5
226	510	2	1	5	10	5
227	511	2	1	5	11	3
228	512	2	1	5	12	3
229	513	2	1	5	13	5
230	514	2	1	5	14	5
231	515	2	1	5	15	5
232	516	2	1	5	16	0
233	517	2	1	5	17	1
234	518	2	1	5	18	0
235	519	2	1	5	19	1
236	520	2	1	5	20	1
237	521	2	1	5	21	1
238	522	2	1	5	22	2
239	523	2	1	5	23	2
240	524	2	1	5	24	2
241	525	2	1	5	25	1
242	526	2	1	5	26	3
243	527	2	1	5	27	2
244	528	2	1	5	28	0
245	529	2	1	5	29	1
246	530	2	1	5	30	0
247	531	2	1	5	31	5
248	532	2	1	5	32	5
249	533	2	1	5	33	4
250	534	2	1	5	34	5
251	535	2	1	5	35	5
252	536	2	1	5	36	5
253	537	2	1	5	37	2
254	538	2	1	5	38	2
255	539	2	1	5	39	0
256	540	2	1	5	40	5
257	541	2	1	5	41	5
258	542	2	1	5	42	5
259	543	2	1	5	43	5

260	544	2	1	5	44	5
261	545	2	1	5	45	5
262	546	2	1	5	46	1
263	547	2	1	5	47	1
264	548	2	1	5	48	1
265	549	2	1	5	49	5
266	550	2	1	5	50	5
267	551	2	1	5	51	5
268	552	2	1	5	52	5
269	553	2	1	5	53	5
270	554	2	1	5	54	5
271	601	2	2	6	1	4
272	602	2	2	6	2	5
273	603	2	2	6	3	5
274	604	2	2	6	4	3
275	605	2	2	6	5	5
276	606	2	2	6	6	5
277	607	2	2	6	7	5
278	608	2	2	6	8	5
279	609	2	2	6	9	5
280	610	2	2	6	10	2
281	611	2	2	6	11	2
282	612	2	2	6	12	2
283	613	2	2	6	13	2
284	614	2	2	6	14	2
285	615	2	2	6	15	2
286	616	2	2	6	16	5
287	617	2	2	6	17	5
288	618	2	2	6	18	5
289	619	2	2	6	19	5
290	620	2	2	6	20	4
291	621	2	2	6	21	5
292	622	2	2	6	22	5
293	623	2	2	6	23	5
294	624	2	2	6	24	5
295	625	2	2	6	25	3
296	626	2	2	6	26	3
297	627	2	2	6	27	3
298	628	2	2	6	28	1
299	629	2	2	6	29	1
300	630	2	2	6	30	1
301	631	2	2	6	31	5
302	632	2	2	6	32	5
303	633	2	2	6	33	5
304	634	2	2	6	34	4
305	635	2	2	6	35	5
306	636	2	2	6	36	5
307	637	2	2	6	37	2
308	638	2	2	6	38	1
309	639	2	2	6	39	2
310	640	2	2	6	40	4
311	641	2	2	6	41	4
312	642	2	2	6	42	5

313	643	2	2	6	43	4
314	644	2	2	6	44	4
315	645	2	2	6	45	4
316	646	2	2	6	46	5
317	647	2	2	6	47	5
318	648	2	2	6	48	5
319	649	2	2	6	49	5
320	650	2	2	6	50	3
321	651	2	2	6	51	5
322	652	2	2	6	52	5
323	653	2	2	6	53	5
324	654	2	2	6	54	5

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Rainer Mausberg danke ich für die Überlassung dieses Themas.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Dr. Dirk Ziebolz für die Betreuung während des gesamten Entstehungsprozesses dieser Arbeit bedanken.

Herrn Dr. rer. nat. Hans Joachim Rolf danke ich für die Mühe, mir das Mikroskop und dazugehörige Programm zur digitalen Fotografie der zahlreichen Schnitte näher zu bringen.

Ein großer Dank geht an Antje Ahrbecker, Christina Schäfer, sowie an alle anderen Damen des histologischen Labors der Abteilung MKG-Chirurgie, die mich in meiner Arbeit sehr tatkräftig mit Rat und Tat unterstützten. Sie zeigten mir den Umgang mit dem Mikrotom und die Vorgehensweise des Färbens von histologischen Schnitten.

Herrn Rolf Leuschner, Sektionsgehilfe in der Abteilung Neuropathologie des Universitätsklinikums, möchte ich für die weniger schöne Aufgabe des Zuschneidens der Schweinekiefer danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Kollegen ZA Carsten Sundmacher. Danke für die vielen Tipps, das Korrekturlesen, die Unterstützung und endlose Geduld, mit mir das Ziel zu erreichen.