

Aus der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
(Direktor: Prof. Dr. med. dent. Christof E. Dörfer)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**VERÄNDERUNG DES ATTACHMENTLEVELS BESTEHENDER GINGIVALER REZSSIONEN IN
KORRELATION ZUR BORSTENFELDGRÖßE**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

NORA HEINEVETTER

aus Potsdam

Kiel 2017

1. Berichterstatter: Prof. Dr. C. Dörfer
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Kern
Tag der mündlichen Prüfung: 08.01.2018
Zum Druck genehmigt, Kiel, den 14.09.2017

gez. Prof. Dr. Johann Roider

(Vorsitzender der Prüfungskommission)

Meiner Familie und Freunden gewidmet

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	II
1 EINLEITUNG	1
1.1 GESCHICHTE DER ZAHNBÜRSTE	2
1.2 ZAHNBÜRSTENABNUTZUNG UND IHRE MESSVERFAHREN.....	5
1.3 GINGIVALE REZSSIONEN.....	10
1.4 ÄTIOLOGIE GINGIVALER REZSSIONEN.....	11
1.5 METHODEN ZUR DARSTELLUNG VON GINGIVALER TRAUMATISIERUNG	14
1.6 KLINISCHE DIAGNOSTIK UND SYMPTOMATIK GINGIVALER REZSSIONEN.....	15
1.7 BESTIMMUNG UND KLASSIFIKATION GINGIVALER REZSSIONEN	16
1.8 ZIELE UND HYPOTHESEN	17
2 MATERIAL UND METHODE	18
2.1 STUDIENDESIGN.....	18
2.2 STUDIENABLAUF.....	19
2.3 PROBANDENAUSWAHL.....	21
2.3.1 <i>Einschlusskriterien</i>	21
2.3.2 <i>Ausschlusskriterien</i>	22
2.3.3 <i>Fortführungskriterien</i>	23
2.4 INDIZES UND MESSVARIABLEN	24
2.5 VERWENDETE PRODUKTE.....	25
2.6 VERMESSUNG DES BORSTENFELDS	28
2.7 DATENERFASSUNG UND STATISTISCHE ANALYSE	31
3 ERGEBNISSE	33
3.1 DEMOGRAFISCHE ANALYSE	33
3.2 DER BRISTLE SPLAYING INDEX (BSI) UND DIE NUTZUNGSDAUER	34
3.3 GINGIVALE REZSSION UND GINGAVERLETZUNG	36
3.4 REGRESSIONSANALYSE.....	37
4 DISKUSSION	39
5 ZUSAMMENFASSUNG	51
6 LITERATUR	53
7 ANHANG	61
8 DANKSAGUNG.....	62
9 PUBLIKATIONEN IM RAHMEN DER DISSERTATION	63
10 LEBENS LAUF.....	64

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BSI	Bürstenfeldauffächerungsindex (engl. bristle splaying index)
BSI/t	Bürstenfeldauffächerung pro Tag (engl. bristle splaying index per day)
CAL	klinisches Attachmentlevel (engl.: clinical attachment level)
EZB	elektrische Zahnbürste
GR	gingivale Rezession
pre-GR	vor Studienbeginn bestehende Rezessionen, bei Baseline gemessen
GV	gingivale Verletzungen / Putzläsionen
HZB	Handzahnbürste
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizient
OPT	okklusales parodontales Trauma
OST	orale Untersuchung (engl.: oral soft tissue exam)
PPD	Taschentiefondierung (engl.: probing pocket depth)
SD	Standardabweichung (engl.: standard deviation)
SZG	Schmelzzementgrenze
WI	Verschleißratenindex (engl. wear index)
WR	Verschleißrate (engl. wear rating)

1 Einleitung

Ein schönes Lächeln und ein gesundes, natürliches Gebiss haben in unserer Gesellschaft einen hohen Stellenwert. Die Prävention von Erkrankungen der Zähne und des Zahnhalteapparats durch eine effiziente häusliche Mundhygiene ist daher von großer Bedeutung für die moderne Zahnheilkunde. Das wichtigste Hilfsmittel hierfür ist die Zahnbürste. Sie ist das populärste und effektivste Werkzeug, um den dentalen Biofilm zu entfernen und, wie durch Studien belegt, Karies und parodontalen Erkrankungen vorzubeugen (Loe et al., 1965; Frandsen, 1985; Axelsson et al., 2004). Zu diesem Zweck verbraucht jeder Bundesbürger nach Erhebungen der Bundeszahnärztekammer (2015) jährlich nahezu drei Zahnbürsten. Neben diesen erwiesenen Vorteilen, die das Zähneputzen mit sich bringt, stellt sich die Frage, ob die Nutzung einer Zahnbürste auch negativ auf Zahnhart- und Weichgewebe wirken kann. Oft werden in diesem Zusammenhang Dentinhypersensibilität, Abrasion der Zahnhartsubstanz und gingivale Rezessionen aufgeführt (Mc Connell und Conroy, 1967; Sangnes, 1976; Addy und Hunter, 2003). Als mögliche Ursachen dieser unerwünschten Nebenwirkungen wurden die Zahnputztechnik (Padbury und Ash, 1974), der Anpressdruck beim Zähneputzen (Saxton und Cowell, 1981), die Dauer und Häufigkeit des Zähneputzens (Sangnes, 1976; Bergstrom und Lavstedt, 1979) und die Beschaffenheit der Zahnbürste (Phaneuf et al., 1962) sowie Zahnpasta (Addy und Hunter, 2003) diskutiert. Viele Studien haben in diesem Zusammenhang die Eigenschaften der kommerziell erhältlichen Zahnbürsten hinsichtlich der Filamentendrundung (Breitenmoser et al., 1979), Filamentform und Borstenhärte (Lange, 1977) genauer untersucht. Im Laufe der Jahre konnte durch diese intensiven Forschungen die Effizienz, aber auch die Produktvariabilität an Zahnbürsten erhöht werden (Saxer und Yankell, 1997; Dyer et al., 2000). Wie jeder täglich angewendete Verbrauchsgegenstand weisen allerdings auch Zahnbürsten Verschleißerscheinungen auf. Obwohl im Allgemeinen ein Austausch der Zahnbürste nach drei Monaten empfohlen wird, wird in Studien der Zusammenhang von Abnutzung und Effektivität einer Zahnbürste kontrovers diskutiert (Kreifeldt et al., 1980; Glaze und Wade, 1986; Hogan et al., 2007). Um ein evidenzbasiertes, allgemeingültiges Wechselintervall der Bürste angeben zu können, wurden einige Studien hinsichtlich der Nutzungsdauer und der davon abhängigen Fähigkeit zur effizienten Reinigung der Zahnoberfläche durchgeführt (Hogan et al.,

2007; Tangade et al., 2013). Neben nachlassender Reinigungsleistung sollten aber auch eventuelle schädigende Auswirkungen des Zahnbürstenverschleißes nicht unbeachtet bleiben. Es wurde zwar gezeigt, dass in Abhängigkeit von der Filamentrundung und -steifigkeit Gingivaabrasionen entstehen können, der Einfluss verschiedener Zahnputztechniken und die Rolle des Anpressdrucks beim Zähneputzen in der Entstehung von Weichgewebsverletzungen wird allerdings kontrovers diskutiert (Breitenmoser et al., 1979; Danser et al., 1998a; Van der Weijden et al., 2004). Somit mangelt es an ausreichenden wissenschaftlichen Belegen, welche die Zahnbürstenabnutzung und ihren Einfluss bei der Entstehung von Abrasionen des Zahnfleisches klären können.

Unbestritten ist, dass ein langfristiges inadäquates Zähneputzen, sowie ein kraftintensives Putzmuster zur Verletzung des Zahnfleisches führen können und in der Folge eine Traumatisierung der freien und befestigten Gingiva als ein möglicher Faktor in der Entstehung von gingivalen Rezessionen nicht ausgeschlossen ist (Plagmann, 1998). Im Allgemeinen zeigen systematische Übersichtsarbeiten zwar, dass die Anwendung sowohl von manuellen als auch elektrischen Zahnbürsten als sicher für orales Hart- und Weichgewebe einzustufen ist. Dennoch bestehen keine eindeutigen Belege über den Einfluss von Gingivaläsionen auf die Entstehung von Rezessionen (Addy und Hunter, 2003; Van der Weijden et al., 2011; Chapple et al., 2015; Van der Weijden und Slot, 2015). Welche Rolle die Zahnbürstenabnutzung dabei spielt, ist ebenso unklar.

1.1 Geschichte der Zahnbürste

Erste Hinweise auf eine aktiv durchgeführte Mundhygiene sind schon vor unserer Zeitrechnung zu finden. Ausgrabungen von Kaustöckchen, Zweigen, Vogelfedern und Tierknochen überall auf der Welt bestätigen, dass Menschen seit jeher bemüht sind, ihre Zähne zu säubern (Tadinada et al., 2015). 3500 v. Chr. fertigten die Babylonier bereits Zahnreinigungswerkzeuge aus Wurzelholz mit bürstenähnlich aufgefächerten Endungen an, welche auch noch bis in die heutige Zeit weitverbreitet sind (Jardim et al., 2009). Sie werden „Miswak“ oder „Siwak“ genannt, weisen eine gewisse antibakterielle Wirkung auf und werden teilweise auch mit „Zahnpuder“ oder Rosenextrakt genutzt (Jardim et al., 2009). Die hierfür verwendeten Zweige stammen vom Arakbaum (*Salvadora persica*) aus der Pflanzenfamilie der Salvadoraceae, der

auch als Zahnbürstenbaum bekannt ist (Sadhan und Almas, 1999). Im alten und neuen Indien findet das Holz des Neembaums als primitive Zahnbürste Verwendung. Auf einem Ende des Zweigs wird so lange gekaut, bis die Fasern borstenförmig aufgefächert sind. Da dem Neembaum vielseitige heilende Wirkung zugesprochen wird, entfernen diese Putzutensilien nicht nur Speisereste, sondern sollen auch desinfizierend und sogar kariesprotektiv wirken (Tadinada et al., 2015).

Historische griechische und römische Schriften berichten von primitiven Zahnstochern und Zweigen, genutzt um Essensreste zwischen den Zähnen zu entfernen. Es ist allerdings anzunehmen, dass ihre Funktion eher in der Beseitigung von störenden Objekten lag, als zu einer bewussten Mundhygiene beizutragen (Jardim et al., 2009).

Historiker datieren die Anfänge der ersten Zahnbürste, hergestellt aus Ochsenknochen und Schweineborsten, auf 1498 n. Chr. in China. Es gibt allerdings Hinweise darauf, dass in Asien sogar schon 1000 n. Chr. Zahnbürsten aus Elfenbein und Pferdehaar angefertigt wurden (Fischman, 1997). Um 1600 n. Chr. wurde die erste Zahnbürste mit plattenförmigem Borstenträger in der chinesischen Literatur erwähnt. Erst im späten 18. Jahrhundert beschrieb auch die europäische Literatur eine Zahnbürste, die in ihrer Form den heutigen Bürsten ähnelte (McCauley, 1946). Im Zuge der industriellen Revolution entwarf der Engländer William Addis 1780 die erste Zahnbürste für die Massenproduktion (Tadinada et al., 2015). Bei diesem Modell wurden Tierhaare mit Drahtligaturen an Holzgriffen befestigt. Da die damals genutzten Schweineborsten allerdings um jene Zeit sehr teuer waren, war die Zahnbürste nur der oberen Bevölkerungsschicht zugänglich (Jardim et al., 2009). Erst als 1938 synthetische Fasern aus Nylon die tierischen Borsten ablösten und die knöchernen Handgriffe durch solche aus Kunststoff ersetzt wurden, begann die Herstellung von Zahnbürsten in Massenproduktion und wurde dementsprechend erschwinglicher (Jardim et al., 2009). Heutzutage sind Handzahnbürsten in allen Formen und Größen erhältlich, wobei der Kunststoffhandgriff und die synthetischen Nylonborsten weiterhin Grundbestandteile der meisten Modelle sind (Tadinada et al., 2015).

Obwohl schon 1886 „Dr. Scott’s Electric Toothbrush“ in einer amerikanischen Zeitungsannonce mit ihrer Reinigungsleistung geworben haben soll, datieren die meisten Quellen die Anfänge der heutigen elektrischen Zahnbürste um 1960 (Fischman, 1997). Der Schweizer Dr. Phillipe-Guy Woog soll schon 1939 einen

Prototypen für die erste elektrische Zahnbürste entworfen haben, welche allerdings erst 1954 unter dem Namen „Broxodent“ veröffentlicht wurde (Rommelfanger, 2015). Die „Broxo Electric Toothbrush“ war das erste amerikanische Modell und wurde 1960 von Squibb (Bristol-Myers Squibb, New York, USA) auf den Markt gebracht (Tadinada et al., 2015). Mit der Interplak (Bausch& Lomb, USA) wurde die erste elektrische Zahnbürste mit gegenläufig oszillierenden Borsten eingeführt (Rommelfanger, 2015). Die frühen elektrischen Mundhygienewerkzeuge imitierten meist die Putzbewegung einer Handzahnbürste und hatten einen länglichen Bürstenkopf (Urmann, 2013). Was in den 70er Jahren noch als „unnützes Elektroprodukt“ galt, ist heutzutage aus vielen Badezimmern nicht mehr wegzudenken, ca. 36 Prozent der Deutschen putzen mit einer elektrischen Zahnbürste (Urmann, 2013). Mittlerweile gibt es unzählige Modelle, welche entweder rotieren, oszillierend rotieren oder vibrieren (Schall- oder Ultraschallzahnbürsten). Zu den marktführenden Produkten gehören Bürsten von Braun Oral-B (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) und Philips Sonicare (Koninklijke Philips Electronics N.V., Amsterdam, Niederlande) (Tadinada et al., 2015). Der ovale Bürstenkopf der Philips Sonicare vibriert bei 31000 Bewegungen pro Sekunde (Tadinada et al., 2015). Oral B setzt hingegen auf eine rotierend- oszillierende Putztechnologie mit einem kleinen, runden Bürstenkopf (Urmann, 2013). Mittlerweile gibt es nicht nur mehrere Studien, die belegen, dass einzelne elektrische Zahnbürsten den manuellen in ihrer Reinigungsleistung überlegen sind, sondern auch mit weniger Anpressdruck beim Putzen angewendet werden (Van der Weijden et al., 2011). Überdies erfolgt durch integrierte Drucksensoren in den Zahnbürstenköpfen eine zusätzliche Kontrolle des Anpressdrucks mit anschließender visueller Darstellung in Echtzeit, wodurch dieser nochmals weiter gesenkt werden kann (Janusz et al., 2008; Wiegand et al., 2013). Über eine solche Visualisierungshilfe verfügen beispielsweise einige elektrische Zahnbürsten der Firma Oral B. Dieser sogenannte SmartGuide[®] (Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) stellt via Bluetooth den Anpressdruck und die Putzdauer des Anwenders dar (Tadinada et al., 2015).

Es ist anzunehmen, dass die heutigen Zahnbürstentechnologien auch zukünftig einer stetigen Weiterentwicklung unterliegen werden. Beispielsweise stellte das Unternehmen Kolibree (KOLIBREE SAS, Paris, Frankreich) eine gleichnamige Zahnbürste mit Smartphone-App vor, welche via Bluetooth Details über das

Zahnputzverhalten an die zugehörige App übermittelt. Die Statistiken über Putzgewohnheiten, Häufigkeit, Dauer und Gründlichkeit sind für den Verbraucher einsehbar und ein Punktesystem und Spiele sollen Erwachsene und ganz besonders Kinder zu noch gründlicherem Putzen motivieren (Tadinada et al., 2015) – der tatsächliche Effekt ist aber wissenschaftlich noch kontrovers diskutiert (Graetz et al., 2013).

Anhand der aufgeführten Literatur wird die mannigfaltige Entwicklung der Zahnbürste von einem primitiven Werkzeug bis hin zu einem elektrischen Putzutensil mit digitalem Rückkopplungssystem deutlich. Seit der Zeit der Babylonier unterlag die Zahnbürste also einem stetigen Wandel, dennoch hat sich durch diese Fortschritte ihr grundsätzlicher Aufbau, ein Handgriff und Borsten für die Reinigung der Zahnoberfläche, kaum verändert und auch der Vorgang der mechanischen Biofilmentfernung steht noch immer im Vordergrund.

1.2 Zahnbürstenabnutzung und ihre Messverfahren

Wie jeder regelmäßig verwendete Bedarfsartikel unterliegt auch die Zahnbürste einem Abnutzungsprozess. Sichtbar wird dieser durch abraderte, aufgewirbelte und gekrümmte Borsten, welche an ihren freien Enden dünner werden und matter erscheinen (Kreifeldt et al., 1980). Das auch für das ungeübte Auge auffälligste Merkmal dieses Vorgangs kann ein aufgefächertes, aufgebogenes Borstenfeld der Zahnbürste nach längerem Gebrauch sein (Rawls et al., 1989).

Pugh (1978) nahm an, dass der Verschleiß einer Zahnbürste und die Zeitspanne, in welcher dieser auftritt, hauptsächlich vom Anpressdruck abhängig ist. Es wurden Kräfte zwischen 4 und 20 N gemessen, wobei eine Anpresskraft unter 6 N nicht zu einem frühzeitigen Abnutzen der Zahnbürste führte. Als weitere Einflussfaktoren werden die Putztechnik, Dauer und Häufigkeit des Zähneputzens beschrieben (Dean, 1991). Mit dem wachsenden Bewusstsein für die Relevanz einer aktiv durchgeführten Mundhygiene für die orale Gesundheit stellte sich die Frage, wie lange kommerziell erhältliche Zahnbürsten auch bei zunehmendem Abnutzungsgrad ihre Reinigungseffizienz aufrecht erhalten können (Glaze und Wade, 1986). Zur Erforschung dieser Fragestellung wurden verschiedene Ansätze gewählt. 1978 untersuchte Pugh (1978) die Reinigungsleistung von Zahnbürsten im Zusammenhang mit ihrer Abnutzung und der aufgebrauchten Putzkraft. Um den

Verschleiß der Bürsten zu evaluieren, wurden 22 Zahnbürsten aus einer großen Menge benutzter Zahnbürsten ausgewählt und zusammen mit zwei unbenutzten Referenzzahnbürsten untersucht. Folgend wurden 15 zufällig ausgewählte Individuen gebeten, diese Bürsten nach ihrem Abnutzungsgrad in Gruppen einzuteilen, ohne Angabe einer bestimmten Gruppengröße. Insgesamt entstanden acht Gruppen. Diesen wurden Nummern von 0-7 zugeordnet, wobei 0 unbenutzte Zahnbürsten darstellte und 7 jene, die extrem abgenutzt waren. Zusätzlich sollte den Bürsten eine Prozentzahl zugeordnet werden, wobei 100 % eine komplett verschlissene Zahnbürste darstellte. Dieses Verfahren ist als ein rein subjektives einzuschätzen. Ähnlich gingen Glaze und Wade (1986) vor, welche den Abnutzungsgrad auf zwei unterschiedliche Arten bewerteten. Einerseits wurden die Zahnbürsten in drei Gruppen unterteilt:

- 1 guter Zustand- kein oder nur sehr geringer Verschleiß
- 2 mittelmäßiger Zustand- durchschnittliche Abnutzung und frühe Deformation der Filamente
- 3 schlechter Zustand- hoher Verschleiß und Deformation der Filamente

Andererseits wurde mittels eines Messschiebers die Vergrößerung der Putzfläche ermittelt. Dabei wurden mehrere Strecken des Borstenfeldes vermessen (Abb. 1) und die größten Werte jeder Richtung wurden miteinander multipliziert.

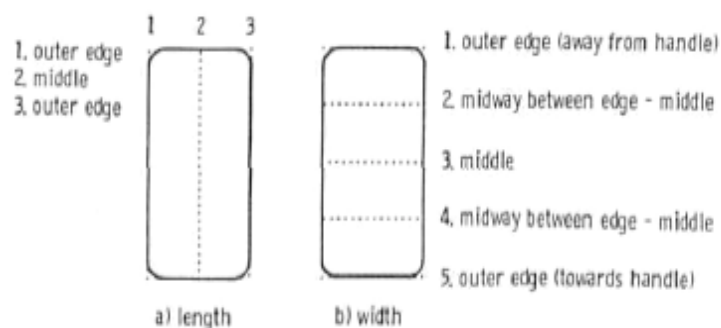


Abb. 1: Die Lokalisation der gemessenen Strecken auf dem Bürstenkopf. Aus dem Originaltext von Glaze und Wade (1986).

Dadurch konnte der subjektive, allein vom Untersucher empfundene Abnutzungsgrad durch einen objektiven Wert, der Borstenfeldgröße, ergänzt werden. Um die Qualität

dieses Messverfahrens noch weiter zu optimieren, entwickelten Rawls et al. (1989) den „Wear Index“ (WI) und das „Wear Rating“ (WR).

Das WR ist ein subjektives Maß, welches insgesamt vier Gruppen von 0-3 beinhaltet. Jeder Gruppe wird ein Foto von einem der Nummer entsprechenden Abnutzungsgrad und eine Beschreibung zugeordnet, wie in Abbildung 2 illustriert.

Eine objektivere Methode, um die Zahnbürstenabnutzung nach einem bestimmten Zeitraum zu ermitteln, ist hingegen der WI. Angenommen wurde, dass jeder Proband durch variierende Putzgewohnheiten unterschiedliche Verschleißmuster im Borstenfeld produziert. Diese können aber wiederum zu Ungenauigkeiten bei der Vermessung führen. Daher wird jede Zahnbürste sowohl von der Seite, als auch von oben gemessen und diese Werte werden dann gemittelt. Erst werden die freien Enden vermessen (WfS/E), dann wird von diesem Wert die Länge der am Handgriff befestigten Enden (WaS/E) subtrahiert, sodass man die Vergrößerung des Borstenfeldes ermitteln kann. Der Durchschnitt beider Seiten wird dann durch die Borstenhöhe dividiert (Abb. 3). Auch andere Studien wie Sforza et al. (2000) arbeiteten mit diesem Index.

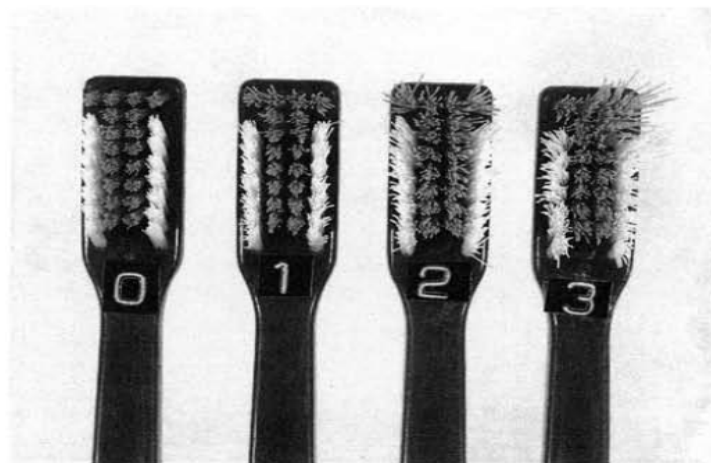
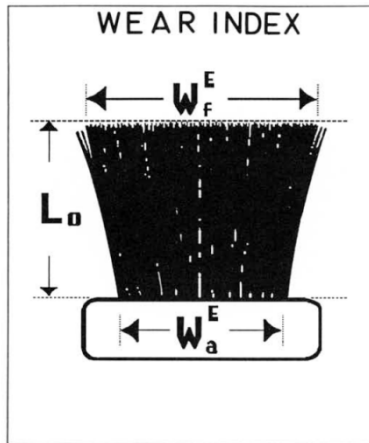


Abb. 2: Fotografie von verschiedenen Abnutzungsgraden von Zahnbürsten zur Berechnung des WR: 0= keine, 1= geringe, 2= mittlere, 3= hohe Abnutzung des Borstenfeldes. Aus dem Originaltext von Rawls et al. (1989).



$$WI = \frac{W_f^S - W_a^S + W_f^E - W_a^E}{2 L_0} \quad [1]$$

W = maximum brush width measured along one side, W^S , and one end, W^E , of the brush head, and at the anchored (zero splay) ends, W_a , and the free (splayed) ends, W_f , of the bristles;

L_0 = maximum brush trim height before the brush is used, or the length of the highest standing bristle as long as a vertical bristle remains.

Abb. 3: Schematische Darstellung der Vermessungsmethode um den WI zu bestimmen. Aus dem Originaltext von Rawls et al. (1989).

Im Zuge der sich mit den Jahren weiterentwickelnden digitalen Technologien nutzten Daly et al. (1996) ein Bildbearbeitungsprogramm für die Vermessung des Borstenfeldes (Abb. 4). Von jedem Bürstenkopf wurde ein standardisiertes Foto erstellt und ausgedruckt. Auf diesem Ausdruck wurde mit Hilfe zweifacher Vergrößerung die äußere Umrandung des Borstenfeldes nachvollzogen und markiert. Dies wurde mittels eines 3CX Scanners eingescannt und mit Photoshop Software (Adobe Systems Software Ireland Limited) auf die gleiche Helligkeit und den gleichen Kontrast angepasst. Darauffolgend wurde auf diesen Bildern mit Hilfe des NIH Image Analysis Programs (ImageJ, Wayne Rasband, NIH, public domain) die Pixelanzahl im umrandeten Feld analysiert. Somit wurde eine genaue Vermessung und Kalkulation der Auffächerung des Borstenfeldes ermöglicht. Basierend auf dieser Vorgehensweise modifizierten im Laufe des letzten Jahrzehntes weitere Arbeitsgruppen diese Methodik und ermöglichten eine immer genauere Bestimmung des Abnutzungsgrades (Hogan et al., 2007; Tangade et al., 2013).

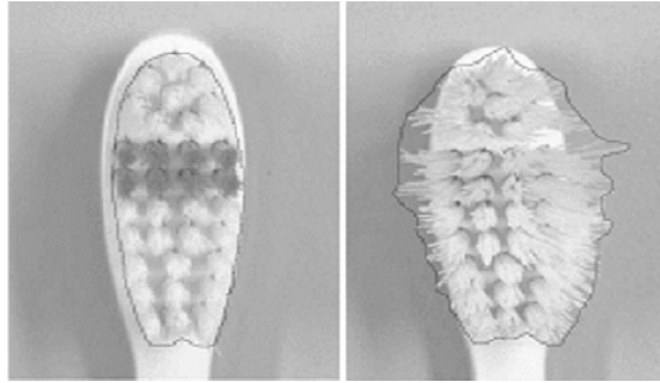


Abb. 4: Umrandung der Borstenoberfläche bei einer neuen (links) und drei Monate alten Zahnbürste (rechts). Die Fläche wurde mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms ermittelt. Aus dem Originaltext von Nam et al. (2005).

Eine Methode, bei der, ähnlich wie bei Glaze und Wade (1986) und Rawls et al. (1989), die Abstände zwischen den äußersten Filamenten des Borstenfeldes gemessen wurden, entwickelten Ren et al. (2007). Von allen Bürstenköpfen wurden digitale Fotos angefertigt und mittels eines Bildverarbeitungsprogramms (NIH ImageJ 1.34s, Bethesda, MD, USA) vermessen. In der Ansicht von oben wurde die Breite des Borstenfeldes an drei Stellen gemessen und in der Seitenansicht wurde die Auffächerung der Borsten an dem freien Ende der Filamente gemessen (Abb. 5). Dies wurde mit einer unbenutzten Zahnbürste sowie mit den benutzten Studienobjekten durchgeführt. Die Werte wurden dann in eine Formel eingesetzt, mit deren Hilfe ein sogenannter Bristle Splaying Index (BSI) errechnet werden konnte. Der BSI ist der Mittelwert der Breiten- und Längenaufspreizung der Borsten im Verhältnis zu einer unbenutzten Zahnbürste.

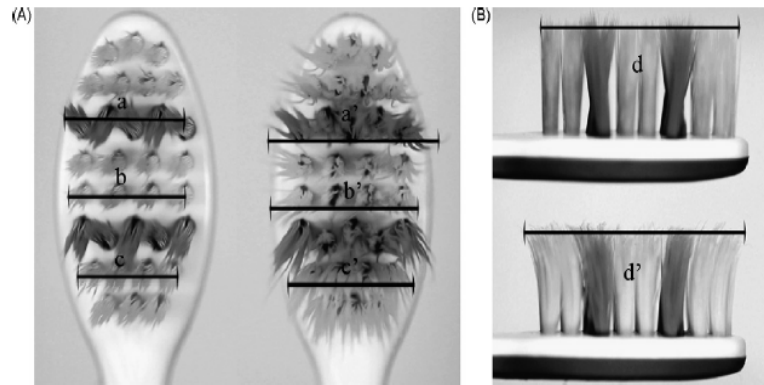


Abb. 5: Darstellung der Messstrecken zur Berechnung des Bristle Spreading Index (BSI). Der BSI ist der Mittelwert der drei Borstenreihen einer neuen (a,b,c) und alten Zahnbürste (a',b',c') in der Aufsicht (A) und Seitenansicht (B) (d,d'). $BSI (\%) = ((a' - a)/a + (b' - b)/b + (c' - c)/c + (d' - d)/d)/4 \times 100$. Aus dem Originaltext von Ren et al. (2007).

1.3 Gingivale Rezessionen

Die Gingiva gehört zur Mundschleimhaut und bildet den marginalen Teil des Parodontiums. Sie kann in die befestigte und in die freie beziehungsweise marginale Gingiva eingeteilt werden. Eine klinisch gesunde Gingiva zeichnet sich durch eine blassrosa Färbung aus und ist straff, fest und nicht verschieblich. Eine Gefäßzeichnung ist aufgrund der Keratinisierung nicht zu erkennen (Plagmann, 1998).

Im parodontal gesunden Gebiss liegt die Gingiva bis zu 2 mm koronal der Schmelz-Zement-Grenze und bedeckt die Zahnwurzel vollständig. Befindet sich der Zahnfleischrand apikal dieser Position beziehungsweise sind bereits Bereiche des Wurzelzements exponiert, spricht man von einer gingivalen Rezession (Sälzer et al., 2012). Nach Plagmann (1998) ist eine Rezession definiert als eine klinisch entzündungsfreie, involutive Rückbildung der Gingiva. Sie kann singular oder generalisiert an den vestibulären und/oder lingualen Wurzeloberflächen auftreten und weist keine erhöhten Sondierungstiefen auf (Plagmann, 1998).

Von der gingivalen Rezession deutlich abzugrenzen ist die Gingivaretraktion als Folge einer tiefen Parodontitis marginalis. Hier kommt es zu einem Zahnfleischrückgang aufgrund von Entzündungsabläufen, welche eine irreversible Destruktion zahntragender Anteile zur Folge haben. Anzeichen sind erhöhte Sondierungstiefen, Attachmentverlust, röntgenologisch sichtbarer interdentaler Knochenabbau, Zahnlockerung und zirkuläre Zahnfleischrückbildung (Plagmann,

1998). Dies stützt auch eine klinische Studie von Loe et al. (1992). Bei Probanden, welche häufig und regelmäßig Mundhygienemaßnahmen ausführten, wurden überwiegend rein vestibuläre oder linguale Rezessionen festgestellt, wohingegen Patienten mit niedrigem Mundhygienestandard vermehrt zirkuläre Läsionen aufwiesen. Somit ist die Vermutung naheliegend, dass faciale Rezessionen unter anderem Folge von mechanischem Trauma sein können, zirkuläre Läsionen hingegen auf entzündliche Prozesse zurückzuführen sind.

1.4 Ätiologie gingivaler Rezessionen

Es scheint Einigkeit darüber zu herrschen, dass die Ätiologie der gingivalen Rezession einen multifaktoriellen Hintergrund hat (Gorman, 1967; Sälzer et al., 2012; Heasman et al., 2015). So wird davon ausgegangen, dass der Entstehung von gingivalen Rezessionen bestimmte primäre (prädisponierende) und sekundäre (auslösende) Faktoren zugrunde liegen, wobei morphologisch-anatomische Gegebenheiten als prädisponierendes Element eine tragende Rolle spielen (Rateitschak, 1984). Aufgrund von Engständen, Fehlstellungen, einem Missverhältnis zwischen Alveolarfortsatzbreite und Wurzeldurchmesser, einer ungünstigen Zahndurchbruchsrichtung sowie durch kieferorthopädische Zahnbewegungen (Diedrich, 1984) kann es zur Knochendehiszenz kommen (Hirschfeld, 1923; Guinard und Caffesse, 1977). Diese Knochenrückbildung entwickelt sich, wenn die wurzelbedeckende Knochenschicht so dünn ist, dass eine ausreichende Ernährung durch die Spongiosa zwischen den beiden Kompaktaschichten nicht mehr gewährleistet ist. Folglich zieht sich der Knochen auf eine Breite zurück, welche der Spongiosa wieder genügend Platz bietet. Neben der Knochendehiszenz sind auch Fenestrierungen der sehr dünnen Knochenlamelle zu beobachten. Besonders häufig sind diese Befunde an Frontzähnen, Eckzähnen und Prämolaren, seltener an Molaren (Rateitschak, 1984). Interessanterweise zeigten die Ergebnisse von Gorman (1967), dass 91 % der Zähne, an denen eine Rezession festgestellt wurde, auch eine Fehlstellung aufwiesen. Zusätzlich scheint auch die Beschaffenheit des Zahnfleisches eine Entwicklung von Rezessionen zu prädisponieren. Eine dünne keratinisierte Gingiva erwies sich als anfälliger in Bezug auf die Entwicklung von Rezessionen gegenüber einer dickeren Gingiva (Marini et al., 2004).

Auf Grundlage dieser anatomischen Dispositionen kann die Rezession nun durch mehrere Faktoren ausgelöst werden (Rateitschak, 1984). Watson (1984) teilte diese in drei Kategorien ein: anatomische, physiologische und pathologische Faktoren.

Hoch inserierende Lippen- und Wangenbändchen werden in vielen Quellen als ursächlich bei der Entstehung gingivaler Rezessionen genannt, da sie Zug auf das marginale Gewebe ausüben sollen (Deshmukh et al., 2015). Die Studienlage stellt sich allerdings uneinheitlich dar, Powell und McEniery (1981) beispielsweise konnten keinen Einfluss des Lippenbändchens auf die Position der marginalen Gingiva feststellen. Ebenfalls scheint eine geringe Breite der befestigten Gingiva bei der Entwicklung von Rezessionen keine, beziehungsweise nur eine untergeordnete Rolle zu spielen (Freedman et al., 1999).

Viele Studien konnten belegen, dass mit zunehmendem Alter auch die Anzahl und Ausprägung von Rezessionen wuchs (Gorman, 1967; Loe et al., 1992). Daher hypothetisierten einige Autoren, dass Rezessionen ein physiologisches Phänomen des Alterungsprozesses seien. Wahrscheinlicher scheint es jedoch nach Marini et al. (2004), dass Rezessionen durch das jahrelange Einwirken auslösender Faktoren entstehen und sich vermehren, als allein eine Folge des Alterns zu sein.

Als ein pathologischer Faktor ist die Traumatisierung der Gingiva zu nennen (Mierau und Fiebig, 1987). In Bereichen, wo der Knochen sehr dünn ist oder es bereits zu Fenestrierungen oder Knochendehiszenzen gekommen ist, ist die marginale Gingiva nicht genügend unterstützt (Hirschfeld, 1923). Eine aggressive, inadäquate Mundhygiene kann die Gingiva lädieren, abradieren und zu einer damit einhergehenden Entzündungsreaktion führen, als dessen Folge eine gingivale Rezession auftritt (Glickman, 1964). Es wird davon ausgegangen, dass das Zahnfleisch bei Patienten, welche vermehrt parodontale Rezessionen entwickeln, im Bereich des Gingivasaums ohnehin sehr dünn ist ($\leq 2\text{mm}$). Wenn es nun zu Putzläsionen in dieser Region kommt, bildet sich im Bindegewebe eine Entzündungszone aus, die das Stratum basale der Gingiva wie auch das Saumepithel überlagert. Die Folge ist eine immer dünner werdende Bindegewebsschicht, welche die beiden Epithelien nicht mehr zu ernähren vermag. Es kommt zu Nekrosen, Epitheleinrissen und letztendlich zum Rückgang des Zahnfleischsaums. Außerdem soll die Entzündungszone, wenn sie nah an den Knochen reicht, auch die Osteoklasten zum Abbau des Alveolarknochens anregen. Klinisch bemerkbar macht sich dieser Vorgang dann als Rezession. Dies kann schon

in jungen Jahren auftreten und wird oft als ästhetische Beeinträchtigung empfunden (Plagmann, 1998).

Gorman (1967) identifizierte das Vorhandensein von Zahnstein als drittwichtigsten Faktor bei der Entstehung von gingivalen Rezessionen. Allerdings stellt sich hier die Frage, ob Zahnstein tatsächlich die Ursache oder eher eine Konsequenz von Rezessionen sein kann. Durch Zahnfleischrückgang exponierte Wurzeloberflächen bieten ein günstiges Areal für die Akkumulation von Zahnstein (Joshi et al., 1994). Der vorhandene Zahnstein wiederum dient Bakterien, welche die Destruktion der marginalen Gingiva vorantreiben, als Retentionsfläche und begünstigt so die weitere Ausprägung der Rezession (Marini et al., 2004). Da gingivale Rezessionen hauptsächlich bei Individuen mit guter Mundhygiene auftreten (Serino et al., 1994), sollte von Zahnstein sowie von Entzündung als Folge von Plaqueakkumulation als ätiologische Variable abgesehen werden.

Viel Beachtung erhielt des Weiteren das okklusale parodontale Trauma (OPT) im ätiologischen Disput um die parodontale Rezession (Miller, 1950). Obwohl einige Autoren einen Zusammenhang ausschließen (Parfitt und Mjor, 1964), da es bei einem OPT zwangsläufig zu einer erhöhten Zahnbeweglichkeit komme, gibt es große Kontroversen über einen möglichen Zusammenhang zwischen einer erhöhten Zahnbeweglichkeit in Folge des OPT und Rezessionen (Kundapur et al., 2009; Krishna Prasad et al., 2013). Winders (1971) war der Auffassung, dass Kaukräfte nicht ausreichend abgeleitet werden können, wenn Zähne durch anatomische Disposition außerhalb des Zahnbogens liegen. Dies führe zum Abbau und Verlust von wurzelbedeckendem Knochen und in der Konsequenz zur Entwicklung von Rezessionen. Nach einem Übersichtsartikel von Buhl (1991) gibt es allerdings keinen wissenschaftlichen Nachweis für den Zusammenhang von OPT und der Entstehung von gingivalen Rezessionen. Ungeachtet dessen muss aber bedacht werden, dass auch andere traumatische Faktoren wie operative Maßnahmen im Rahmen einer Kronenpräparation oder einfach nur insuffiziente/nicht angepasste Kronenränder und Brackets eine Entstehung von Rezessionen begünstigen (Watson, 1984). Neben diesen iatrogenen Faktoren, scheint mit der wachsenden Popularität des Zungenpiercings noch ein weiterer, neuer ätiologischer Faktor hinzugekommen zu sein. Bereits vor einem Jahrzehnt beobachteten Campbell et al. (2002) ein gehäuftes Auftreten lingualer Rezessionen an Unterkieferfrontzähnen nach langjährigem

Tragen eines Zungenpiercings, was durch neuere Untersuchungen wiederholt bestätigt wurde (Pires et al., 2010; Plessas und Pepelassi, 2012).

1.5 Methoden zur Darstellung von gingivaler Traumatisierung

Wie zuvor beschrieben, wird vermutet, dass gingivale Läsionen die Entstehung von Rezessionen provozieren können (Gorman, 1967; Sangnes, 1976). Das Ausmaß dieser Traumatisierung ist allerdings teilweise nur durch gründliche Inspektion beurteilbar (Breitenmoser et al., 1979). Für den Nachweis der Zahnfleischschädigungen sind verschiedene Untersuchungsmethoden beschrieben worden. Khocht et al. (1992) sowie Johnson und McInnes (1994) beurteilten vorhandene Gingivaverletzungen rein visuell. Im Tierversuch untersuchten Alexander et al. (1977) nach dem Zähneputzen photospektrometrisch den Grad der Proteinausschwemmung im Gingivaepithel. Kuntsche und Lange (1978) erarbeiteten ihre Ergebnisse histologisch am Minischwein. Einen ähnlichen Ansatz wählten auch Plagmann et al. (1978), sie beurteilten die mechanische Beeinflussung des Epithels ebenfalls am Minischwein, sowohl rasterelektronenmikroskopisch als auch am histologischen Präparat.

Um am Menschen Gingivaläsionen nachweisen zu können, nahmen Sandholm et al. (1982) nach dem Zähneputzen neben einer visuellen Inspektion auch Abformungen, welche dann wiederum rasterelektronenmikroskopisch ausgewertet wurden. Eine weitere Methode, um Zahnfleischverletzungen objektiv zu erfassen, entwickelte Breitenmoser et al. (1979). Dabei wurde durch Plaque-Indikatoren eine Visualisierung der Gingivaabrasion ermöglicht. Am Untersuchungstag wurden sowohl vor als auch nach dem Zähneputzen mit und ohne Färbemittel Fotos von einem vorher definierten Bereich der Gingiva gemacht, sodass insgesamt vier Fotos zum Vergleich bereitstanden. Diese wurden dann mittels eines Quadratgitters auf Größe und Anzahl der Putzläsionen hin untersucht. Danser et al. (1998a) übernahm diesen Ansatz, wobei mittels des Plaque-Indikators Mira-2-Tone[®] (Mira-2-Tone Lösung; Hager&Werken GmbH, Duisburg, Deutschland) das Zahnfleisch vor dem Zähneputzen angefärbt wurde, um vorhandene Weichgewebsverletzungen beurteilen zu können. Anschließend wurden diese in kleine (≤ 5 mm) und große (> 5 mm) Läsionen eingeteilt und notiert. Zusätzlich wurde das zum Zahn gehörende Weichgewebe (Gingiva bis zur mukogingivalen Grenzlinie) in drei Areale unterteilt:

zervikal, interdental und mittig-gingival. Analog zu Breitenmoser et al. (1979) erfolgte nach dem Zähneputzen eine erneute Einfärbung der Gingiva, um mögliche zusätzliche Traumatisierungen erfassen zu können.

1.6 Klinische Diagnostik und Symptomatik gingivaler Rezessionen

Meist beginnt eine Rezession unbemerkt mit einer langsamen Freilegung der Schmelz-Zement-Grenze (SZG) über die gesamte Breite der facialen Zahnfläche (Rateitschak, 1984). Auch können im Anfangsstadium kleine V-förmige Einrisse des margo gingivae (sog. Stillman-Clefts) auftreten, welche sich dann zur Rezession ausweiten können. Sangnes und Gjermo (1976) beobachteten diese Läsionen an bukkalen und oralen Flächen bei circa 18 % der Studienteilnehmer, wobei vestibuläre Stillman-Spalten fast immer plaquefrei waren und mit traumatisierenden Putzgewohnheiten assoziiert werden konnten. Palatinale beziehungsweise linguale Läsionen wiesen dagegen häufiger Plaque- und Zahnsteinakkumulation auf. Ein weiteres klinisches Bild ist die McCall-Girlande, welche im adulten Gebiss stets gemeinsam mit einer gingivalen Rezession auftritt (Gorman, 1967). Sangnes und Gjermo (1976) diagnostizierten diese bei drei Prozent ihrer Probanden. Die McCall-Girlande ist eine fibröse, reaktive, klinisch entzündungsfreie Verdickung der angewachsenen Gingiva und scheint eine Gewebereaktion unter anderem auf exogene Traumata wie eine intensive Mundhygiene zu sein (Plagmann, 1998).

Schreitet eine Rezession bis in die bewegliche Schleimhaut fort, kann es zu einer sekundären Entzündung des Zahnfleischsaums kommen (Rateitschak, 1984).

Neben diesen Befunden sollte bei der Untersuchung gingivaler Rezessionen auch die Dicke der Gingiva, Taschensondierungstiefen, das Vorhandensein von befestigter Gingiva (Roll- oder Verschiebetest), keilförmige Zahnhartsubstanzdefekte, einstrahlende Lippen- und Wangenbändchen und das Ausmaß des von ihnen ausgeübten Zuges beachtet werden (Sälzer et al., 2012).

Viele Patienten, welche gingivale Rezessionen aufweisen, sind sich dessen nicht bewusst. Nieri et al. (2013) untersuchten 120 Probanden mit insgesamt 3423 Zähnen auf bestehende Rezessionen und deren Wahrnehmung. Interessanterweise wurden von den 783 diagnostizierten Rezessionen nur 28 % vom Patienten wahrgenommen und davon nur ein Bruchteil als störend empfunden. Neben der Wahrnehmung bereits bestehender Rezessionen, mag auch die mangelnde medizinische

Aufklärung der Bevölkerung ein Problemfaktor in der Debatte über gingivale Rezessionen spielen. Eine Patientenumfrage ergab, dass 60 % der Probanden gar nicht wussten, wie diese entstehen können (Nieri et al., 2013). Dies würde die These unterstützen, dass Rezessionen eher zu geringen klinischen Symptomen führen (Sangnes und Gjermo, 1976). Nichts desto trotz zählen Dentinhypersensibilitäten, keilförmige Defekte und Dentinkaries zu möglichen Folgen von gingivalen Rezessionen (Sälzer et al., 2012). Untersuchungen von Fukumoto et al. (2014) ergaben, dass schon 1 mm Gingivarezession in 49 %, 2 mm in 52 %, 3 mm in 60 % und 4-8 mm in sogar 79 % der Fälle Hypersensibilitäten hervorrufen können.

1.7 Bestimmung und Klassifikation gingivaler Rezessionen

Zur Bewertung einer parodontalen Rezession bezüglich ihres Ausmaßes, ihrer Prognose und ihrer Therapieoptionen stehen verschiedene Methoden zu Verfügung. Im Allgemeinen wird der parodontale Attachmentstatus nach der Vorlage von Ramfjord und Ash (1979) erfasst. Hier wird an sechs Stellen eines jeden Zahns zuerst der Verlauf des Gingivasaums notiert und anschließend werden die Taschensondierungstiefen gemessen. Als größtenteils unveränderliche anatomische Orientierungsmarke dient die SZG, wobei zu beachten ist, dass sie bei der Präsenz von Restaurationen in diesem Bereich nur schwer oder gar nicht zu identifizieren ist. Der Restaurationsrand kann als neuer Bezugspunkt genutzt werden. Des Weiteren gilt zu beachten, dass der Gingivasaum facial am klinisch gesunden Zahn bis zu 2 mm koronal der SZG verläuft. Liegt der margo gingivae also genau auf Höhe der SZG, besteht bereits ein Attachmentverlust von 2 mm (Plagmann, 1998).

Steht der Bezug zur Therapie im Vordergrund, hat sich international die Klassifikation nach Miller (1985) etabliert. Unter Vernachlässigung exakter Millimetermessungen wird hier zum einen die Rezession bezüglich ihrer Breite und Tiefe in Relation zur Mukogingivallinie beschrieben und zum anderen der Verlust des approximalen parodontalen Gewebes berücksichtigt. Die Miller-Klassen I-IV haben sich klinisch gut bewährt, da mit ihrer Hilfe allein anhand des intraoralen Erscheinungsbildes die jeweilige Therapieoption abgeleitet werden kann.

1.8 Ziele und Hypothesen

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit der Fragestellung, ob zwischen der Bürstenabnutzung, definiert als Veränderung der Borstenfeldgröße (BSI), und dem Fortschreiten bestehender gingivaler Rezessionen ein Zusammenhang existiert. Dafür wurden folgende Arbeitshypothesen zugrunde gelegt:

1. Dokumentierte Gingivaverletzungen korrelieren in beiden Gruppen mit Zahl und Schweregrad der gingivalen Rezessionen.
2. Ein hoher BSI korreliert mit mehreren beziehungsweise schwereren gingivalen Rezessionen.
3. Die Handzahnbürste weist nach dreimonatigem Gebrauch während des Beobachtungszeitraumes einen höheren BSI gegenüber der elektrischen Zahnbürste auf.
4. Daraus folgend schreiten die bestehenden gingivalen Rezessionen bei den Probanden, welche eine elektrische Zahnbürste nutzten, über den Beobachtungszeitraum nicht oder nur weniger fort als bei den Probanden der Kontrollgruppe mit Handzahnbürste.

2 Material und Methode

In der zugrundeliegenden Studie wurde die Veränderung bereits existierender gingivaler Rezessionen in einem zwölfmonatigen Beobachtungszeitraum evaluiert, in welchem die Studienteilnehmer jeweils mit einer ADA Referenz-Handzahnbürste (American Dental Association, Chicago, USA) oder einer elektrischen Zahnbürste (Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) putzten. Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit war es, die Borstenfeldveränderung der Studienzahnbürsten anhand digitaler Fotografien zu messen und ihren Zusammenhang mit parodontalen Rezessionen zu untersuchen.

2.1 Studiendesign

Diese Studie war eine prospektive, kontrolliert randomisierte, einfach verblindete Studie mit zwei parallelen Gruppen zum Vergleich zweier Zahnbürstenarten und ihren Einfluss auf parodontale Rezessionen.

Die insgesamt 110 akquirierten Patienten wurden den zwei Gruppen randomisiert zugeteilt. Probanden der Testgruppe putzten während der zwölfmonatigen Anwendungszeit mit einer elektrischen Zahnbürste (EZB), das Studienprodukt war die Oral-B Triumph 5000[®] (Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) und der mit einzelnen Borstenreihen oszillierende Oral-B TriZone[®] Bürstenkopf des gleichen Herstellers. Die Kontrollgruppe nutzte eine standardisierte Handzahnbürste (HZB) (ADA-46, American Dental Association, Chicago, USA). Alle Teilnehmer verwendeten eine fluoridhaltige Zahnpasta (Blendax Anti Belag Zahnpasta, Blendamed[®], the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA).

Die Probanden wurden angewiesen, zweimal täglich ausschließlich mit den studienrelevanten Hilfsmitteln zu putzen.

Insgesamt waren im Studienprotokoll sechs Besuchstermine vorgesehen. Beim zweiten (Baseline), vierten und sechsten Termin wurde eine Untersuchung der Mundschleimhaut durchgeführt und parodontale Indizes erhoben. Alle drei Monate wurden die genutzten elektrischen Zahnbürstenköpfe beziehungsweise Handzahnbürsten eingesammelt und neue Bürsten/Bürstenköpfe herausgegeben, je nach Bedarf wurden neue Zahnpastatuben bereitgestellt.

Das Studienprotokoll wurde von der lokalen Ethikkommission der Christian-Albrechts- Universität zu Kiel genehmigt (AZ: 125/11). Jeder Proband wurde über

den Ablauf und die Bedingungen der Studie aufgeklärt und unterschrieb eine Einverständniserklärung, bevor er an der Studie teilnahm. Die Probanden wurden mit Hilfe einer Identifikationsnummer pseudonymisiert und die jeweiligen Studienunterlagen als auch Produkte wurden ausschließlich mit dieser Identifikationsnummer gekennzeichnet.

2.2 Studienablauf

Screening (1. Besuch)

Das Screening wurde durchgeführt, um die Eignung des Patienten für die Studie zu erfassen, sowie erste anamnestische Informationen über den Patienten zu erlangen. Der Patient wurde gebeten, einen Anamnesebogen auszufüllen, in welchem er unter anderem zu seinem Gesundheitszustand, Rauch- und Essgewohnheiten befragt wurde. Es folgte eine kurze, orale Untersuchung. Mit Hilfe der gesammelten Informationen wurde daraufhin festgestellt, ob der Patient den Studienkriterien entspricht und ob er an der Studie teilnehmen kann.

Baseline (2. Besuch)

Alle für die Studie qualifizierten Patienten wurden erneut einbestellt. Nachdem ein Fragebogen (continuance criteria) ausgefüllt wurde, folgte eine ausführliche Untersuchung. Ein gegenüber den Studienprodukten verblindeter, kalibrierter Behandler führte während dieser Untersuchung und allen Folgenden eine orale Schleimhautinspektion (OST) durch, zusätzlich maß er Taschentiefen (PPD) und das Attachmentlevel (CAL). Diese Werte wurden in ein Computerprogramm (Microsoft Access, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) eingegeben und die vorhandene parodontale Rezession (preGR) darauf basierend errechnet. Das Zahnfleisch wurde von einem verblindeten und kalibrierten Behandler mittels einer Färbelösung (*Mira-2-Tone* Lösung; Hager&Werken GmbH, Duisburg, Deutschland) eingefärbt, um Gingivaverletzungen (GV) sichtbar zu machen. Auf einem separaten Dokument wurde die Anzahl von Gingivaverletzungen ≤ 5 mm und > 5 mm nach Danser et al. (1998a) dokumentiert.

Jeder Proband wurde anschließend mit Hilfe eines Computerprogramms (Microsoft Access, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) zufällig einer der beiden Gruppen zugeordnet. Grundlage der computergenerierten Randomisierung

waren Geschlecht, Rauchgewohnheit, Anzahl sowie Schweregrad der gingivalen Rezessionen. Diese Werte wurden zuvor manuell in das Programm eingespeist. Probanden wurden forciert der gleichen Gruppe zugeordnet, wenn sie im gleichen Haushalt lebten. Beide Gruppen beinhalteten insgesamt 55 Patienten.

Allen Probanden wurde zum Abschluss des Baselinebesuchs das jeweilige Produktkit ausgehändigt und sie wurden angewiesen, während des Studienzeitraums zweimal täglich ausschließlich ihre zugeteilte Zahnbürste und Zahnpasta für die häusliche Mundhygiene zu verwenden. Auf eine ausführliche Mundhygieneeinweisung wurde bewusst verzichtet, da der Patient sein gewohntes Putzverhalten fortführen sollte. Den Probanden wurde lediglich eine mündliche und schriftliche Instruktion zum Gebrauch der Zahnbürsten gegeben. Abschließend wurden die Probanden darauf hingewiesen, dass alle Studienprodukte gesammelt werden müssen und zum jeweils nächsten Termin wieder mitgebracht werden sollen.

3- und 9-Monatsbesuche

Drei Monate nach dem jeweiligen letzten Untersuchungstermin (drei beziehungsweise neun Monate nach Baseline \pm zwei Wochen) wurden zwei Tage festgelegt, an denen die Probanden in die Klinik kommen sollten. Hier wurden sie gebeten, erneut einen Fragebogen zur Sicherstellung der Studienkriterien auszufüllen und ihre genutzten Studienprodukte (elektrischer Bürstenkopf beziehungsweise HZB) dem Studienpersonal auszuhändigen. Ein unbenutzter Satz der jeweils abgegebenen Studienprodukte wurde daraufhin ausgehändigt.

6-Monatsbesuch

Sechs Monate (\pm eine Woche) nach dem zweiten Besuch (Baseline) wurden die Patienten erneut einbestellt. Vor der Untersuchung wurde der Fragebogen vom Proband ausgefüllt und die Anamnese wenn nötig vom Studienpersonal aktualisiert.

Der Ablauf des 6-Monatstermins ähnelte dem Baselinebesuch. OST, PPD, CAL und die Dokumentation der GV wurden erneut durchgeführt. Alle Variablen wurden von demselben Behandler erhoben, welcher diese Untersuchungen schon bei Baseline durchgeführt hatte.

Genutzte elektrische Zahnbürstenköpfe beziehungsweise die HZB wurden vom Studienpersonal eingesammelt und gegen neue Produkte getauscht. Ebenso wurden die Studienteilnehmer erneut erinnert, ausschließlich die Studienprodukte für die

häusliche Mundhygiene zu nutzen und alle Studienmaterialien für den nächsten Termin zu sammeln.

12-Monatsbesuch

Dies war der letzte der sechs Termine. Er fand zwölf Monate (\pm zwei Wochen) nach Baseline statt. Patienten füllten ein letztes Mal den Fragebogen aus und gaben ihre Studienprodukte vollständig ab (einschließlich der Triumph 5000, Smartguide und Ladegerät). Alle Indizes und Parameter der vorherigen Untersuchungen wurden erneut vom gleichen verblindeten, kalibrierten Behandler erhoben.

2.3 Probandenauswahl

Insgesamt nahmen 110 Probanden an der Studie teil. Potentielle Studienteilnehmer wurden in den studentischen Behandlungskursen und der Aufnahme der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel rekrutiert. Außerdem wurde mit Hilfe von Aushängen und über einen Emailverteiler auf die Studie aufmerksam gemacht. Nachdem Patienten persönlich, telefonisch oder per Email ihr Interesse an der Teilnahme bekundet hatten, wurde mit ihnen ein Termin für das Screening vereinbart. Die Eignung für die Studie wurde anhand folgender Ein- und Ausschlusskriterien ermittelt:

2.3.1 Einschlusskriterien

Um an der Studie teilnehmen zu können, musste der Patient:

- zwischen 18 und 70 Jahre alt sein
- eine gute Allgemeingesundheit aufweisen
- mindestens 16 auswertbare/einzubeziehende Zähne besitzen
(Weisheitszähne, Zähne mit Brücken- und Kronenversorgung, Implantate und Zähne mit kieferorthopädischen Apparaturen waren ausgeschlossen)
- an mindestens zwei Zähnen eine bukkale Rezession \geq 2mm aufweisen (diese Zähne durften keine Restaurationen oder Zahnhalskaries aufweisen)
- eine schriftliche Einverständniserklärung geben
- zustimmen, an keiner anderen klinischen Zahnputzstudie für den Zeitraum der Studie teilzunehmen

- zustimmen, ausschließlich die Studienprodukte und keine andere Zahnbürste oder Zahnpasta für den Zeitraum der Studie zu verwenden (der Patient durfte weiterhin seine gewohnte Mundspüllösung und Zahnseide für die häusliche Mundhygiene verwenden, allerdings keine weiteren Dentalprodukte nutzen (z.B. Aufhellungsmittel etc.) oder die gewohnten Produkte ändern)
- zustimmen, den Studienrichtlinien Folge zu leisten und an allen Studienterminen teilzunehmen
- zustimmen, innerhalb der zwei Wochen vor dem 6- und 12-Monatsbesuch keine elektiven zahnmedizinischen Behandlungen durchführen zulassen, einschließlich professioneller Zahnreinigungen.

2.3.2 Ausschlusskriterien

Folgende Kriterien führten zum Ausschluss eines Patienten aus der Studie:

- Teilnahme an einer anderen klinischen Zahnputzstudie zum Zeitpunkt der Studie oder innerhalb der letzten 30 Tage vor Beginn der Studie
- Zahnmedizinstudenten oder zahnmedizinisches Fachpersonal/Zahnärzte
- schwere chronische oder infektiöse Krankheiten (z.B. AIDS, Hepatitis etc.)
- jegliche Erkrankungen oder Zustände, welche die Untersuchungsvorgänge oder die sichere Beendigung der Studie behindern könnte
- schlechte Mundhygiene und fehlende Zustimmung, den Studienrichtlinien Folge zu leisten
- jegliche physische Einschränkung, welche die Durchführung normaler Mundhygienemaßnahmen erschwert oder ausschließt
- Schwangerschaft und Stillzeit
- Einnahme jeglicher Medikamente, welche das Ergebnis der Studie beeinflussen könnten, für mindestens drei aufeinanderfolgende Tage innerhalb der letzten 28 Tage vor einem der Untersuchungstermine (z.B. anti-inflammatorische Medikamente, Dilantin, NSAIDs)
- Einnahme jeglicher Medikamente, welche eine Gingivahyperplasie hervorrufen können (Kalziumantagonisten wie Nifedipin, Hydantoin, Cyclosporin)
- bekannte allergische Reaktionen auf die in der Studie verwendeten Materialien oder Produkte

- Erkrankung oder Zustand, welcher eine prophylaktische Antibiotikagabe vor jeder zahnärztlichen Behandlung nötig macht (z.B. Endokarditisprophylaxe)
- Anzeichen für schwerwiegende orale Hard- und Weichgewebsverletzungen beim Screening
- fünf oder mehr kariöse Läsionen, welche eine restaurative Therapie benötigen oder eine aktuelle Parodontitisbehandlung
- schwerwiegende generalisierte parodontale Rezessionen (nach Ermessen des Behandlers)
- parodontale Rezession als Folge einer Parodontitisbehandlung oder chronischer Parodontitis
- zahnmedizinische Behandlung, inklusive professioneller Zahnreinigung, innerhalb von zwei Wochen vor Studienbeginn
- laufende kieferorthopädische Behandlung
- Herzschrittmacher

2.3.3 Fortführungskriterien

Zum Ausschluss eines Probanden während der Studie oder von der Auswertung dieser konnten folgende Ereignisse führen:

- Teilnahme an einer anderen klinischen Zahnputzstudie während des Studienzeitraums
- Nutzung jeglicher Zahnbürste oder Zahnpasta, welche kein Studienprodukt ist oder Verwendung weiterer nicht im Studienprotokoll vorgesehener Mundhygieneprodukte
- Missachtung der Instruktionen für Nutzung und Handhabung der Studienprodukte
- zahnmedizinische Behandlung, inklusive professioneller Zahnreinigung, innerhalb von zwei Wochen vor dem 6- und 12-Monatstermin
- Einnahme jeglicher Medikamente, welche eine Gingivahyperplasie hervorrufen können
- Schwangerschaft und Stillzeit

Kontrolluntersuchungen und Termine für eine professionelle Zahnreinigung beim Hauszahnarzt durften wie gewohnt wahrgenommen werden, sofern sie nicht zwei Wochen vor dem 6- und 12-Monatstermin stattfanden. War eine zahnmedizinische

Behandlung vonnöten, musste das Studienpersonal davon in Kenntnis gesetzt werden und entscheiden, ob die weitere Teilnahme des Probanden an der Studie möglich war. Medikamente durften während des Studienzeitraums weiter eingenommen werden, gesetzt den Fall, dass sie die Studienergebnisse nicht beeinflussten. Alle angegebenen, vom Probanden einzunehmenden Medikamente wurden vom Studienpersonal dokumentiert.

2.4 Indizes und Messvariablen

Orale Untersuchung (OST)

Die Mundhöhle wurde visuell unter Verwendung üblicher Hilfsmittel (Spiegel, Watterolle, Licht, Püster) begutachtet. Untersuchte Strukturen waren die freie und befestigte Gingiva, harter und weicher Gaumen, Oropharynx/Uvula, Wangen- und Lippenschleimhaut, Zunge, Mundboden, Lippen und periorales Gebiet. Verletzungen oder Veränderungen zu Beginn der Studie wurden nach Lokalisation kategorisiert und dokumentiert. Sind während der Studie neue Verletzungen/Veränderungen aufgetreten oder haben sich bereits vorhandene Läsionen/Abweichungen verschlimmert, wurde dies ebenfalls notiert. Ebenso wurde die Zahnhartsubstanz bezüglich vorhandener Restaurationen und Läsionen begutachtet, dokumentiert und bei Bedarf wurde der Proband angewiesen, diese erneuern zu lassen.

Taschentiefondierung (PPD)

Die Taschentiefe wurde mit Hilfe einer PCP 15 (HU-Friedy, Chicago, USA) als Abstand vom Zahnfleischsaum zum Taschenboden ermittelt. Die Sonde wurde im 15 ° Winkel zum Zahn in die Tasche mit ca. 0,25 N eingebracht, bis ein geringer Widerstand am Taschenboden zu fühlen war (Plagmann, 1998). Dies wurde ebenfalls an sechs Stellen pro Zahn (disto- vestibulär, vestibulär, mesio- vestibulär, disto- lingual, lingual, mesio- lingual) durchgeführt und die Werte auf den nächsten Millimeter gerundet.

Attachmentlevel (CAL)

Das klinische Attachmentlevel ist als Abstand von der SZG zum Taschenboden definiert. PPD und CAL wurden während des gleichen Messvorgangs erhoben. Zuerst wurde PPD ermittelt und im zweiten Schritt, als die Sonde auf dem

Taschenboden auflag, wurde CAL erhoben. Folglich wurde CAL ebenfalls an sechs Stellen pro Zahn aufgenommen (disto- vestibulär, vestibulär, mesio- vestibulär, disto- lingual, lingual, mesio- lingual).

Gingivale Rezession (GR)

Die gingivale Rezession, definiert als der Abstand von der SZG zum Zahnfleischsaum, wurde aus der PPD und dem CAL errechnet. Ein negativer Wert bedeutete, dass der Zahnfleischsaum über der SZG lag, war der Zahnfleischsaum unterhalb der SZG lokalisiert, wurde ein positiver Wert dokumentiert. An Zähnen, welche mit Kronen oder Zahnhalsfüllungen versorgt waren, wurde der GR nicht dokumentiert, um eine Verfälschung der Messergebnisse zu vermeiden.

Gingivaverletzungen (GV)

Das Zahnfleisch wurde mit Hilfe der Färbelösung *Mira-2-Tone* Lösung (Hager&Werken GmbH, Duisburg, Deutschland) eingefärbt, um eventuelle Läsionen der Gingiva detektieren zu können (Breitenmoser et al., 1979). Auf Basis des von Danser et al. (1998a) modifizierten Vorgehens wurde die Anzahl von Gingivaverletzungen ≤ 5 und > 5 mm dokumentiert.

2.5 Verwendete Produkte

Die Studienprodukte wurden in Boxen verpackt herausgegeben, welche für die jeweilige Gruppe den unten beschriebenen Inhalt aufwiesen.

Das Etikett einer jeden pseudonymisierten Box enthielt Probandennummer, Inhaltsliste, Notfallrufnummer, Name und Adresse des Vertreibers und Sicherheitshinweise.

Probanden, die in die Testgruppe eingeteilt wurden, erhielten während des zweiten Besuchs (Baseline) ein Produktkit mit folgendem Inhalt:

- einen TriZone[®] Bürstenkopf von Oral-B (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- eine oszillierend- rotierende Triumph 5000 und Smartguide (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- ein Ladegerät (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)

- zwei Tuben Zahnpasta (Blendax Anti Belag (1450 ppm NaF), Blend-a-med[®], the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- Bedienungsanleitung/Instruktion

Das Nachschubkit für die Testgruppe enthielt:

- eine TriZone[®] Bürstenkopf von Oral-B (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- zwei Tuben Zahnpasta (Blendax Anti Belag (1450 ppm NaF), Blend-a-med[®], the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- eine Instruktion

Das der Kontrollgruppe zugeordnete Produktkit beinhaltete Folgendes:

- eine ADA-46-Handzahnbürste (American Dental Association)
- zwei Tuben Zahnpasta (Blendax Anti Belag (1450 ppm NaF), Blend-a-med[®], the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- eine Instruktion

Im Nachschubkit der Kontrollgruppe war enthalten:

- eine ADA-46-Handzahnbürste (American Dental Association)
- zwei Tuben Zahnpasta (Blendax Anti Belag (1450 ppm NaF), Blend-a-med[®], the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA)
- eine Instruktion

2.5.1 TriZone[®] Bürstenkopf und oszillierend-rotierende Triumph 5000 von Oral-B

Die getestete Oral-B TriZone[®], in den USA als Oral-B Deep Sweep/TRICLEAN[®] (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) vermarktet, führt eine oszillierende Seitwärtsbewegung verschiedener Borstenreihen aus, welche sich in drei Zonen gliedern lassen (Mielczarek et al., 2012) (Abb. 6):

Zone 1: Die 'Power Tip' für schwer erreichbare Molaren

Die hellblauen Borsten an der Spitze der Zahnbürste sollen laut Herstellerangaben besonders gut dafür geeignet sein, distale Zähne und den vorderen lingualen Bereich zu reinigen. Die beweglichen, nach vorn gewinkelten Büschel scheren weit aus, um ein zusätzliches Erreichen der approximalen Bereiche zu ermöglichen.

Zone 2: Die handzahnbürstenähnlichen, stillstehenden Borsten für die Reinigung der Zahnoberfläche

Diese dunkelblauen Borsten stehen versetzt mit den weißen, beweglichen Büschelreihen. Ihre Bewegung wird durch den Anwender kontrolliert, wie dies auch bei einer Handzahnbürste der Fall wäre.

Zone 3: Die ausscherenden, pulsierenden Borsten für die Zahnzwischenraumreinigung

Die beweglichen, interdentalen Büschel und dunkelblauen, stationären Borsten funktionieren synergetisch. Die versetzte Struktur soll es ermöglichen, dass proximale Bereiche besser erreicht werden und die beweglichen Filamente senkrecht zur manuellen Putzbewegung ausscheren. Die multi- direktionale Bewegung der mehr als 2000 Filamente wird durch 7600- 8800 Richtungsänderungen pro Minute realisiert. Obwohl sich der Bürstenkopf in Form und Größe an einer Handzahnbürste orientiert, ist er doch kleiner gestaltet, um posteriore Areale besser erreichen zu können. Mit Hilfe des SmartGuides® werden zusätzlich die Putzdauer und der Anpressdruck beim Zähneputzen dargestellt.



Abb. 6: Schematische Darstellung der oszillierenden Borstenbewegung der EZB mit Beschriftung der unterschiedlichen Borstenreihen.

2.5.2 ADA- Handzahnbürste

Der Kontrollgruppe wurde eine standardisierte Referenzzahnbürste (ADA-American

Dental Association, Chicago, USA) ausgehändigt. Die ADA-46-Handzahnbürste ist rechteckig geformt, ca. 28 mm lang, 10 mm breit und 11,5 mm hoch. Sie weist 12 Borstenreihen mit insgesamt 47 Büscheln auf und hat ein flaches Profil (Abb. 7). Die Filamente sind endgerundet, zylindrisch geformt und vertikal angeordnet. Obwohl diese Handzahnbürste als eine weiche Zahnbürste charakterisiert wird, liegt die Härte/Steifigkeit bei $6,44 \text{ cN/mm}^2$, was im mittleren Bereich ($6,0\text{-} 9,0 \text{ cN/mm}^2$) einzustufen ist (Ren et al., 2007).

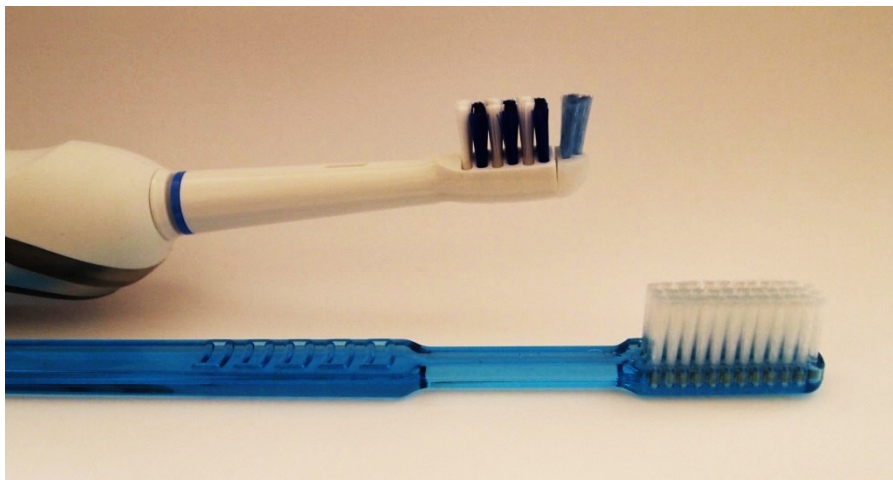


Abb. 7: Foto der getesteten elektrischen Zahnbürste Oral-B TriZone® (the Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) (oben) und der ADA-Handzahnbürste (American Dental Association, Chicago, USA) (unten) in der Seitenansicht.

2.6 Vermessung des Borstenfelds

Um eine stets reproduzierbare Position für die Kamera als auch für die zu untersuchenden Zahnbürsten zu gewährleisten, wurde zum Fotografieren der Zahnbürsten eine eigens dafür angefertigte Apparatur genutzt. Der Aufbau bestand aus einer horizontalen Holzplatte, auf der eine quadratische Legoplatte leicht überlappend befestigt wurde. Eine weitere längliche Legoplatte wurde vertikal im 90° Winkel zur horizontalen Legoplatte an der Holzplatte befestigt (Abb. 8). Halter, die an definierten Punkten auf der Legoplatte festgemacht werden konnten, wurden zur exakten Repositionierung aller Zahnbürsten gebaut. Es gab insgesamt vier solcher Vorrichtungen, für jede Zahnbürste jeweils eine für das seitliche und eine für das frontale Bild. Mit Hilfe eines Stativs wurde die Kamera mit 100 mm Macro-Zoom (Canon EOS D20, Tokyo, Japan) 20 cm über dem Aufbau ausgerichtet (Abb. 8). Für

die spätere Kalibrierung und Vermessung der digitalen Fotos wurde ein Legostein mit einer Kantenlänge von 8 mm neben dem Bürstenkopf in jedem Bild mitfotografiert.

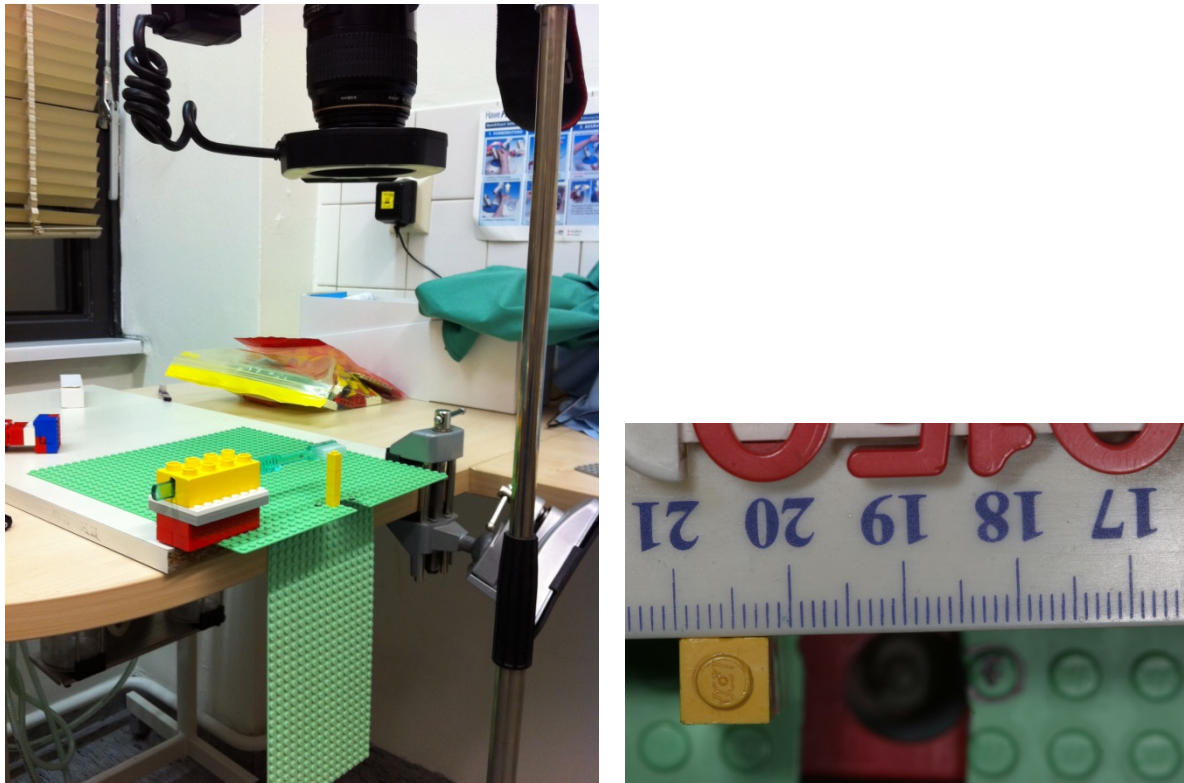


Abb. 8: Standardaufbau für das Fotografieren der Studienzahnbürsten. Für jede Ansicht (oben/Seite) gab es eine Halterung, die auf der Legoplatte befestigt wurde. Das Stativ war genau 20 cm über dem Bürstenkopf ausgerichtet. Als Referenz diente ein Legostein mit einer Kantenlänge von genau 8 mm.

Nach Abgabe der Zahnbürstenköpfe beziehungsweise Handzahnbürsten wurden diese desinfiziert (Bacillo[®], Paul Hartmann AG, Heidenheim, Deutschland), an der Luft für 30 min getrocknet und anschließend nach dem oben beschriebenen reproduzierbaren Verfahren fotografiert. Für die digitale Vermessung des Borstenfelds wurde ein Bildverarbeitungsprogramm (ImageJ, Wayne Rasband, NIH, public domain) genutzt. Zur Vermessung musste die Pixeleinheit ins Metrische konvertiert werden, hierfür wurde die Kante-Kante-Streckenlänge des Legosteins abgemessen und die kalibrierte Kantenlänge von 8mm festgesetzt (Abb. 9).



Abb. 9: Prozess des Kalibrierens im Bildverarbeitungsprogramm Image J (ImageJ, Wayne Rasband, NIH, public domain)

Um die Auffächerung des Borstenfelds zu bestimmen, kam der BSI nach Ren et al. (2007) zum Einsatz (Abb. 10).

Die Formel lautet:

$$\text{BSI (\%)} = ((a' - a)/a + (b' - b) / b + (c' - c) / c + (d' - d) / d)/4 \times 100$$

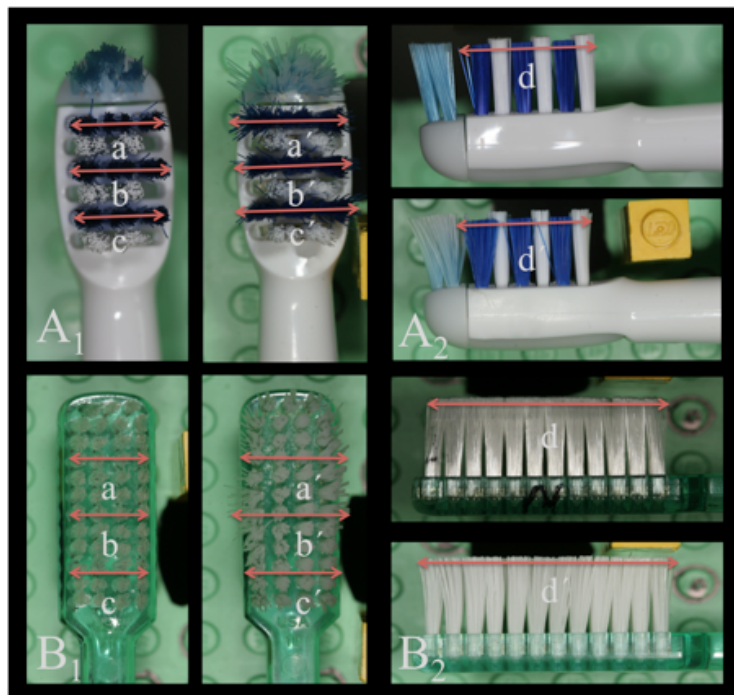


Abb. 10: Messpunkte zur Berechnung des Bristle Splaying Index (BSI). Der BSI ist der Mittelwert der 3 Borstenreihen einer unbenutzten (a, b, c) und benutzten Zahnbürste nach 3 Monaten (a', b', c') in der Aufsicht (A₁ und B₁) und Seitenansicht (d, d'). (A₂ und B₂), oben beispielhaft für eine EZB und in der unteren Bildhälfte für die HZB. $\text{BSI (\%)} = ((a' - a)/a + (b' - b)/b + (c' - c)/c + (d' - d)/d)/4 \times 100$.

In der Flächenansicht werden jeweils drei Filamentbüschelreihen abgemessen, im Profilbild der Zahnbürste wird die gesamte Länge des Borstenfelds bestimmt. Um die Veränderung der Zahnbürstenfläche zu errechnen, wird eine ungenutzte Zahnbürste zur Gebrauchten ins Verhältnis gesetzt. Hierfür wurden jeweils die Borstenfelder von fünf neuen Zahnbürsten vermessen und der Mittelwert einer jeden Strecke wurde kalkuliert. Diese Werte wurden als feste Variablen in der Formel des BSI verwendet (a, b, c, d für die Mittelwertlängen der neuen Zahnbürsten, a', b', c', d' für die Werte der gebrauchten Studienprodukte).

Nach dem digitalen Vermessen aller Borstenköpfe in der Test- und Kontrollgruppe wurden die Ergebnisse in Excel (Excel 2011 für Mac OS, Microsoft Corporation, Redmond, USA) übertragen, in die Formel eingesetzt und der BSI rechnerisch im Programm ermittelt.

Zur Standardisierung des BSI wurde der Wert durch die Anzahl der genutzten Tage geteilt. So ergab sich die prozentuelle Veränderung des Borstenfelds pro Tag (BSI/t).

2.7 Datenerfassung und Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 20[®] (IBM North America, New York, USA). Die primäre Zielgröße der Studie war die durchschnittliche Veränderung des BSI im vorgegebenen Nutzungszeitraum. Außerdem wurde die Veränderung der bestehenden gingivalen Rezessionen (pre-GR) von $\geq 1\text{mm}$ und die Anzahl und Größe von GV analysiert. Zur Analyse des Einflusses der Nutzungsdauer auf die Größe des BSI wurden die Zahnbürsten aufsteigend nach ihrer Nutzungszeit sortiert (Periode 1-4) und ausgewertet.

Veränderungen innerhalb einer Gruppe wurden mittels des nicht parametrischen Wilcoxon Tests für verbundene Stichproben ermittelt, Unterschiede zwischen den Gruppen wurden durch den nicht parametrischen Mann-Whitney-U Test beziehungsweise den Friedman Test für multiple Testung beurteilt.

In einer multiplen Regressionsanalyse wurden schrittweise die Faktoren Alter, Geschlecht, Nutzungszeit, Anzahl der bestehenden GR und der BSI, der Größe nach aufgeteilt in Quartile mit der Veränderung der GR über 12 Monate korreliert. Das finale Messergebnis wurde durch zwei Kategorien definiert: verbesserte GR und unveränderte beziehungsweise verschlechterte GR.

Um die Zuverlässigkeit der Messergebnisse für den BSI zu testen, wurde ein Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) genutzt. Alle statistischen Analysen waren auf Ebene des Patienten, zweiseitig und ein Level von $p < 0,05$ wurde als signifikant angesehen. Um eine Intention-to-Treat-Analyse zu ermöglichen, wurden fehlende Daten mittels der Last-observation-carried-forward-Methode ersetzt.

3 Ergebnisse

3.1 Demografische Analyse

Insgesamt wurden 110 Probanden für die Studie rekrutiert, von denen jeweils 55 in die Testgruppe und 55 in die Kontrollgruppe eingeteilt wurden. Von diesen gaben 55 mindestens einen gebrauchten elektrischen Bürstenkopf und 54 Teilnehmer mindestens eine benutzte HZB zurück, sodass die Ergebnisse von insgesamt 109 Probanden in die statistische Auswertung mit einbezogen werden konnten. Das durchschnittliche Alter der Studienteilnehmer lag bei 31,1 [20 - 70] Jahren. Bezüglich des Alters, des Geschlechts, des Rauchverhaltens und der Händigkeit (rechts/links) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt werden ($p > 0,05$) (Tab. 1).

Tabelle 1: Demografische Daten der Probanden bei Baseline (HZB Gruppe: ADA manuelle Referenzzahnbürste; EZB Gruppe: multi-direktionale elektrische Zahnbürste (Oral-B TriZone®); MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung)

	EZB Gruppe n=55	HZB Gruppe n=54	insgesamt n=109
Alter (Jahre)			
MW±SD	32,0±12,5	30,2±9,7	31,1±11,2
Spanne	20-70	20-57	20-70
Geschlecht			
weiblich	31 (56,4%)	32 (59,3%)	63 (57,8%)
männlich	24 (43,6%)	22 (40,7%)	46 (42,2%)
Rauchverhalten			
Raucher	7 (12,7%)	7 (13,0%)	14 (12,8%)
Nichtraucher	48 (87,3%)	47 (87,0%)	95 (87,2%)
Händigkeit			
Rechtshänder	50 (90,9%)	52 (96,3%)	102 (93,6%)
Linkshänder	5 (9,1%)	2 (3,7%)	7 (6,4%)
Vor Studienbeginn genutzte ZB			
Handzahnbürste	27 (49,1%)	38 (70,4)	65 (59,6%)
Elektrische Zahnbürste	28 (50,9%)	16 (29,6%)	44 (40,4%)

3.2 Der Bristle Splaying Index (BSI) und die Nutzungsdauer

Die Zuverlässigkeit zwischen den beiden Zahnbürstenvermessungen, welche mit Hilfe des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) errechnet wurde, lag für die EZB bei 0,997 (95 %-Konfidenzintervall: 0,994; 0,998). Die Messergebnisse der HZB waren ähnlich verlässlich bei 0,907 (0,843; 0,945).

Der BSI war in der Testgruppe, welche mit der EZB über den Studienzeitraum putzte, signifikant niedriger ($7,74 \pm 9,85$ %) verglichen mit der manuell putzenden Kontrollgruppe ($24,31 \pm 12,72$ %). Die Spannweite der Messergebnisse umfasste für die EZB-Werte von -3,66 bis 57,03 %. Für die HZB lag der BSI zwischen 7,39 und 59,91 %. Diese Daten waren unabhängig vom Untersuchungszeitpunkt ($p < 0,001$) (Abb. 11).

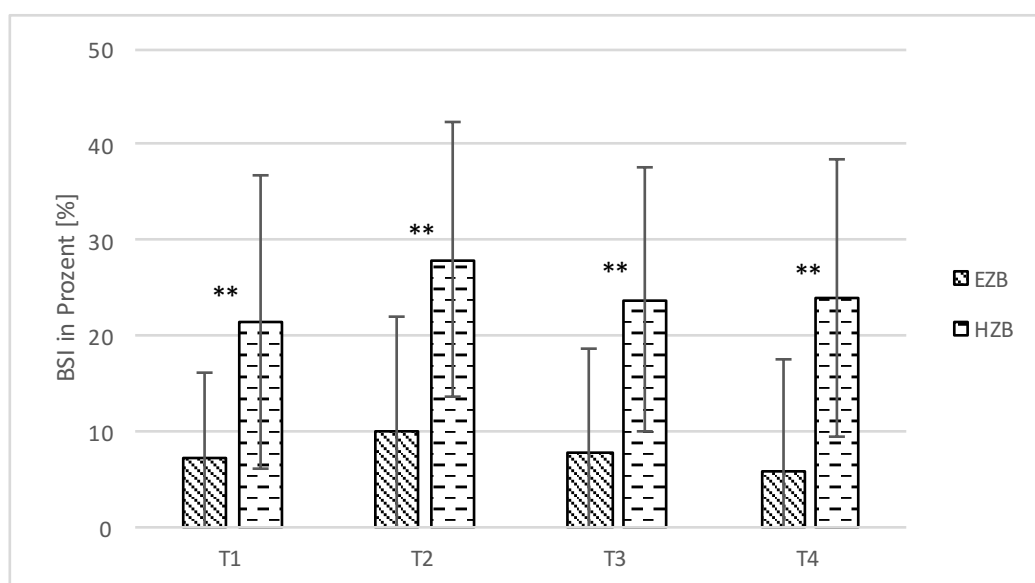


Abb. 11: Mittelwert \pm SD des Bristle-Splaying-Index (BSI) (in %) für die EZB (Oral-B TriZone[®]) und HZB (ADA) an allen 4 Terminen (T1 (3 Monate), T2 (6 Monate), T3 (9 Monate), T4 (12 Monate)).

** $p < 0,001$ (Mann-Whitney-U Test)

Da nicht alle Studienzahnbürsten zum gleichen Zeitpunkt zurückgegeben wurden, wurde der BSI durch die Nutzungszeit dividiert. Diese Größe, der BSI/t, war für die EZB ebenfalls signifikant niedriger ($0,09 \pm 0,11$) als für die HZB ($0,24 \pm 0,24$) ($p < 0,05$). Während der vier Termine, an welchen die Zahnbürsten beziehungsweise Bürstenköpfe ausgetauscht wurden (T1 - T4), war der BSI/t innerhalb der Gruppen immer nahezu gleich groß, ohne signifikante Veränderungen zwischen den Zeitpunkten ($p > 0,05$) (Tab. 2).

Tabelle 2: Mittelwert \pm SD des BSI standardisiert für den Nutzungszeitraum der beiden Zahnbürsten (BSI/T) für die EZB und HZB an den verschiedenen Austauschzeitpunkten (T1-4). Unterschiede zwischen den Gruppen wurden durch den nicht parametrischen Friedmann Test für Mehrfachprüfung ermittelt.

	BSI/t	
	EZB	HZB
T1	0,09 \pm 0,11	0,23 \pm 0,32
T2	0,09 \pm 0,11	0,27 \pm 0,33
T3	0,10 \pm 0,14	0,20 \pm 0,26
T4	0,07 \pm 0,15	0,25 \pm 0,30
Friedmann test	0,196	0,255

Der BSI stieg jedoch nach circa 100 Tagen signifikant gegenüber dem BSI nach circa 85 Tagen an (EZB: $p = 0,006$; HZB: $p = 0,001$) (Tab. 3).

Tabelle 3: Bristle splaying Index (BSI) innerhalb der Gruppen sortiert nach dem Nutzungszeitraum (in Tagen).

* Wilcoxon test

	n		Nutzungszeitraum [Tage]	BSI [%]	p-Wert*
EZB	55	Periode 1	74,36 \pm 7,08	6,41 \pm 10,99	Perioden 1 – 3 >0,05
		Periode 2	82,09 \pm 3,67	6,80 \pm 8,83	
		Periode 3	88,27 \pm 6,20	7,94 \pm 11,45	
		Periode 4	110,18 \pm 5,38	9,83 \pm 12,13	Perioden 3 – 4 0,006
HZB	54	Periode 1	71,28 \pm 11,03	23,55 \pm 14,02	Perioden 1 – 3 >0,05
		Periode 2	77,93 \pm 8,50	22,79 \pm 14,97	
		Periode 3	85,81 \pm 10,33	23,72 \pm 14,81	
		Periode 4	103,56 \pm 14,61	28,04 \pm 14,76	Perioden 3 – 4 0,001

Probanden, welche der Kontrollgruppe zugeordnet waren, vor Studienbeginn allerdings eine elektrische Zahnbürste verwendeten, zeigten beim ersten Zahnbürstenaustausch (T1) einen signifikant niedrigeren BSI (15,28 \pm 12,14 %) als jene, die schon immer mit einer HZB putzten (24,12 \pm 15,89 %; $p = 0,03$). An allen weiteren Terminen (T2 - T4) war in beiden Gruppen die vor Studienbeginn benutzte Zahnbürste nicht mehr von entscheidender Bedeutung ($p > 0,05$).

Tabelle 4: Mittelwert \pm SD des Bristle-Splaying-Index (BSI) am Zeitpunkt des Zahnbürstenaustauschs an T1 (3 Monate), T2 (6 Monate), T3 (9 Monate) und T4 (12 Monate) sortiert nach den Probanden in der Test- bzw. Kontrollgruppe, die zuvor manuell bzw. elektrisch putzten.

	Vor Studienbeginn genutzte ZB	n	BSI an T1 (Mittelwert \pm SD)	BSI an T2 (Mittelwert \pm SD)	BSI an T3 (Mittelwert \pm SD)	BSI an T4 (Mittelwert \pm SD)	BSI 1 (p-Wert)	BSI 2-4 (p-Wert)
EZB	manuell	27	6,86 \pm 8,80	10,09 \pm 13,00	8,53 \pm 13,21	6,04 \pm 14,13	>0,05	>0,05
	elektrisch	28	7,77 \pm 9,13	9,82 \pm 11,20	7,05 \pm 7,93	5,81 \pm 8,98		
HZB	manuell	38	24,12 \pm 15,89	29,36 \pm 15,59	24,89 \pm 14,21	26,26 \pm 15,42	0,030	>0,05
	elektrisch	16	15,28 \pm 12,14	24,75 \pm 11,14	21,10 \pm 12,62	18,49 \pm 10,90		

3.3 Gingivale Rezession und Gingaverletzung

Die Anzahl und Größe der GR unterschieden sich zwischen Test- und Kontrollgruppe während des Beobachtungszeitraums nicht signifikant (Baseline: EZB: 1,77 \pm 0,33 mm; HZB: 1,75 \pm 0,30 mm; $p > 0,05$). Während der 12-monatigen Studiendauer verbesserten sich die pre-GR signifikant in der Testgruppe (EZB: Δ 0,21 \pm 0,09 mm; $p < 0,001$) und blieben in der Kontrollgruppe konstant (HZB: Δ 0,06 \pm 0,05 mm; $p > 0,05$), ohne statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ($p > 0,05$).

Im Gegensatz zu den GR stieg die Zahl der GV von Baseline (EZB: 0,95 \pm 1,77; HZB: 0,61 \pm 0,86) bis zum 6-Monatstermin in beiden Gruppen an (EZB: 1,64 \pm 1,85; HZB: 1,94 \pm 2,27). Die Probanden, welche mit der HZB putzten, wiesen auch nach 12 Monaten eine ähnlich hohe Anzahl gingivaler Läsionen auf (t3: 1,74 \pm 1,93; $p < 0,001$). Dahingegen sanken die GV in der Testgruppe in den letzten sechs Monaten wieder signifikant, sogar leicht unter Baselinenniveau (t3: 0,93 \pm 1,32; $p = 0,017$). Erst nach 12 Monaten unterschied sich die Anzahl der GV zwischen beiden Gruppen signifikant ($p = 0,012$).

Tabelle 5: Mittelwert \pm SD der Gingivaverletzungen (GV) an den drei Untersuchungszeitpunkten.

* Wilcoxon test

	Zeitpunkt	N	GV Mittelwert\pmSD	p-Wert*
EZB	Baseline	55	0,95 \pm 1,77	t1-t2: p=0,047
	6 Monate		1,64 \pm 1,85	t2-t3: p=0,017
	12 Monate		0,93 \pm 1,32	t1-t3: p=0,752
HZB	Baseline	54	0,61 \pm 0,86	t1-t2: p<0,001
	6 Monate		1,94 \pm 2,27	t2-t3: p=0,650
	12 Monate		1,74 \pm 1,93	t1-t3: p<0,001

3.4 Regressionsanalyse

In dem 12-monatigen Beobachtungszeitraum waren weder Alter, Geschlecht noch Nutzungsdauer signifikant mit der Veränderung der GR assoziiert.

Die Anzahl der bei Baseline gemessenen pre-GR hatte einen signifikanten Einfluss auf die Veränderung der GR. Probanden, die viele pre-GR aufwiesen, hatten nach den 12 Monaten des Untersuchungszeitraums eine erhöhte Chance auf verbesserte GR (EZB: $p < 0,008$; HZB: $p < 0,002$).

Die Probanden der Kontrollgruppe, welche einen sehr hohen BSI aufwiesen (4. BSI-Quartil) hatten ein signifikant erhöhtes Risiko für unveränderte und/oder verschlechterte GR ($p = 0,019$).

Tabelle 6: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse: unabhängige Variablen = Veränderung der pre-GR über einen Zeitraum von 12 Monaten (verbessert oder unverändert/verschlechtert)

OR- odds ratio/Quotenverhältnis; KI- Konfidenzintervall; Ref.- Referenz

Multiple Regressionsanalyse			
Gruppe	abhängige Variablen	OR (95%-KI)	p-Wert
EZB	Geschlecht (Ref.: weiblich)	4,472 (0,994;20,124)	0,051
	Alter (pro Jahr)	1,026 (0,963;1,094)	0,431
	Anzahl der pre-GR bei Baseline	0,734 (0,584;0,921)	0,008
	durchschnittlicher Nutzungszeitraum (pro Tag)	0,744 (0,387;1,431)	0,375
	1. BSI Quartil(Ref.)		
	2. BSI Quartil	1,365 (0,203;9,167)	0,749
	3. BSI Quartil	0,652 (0,082;5,189)	0,686
HZB	4. BSI Quartil	1,043 (0,132;8,249)	0,968
	Geschlecht (Ref.: weiblich)	0,442 (0,091;2,148)	0,312
	Alter (pro Jahr)	1,078 (0,985;1,180)	0,101
	Anzahl der pre-GR bei Baseline	0,790 (0,567;0,885)	0,002
	durchschnittlicher Nutzungszeitraum (pro Tag)	1,081 (0,988;1,183)	0,089
	1. BSI Quartil (Ref.)		
	2. BSI Quartil	3,194 (0,435;23,468)	0,254
3. BSI Quartil	3,591 (0,492;26,211)	0,208	
4. BSI Quartil	27,936 (1,723;452,959)	0,019	

4 Diskussion

Viele Menschen nutzen täglich eine Zahnbürste, um Zahnfleisch und Zähne vom oralen Biofilm zu befreien und die Mundgesundheit aufrecht zu erhalten. Allerdings scheinen genau die Bevölkerungsschichten, welche einen hohen Mundhygienestandard aufweisen, auch gefährdeter, nicht entzündliche Gingivarezessionen zu entwickeln (Serino et al., 1994; Daprile et al., 2007). Deshalb scheint es nicht verwunderlich, dass viele Studien die traumatisierende Wirkung von Zahnbürsten, beziehungsweise den Einfluss des Zahnputzverhalten auf die Entstehung von gingivalen Rezessionen untersucht haben und einen Zusammenhang nicht ausschließen (Loe et al., 1992; McCracken et al., 2009). Die Forschungsgruppen um Rajapakse et al. (2007) und Heasman et al. (2015) kritisierten in ihren Reviews jedoch, dass es noch immer an aussagekräftigen Studien mangelt, welche die Entstehung gingivaler Rezessionen durch inadäquate Mundhygiene oder traumatisierende Beschaffenheit der Zahnbürste eindeutig bestätigen. Ein bis dato noch kaum beachteter Faktor in der Diskussion um die Ätiologie der Gingivarezessionen ist die Abnutzung der Zahnbürste. Ziel der zugrundeliegenden wissenschaftlichen Arbeit war es daher, die durch Gebrauch entstehende Auffächerung des Borstenfeldes zu ermitteln und ihren Zusammenhang mit dem Fortschreiten bestehender gingivaler Rezessionen zu investigieren.

Um die Borstenfeldauffächerung und somit das Ausmaß der Abnutzung der Zahnbürsten zu ermitteln, wurde in der vorliegenden Untersuchung die modifizierte Vorgehensweise von Ren et al. (2007) genutzt. Obwohl auch andere Methoden, wie in der Einleitung beschrieben, in Betracht gezogen wurden, bot die Methode nach Ren et al. (2007) eine gute Reproduzierbarkeit und geringe Fehleranfälligkeit. Der WR-Index von Rawls et al. (1989), fand keine Anwendung, da dieser zu subjektiv und schlecht nachvollziehbar schien. Auch erschien die digitale Pixelanalyse des Borstenfeldes nach Daly et al. (1996) für unsere Messungen zu umständlich und fehleranfällig. Der Bürstenkopf der Oral-B TriZone[®] weist nämlich sowohl stationäre als auch dynamische Borstenreihen auf, welche für ein Foto nur schwer reproduzierbar zu fixieren waren. Dies bedeutet, dass sich das Borstenfeld aufgrund der beweglichen Filamente in jedem Foto anders dargestellt hätte. Auch war für eine exakte Umrandung des Borstenfeldes der Kontrast zwischen weißen Borsten und hellem Untergrund teilweise zu gering. Zusätzlich ist die digitale Umrandung des

Bürstenfeldes sehr zeitintensiv und einzelne abstehende Borsten hätten das Messergebnis verfälschen können.

Sowohl für die elektrische Zahnbürste als auch für die Handzahnbürste lag der Interkorrelationskoeffizient der Vermessung bei knapp unter 1. Das ist eine hohe Korrelation und erlaubt Rückschlüsse darauf, dass der BSI eine gut reproduzierbare Vermessungsmethode darstellt und der Vermessungsvorgang und die BSI-Berechnung korrekt waren. Allerdings weist auch das Vorgehen nach Ren et al. (2007), trotz guter Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit, Limitationen auf. Neben der Auffächerung des Borstenfeldes als Folge des täglichen Gebrauchs, ist es auch möglich, dass einzelne Borsten durch Lagerung oder Transport ausgelenkt worden sind und abstanden. Durch das Bereitstellen von Transportboxen und die beschriebene Konditionierung der Zahnbürsten (siehe Absatz 2.6) vor dem Fotografieren wurde versucht, dieses Risiko so gering wie möglich zu halten. Nichtsdestotrotz wurden einzelne abstehende Borsten in die Messung mit einbezogen, da nicht nachvollziehbar bestimmt werden konnte, ob Lagerung, Transport oder eben der Gebrauch für die Borstenaufbiegung verantwortlich waren. Im Falle dessen, dass nicht wie angenommen das Zähneputzen allein die Vergrößerung des Borstenfeldes hervorgerufen hatte, könnte dies die Ergebnisse beeinflusst haben. Eine weitere Fehlerquelle bietet das individuelle Verschleißmuster einer jeden Zahnbürste, welches durch verschiedene Putzgewohnheiten und -techniken entsteht (Rawls et al., 1989). Nach der Methode von Ren et al. (2007) wird die Borstenfeldbreite in der Aufsicht an drei Stellen gemessen, im Falle der Handzahnbürste waren dies die dritte, sechste und neunte Filamentreihe. Auch wurden nur die statischen Borsten der elektrischen Testzahnbürste berücksichtigt. Die oszillierenden Borstenreihen wurden nicht in die Messung mit einbezogen um Verfälschung zu vermeiden. Sollte sich folglich die Abnutzung gerade an nicht vermessenen Borstenreihen bemerkbar gemacht haben, konnte dies im BSI nicht berücksichtigt werden.

Des Weiteren haben nicht alle Probanden ihre benutzte Zahnbürste am gleichen Tag abgegeben. Dies bedeutet, dass einige Zahnbürsten länger im Gebrauch waren und demzufolge vermutlich einen höheren Verschleiß aufwiesen. Um diesen Umstand zu kompensieren, wurde der BSI durch die Anzahl der Nutzungstage dividiert. Dieses Vorgehen setzt jedoch voraus, dass die Abnutzung einer Zahnbürste ein linearer Prozess ist und sich das Borstenfeld täglich um den gleichen Wert auffächert. Es ist

allerdings zu vermuten, dass die Borstenfeldveränderung ein eher unregelmäßiger, nicht linearer Vorgang ist. Diese Hypothese wird auch von der Feststellung bestätigt, dass der BSI der Studienzahnbürsten nach circa 100 Tagen signifikant angestiegen war, verglichen mit dem BSI nach circa 85 Tagen. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, dass die Zahnbürste einem kontinuierlichen Abnutzungsprozess unterliegt, bis ein bestimmter Ermüdungsgrad der Borsten, welcher materialspezifisch und für jeden Zahnbürstentyp individuell sein wird (Van Nuss et al., 2010), erreicht ist. Danach steigt der Abnutzungsgrad möglicherweise schneller an, was sich in der Folge wiederum durch einen signifikant höheren BSI bemerkbar macht.

Hingegen eindeutig war der BSI in der Testgruppe zu jedem Zeitpunkt signifikant niedriger ($7,74 \pm 9,85 \%$) als in der Kontrollgruppe (HZB: $24,31 \pm 12,72 \%$). Diese Ergebnisse gelten auch für den BSI/t (EZB: $0,09 \pm 0,11$; HZB: $0,24 \pm 0,24$; ($p < 0,05$)). Somit wurde die Hypothese bestätigt, dass die Handzahnbürste nach dreimonatigem Gebrauch während des einjährigen Beobachtungszeitraums einen höheren BSI gegenüber der elektrischen Zahnbürste aufwies.

Nur eine weitere Studie verglich auf ähnliche Art die Zahnbürstenabnutzung zwischen einer elektrischen und manuellen Zahnbürste (McCracken et al., 2009) und fand keinen signifikanten Unterschied zwischen den Studienobjekten bezüglich der Verschleißerscheinungen. McCracken et al. (2009) verglichen eine Schallzahnbürste (Philips Sonicare Elite; Philips Oral Healthcare Inc., Snoqualmie, WA, USA) mit einer konventionellen Handzahnbürste in einer longitudinalen, einfach-verblindeten, randomisierten klinischen Studie mit zwei parallelen Gruppen. Ein Grund für die abweichenden Ergebnisse könnten die Unterschiede in der Antriebsart sowie im Bewegungsmuster der getesteten elektrischen Zahnbürsten sein. Man könnte hypothetisieren, dass Ultraschallzahnbürsten allgemein, oder zumindest die in der Studie von McCracken et al. (2009) getestete Bürste, weniger abnutzungsresistent sind.

Weitere Studien, welche sich allein mit der Abnutzung und dem zu empfehlenden Nutzungszeitraum einer Schallzahnbürste befassen, waren nicht zu finden. Untersuchungen, die allerdings die Reinigungsleistung und Gingivitisreduktion von rotierend-oszillierenden Zahnbürsten im Vergleich zu Schallzahnbürsten untersucht haben, befanden erstgenannte als überlegen (Grossman et al., 1995; Putt et al., 2001; Buchel et al., 2014). Leider war der Beobachtungszeitraum bei fast allen

gefundenen Studien zu kurz, um Rückschlüsse auf das individuelle Verschleißverhalten von Schallzahnbürsten ziehen zu können. Zudem wurde in der vorliegenden Studie eine besondere Bürstenkopfmehchanik mit einem neuartigen Bewegungsmuster untersucht. Der Bürstenkopf der getesteten elektrischen Zahnbürste führt eine zur Seite schwingende, oszillierende Bewegung durch, welche nur schwer mit der von anderen, seien es rotierend oszillierende oder schallbetriebene Zahnbürsten, verglichen werden kann. Möglicherweise kann jedoch eine Erklärung in der Beschaffenheit der Borsten gefunden werden. Die Ergebnisse von Ren et al. (2007) deuten darauf hin, dass die Steifigkeit der Borsten keinen Einfluss auf die Abnutzung hat. Überraschenderweise zeigte sogar die Zahnbürste mit den weichsten Borsten die geringste Auffächerung. Van Nuss et al. (2010) vermuteten, dass die Nylonborsten der getesteten Zahnbürsten unterschiedliche chemische Kompositionen haben und dass dies zu den variierenden Verschleißergebnissen geführt haben könnte. Zudem muss auch der Einfluss der Zahnpasta als abrasives Medium bedacht werden. Dyer et al. (2000) kamen zu dem Schluss, dass Zähneputzen mit Wasser allein zu keiner signifikanten Abrasion der Zahnhartsubstanz führte, wohingegen die Verwendung von Zahnpasta einen höheren Abrieb erzeugte. Neben den Effekten, die Zahnpasta auf das Zahnhart- und weichgebe ausübt, könnte man hypothetisieren, dass auch die Borsten einer Zahnbürste durch die Zahnpasta unterschiedlich beeinflusst werden können und gegebenenfalls schneller abnutzen. Allerdings kann auch zu diesen Vermutungen keine Aussage über die von McCracken et al. (2009) genutzte Schallzahnbürste und Zahnpasta und die in dieser Studie untersuchte elektrischen Zahnbürste und Zahnpasta getroffen werden. Schlussendlich vermuten einige Autoren, die beim Zähneputzen aufgebrachte Kraft könne zu einer erhöhten Abnutzung der Zahnbürste führen (McLey et al., 1997). Über den Anpressdruck, der von den Probanden in der Studie von McCracken et al. (2009) mit der bereitgestellten Schallzahnbürste ausgeübt worden ist, kann ebenfalls nur spekuliert werden. Den Probanden der vorliegenden Studie, welche mit der elektrischen Zahnbürste putzen sollten, wurde allerdings ein Drucksensor und ein Display bereitgestellt (SmartGuide[®], Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA). Während des Putzens war bei zu starkem Druck ein Warnsignal wahrzunehmen und auch die Putzzeit wurde angezeigt. Obwohl wissenschaftliche Daten über den Einfluss der beim Putzen aufgebrachten Kraft auf den Verschleiß einer Zahnbürste rar sind, untersuchte zumindest eine

Studie den Zusammenhang der beiden Faktoren. Pugh (1978) maß während des Zähneputzens applizierte Kräfte zwischen 4 und 20 N. Aus seinen Ergebnissen schlussfolgerte er, dass Kräfte unter 6 N nicht zu einer verstärkten Abnutzung der Zahnbürste führten. Folglich kann man konkludieren, dass ein Anpressdruck über 6 N zu einem erhöhten BSI führen könnte. Die getestete elektrische Zahnbürste alarmierte den Nutzer bereits, wenn eine Kraft von 3 N überschritten wurde (Firmeninformation). Da Probanden der Kontrollgruppe keine Überprüfung ihrer Putzleistung und des ausgeübten Druckes während des Zähneputzens hatten, ist zu vermuten, dass sie eine höhere Anpresskraft aufbrachten. Diese Annahme wird auch durch mehrere Studien gestützt (Janusz et al., 2008; Wiegand et al., 2013). Es wurde herausgefunden, dass manuell putzende Probanden eine durchschnittlich 100 g höhere Putzkraft ausübten als jene, die eine elektrische Zahnbürste nutzten. Dies lässt sich nochmals besser nachvollziehen, wenn man bedenkt, dass ein manuelles Putzen per se einen deutlich kraftintensiveren Vorgang gegenüber der Anwendung von elektrischen Zahnbürsten darstellt, in deren Fall die notwendige Arbeit ja von einem Elektromotor erzeugt wird und nicht durch die Muskeln des Anwenders. Ungeachtet dessen und darüber hinaus reduzierte sich der Anpressdruck noch einmal signifikant, wenn während des elektrischen Putzens ein Drucksensor mit Display genutzt wurde (Janusz et al., 2008).

Interessanterweise zeigten Probanden, welche der Kontrollgruppe zugeordnet wurden, vor Studienbeginn allerdings eine elektrische Zahnbürste verwendeten, beim ersten Zahnbürstenaustausch einen signifikant niedrigeren BSI als jene, die schon immer mit einer Handzahnbürste putzten ($p = 0,03$). An allen weiteren Terminen (T2 - T4) war in beiden Gruppen die vor Studienbeginn benutzte Zahnbürste nicht mehr von entscheidender Bedeutung ($p > 0,05$). Verhaltensstudien bewiesen, dass Reinstruktion und Motivation hilfreich dabei sein können, eine gute Mundhygiene dauerhaft aufrechtzuerhalten (Roscher et al., 2004). In einer 10-jährigen Studie von Hugoson et al. (2003) wurde beobachtet, dass Probanden zwar nicht ihr Wissen über Mundhygienemaßnahmen vergaßen, allerdings das Putzverhalten und die Reinigungseffektivität nach einem längeren Zeitraum ohne Reinstruktion signifikant sanken. Daraus kann man schlussfolgern, dass das angestrebte Zahnputzverhalten wieder nachlässt, wenn regelmäßige, erneute Einweisung fehlt. Graetz et al. (2013) ließen Probanden über einen Zeitraum von sechs Wochen täglich mit einer Handzahnbürste in Kombination mit einem digitalen Überwachungs- und

Trainingsprogramm (digital toothbrush monitoring and training system (DTS)) putzen. Die Studienteilnehmer übernahmen alle das erwünschte Zahnputzverhalten und sogar acht Wochen ohne Hilfe des DTS behielten mehr als die Hälfte der Probanden die angestrebte Technik bei. Ein Drucksensor mit Display, der bei jedem Zähneputzen ein gründlicheres, längeres und weniger kraftvolles Putzverhalten fördert, kann also einen dauerhaft veränderten Habitus begünstigen (Milgrom, 2001). Ausgehend davon, dass einige Probanden, welche zuvor elektrisch putzten und in der vorliegenden Studie der manuell putzenden Gruppe zugeordnet wurden, vor Studienbeginn auch eine elektrische Zahnbürste mit Drucksensor verwendeten, könnte man annehmen, dass ihr Putzverhalten vorher dadurch positiv beeinflusst wurde. Da allerdings über den Zeitraum der Studie eine unterstützende Rückkopplung in der Kontrollgruppe fehlte, ließ dieser Effekt scheinbar nach und spielte an den darauffolgenden Terminen keine Rolle mehr. Im Endeffekt bleibt aber offen, ob die Druckkontrolle in der Testgruppe einen positiven Einfluss hatte, denn im Studiendesign wurde keine Kontrollgruppe vorgesehen, die mit der gleichen elektrischen Zahnbürste aber ohne Drucksensor und SmartGuide[®] zu Hause putzte. Obwohl der BSI bei den Probanden, welche die elektrische Zahnbürste nutzten, signifikant niedriger während des gesamten Studienzeitraums war, wiesen die Bürstenköpfe der elektrischen Zahnbürste dennoch ganz unterschiedliche, individuell variierende Grade und Muster der Abnutzung auf. Die große Varianz in der Borstenauffächerung sowohl für die Handzahnbürsten- als auch Nutzer der elektrischen Zahnbürsten in der Studie wird beispielhaft in der Abbildung 12 anhand von zwei Bürstenköpfen zweier verschiedener Probanden (EZB-Gruppe) nach dreimonatigem Gebrauch gezeigt. Mehrere Studien beobachteten eine ähnlich große Varianz (Daly et al., 1996; Rosema et al., 2013), Hogan et al. (2007) maßen sogar Borstenfeldveränderungen zwischen 0 % und 135 %.

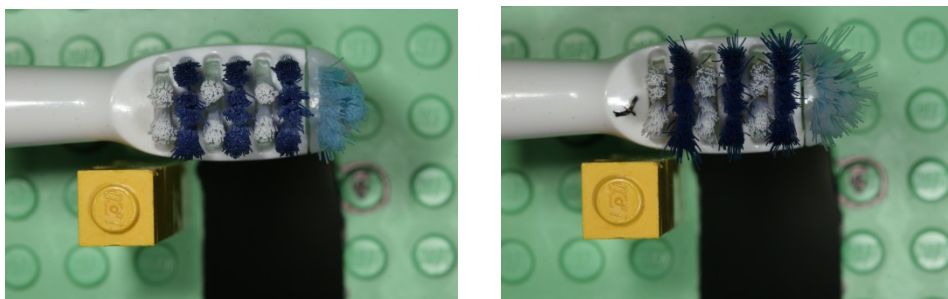


Abb. 12: Bürstenköpfe der EZB zweier Probanden nach dreimonatigem Gebrauch. Links fast intaktes Borstenfeld, rechts stark abgenutztes Borstenfeld.

Interessanterweise verhielt sich das Abnutzungsmuster der Putzfläche bei einigen Studienteilnehmern während aller vier Wechselintervalle ähnlich. Das bedeutet, dass sich bei bestimmten Probanden alle vier Zahnbürsten mit ganz spezifischer und sich immer ähnelnder Ausrichtung der Borsten auffächerten (Abb. 13).

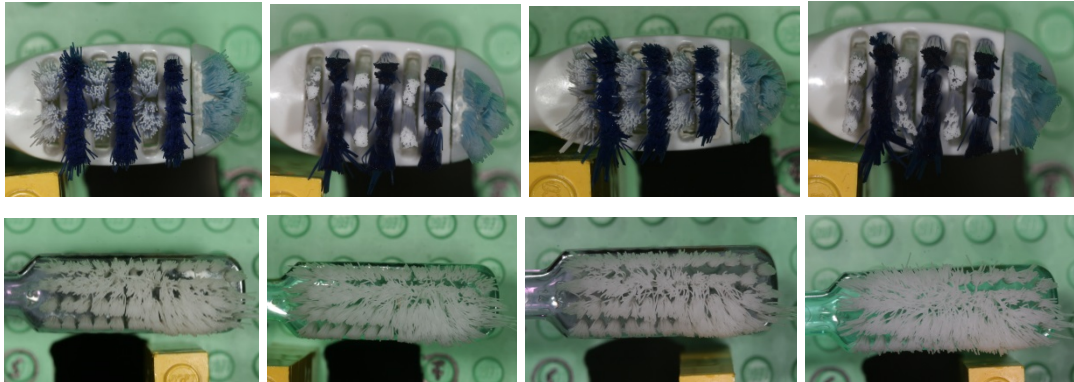


Abb. 13: Putzmuster zweier Probanden (oben EZB, unten HZB). Die Abnutzungsform ähnelt sich bei allen vier Zahnbürsten über den gesamten Beobachtungszeitraum.

So lässt sich vermuten, dass neben der aufgewendeten Putzkraft noch andere Faktoren im Abnutzungsprozess der Borsten involviert sind. Pugh (1978) spekulierte, dass die Zahnputztechnik Einfluss haben könne, fand allerdings keine direkten Hinweise, die diese These unterstützen. Auch andere Quellen vermuten, dass neben der Putzkraft individuelle Gewohnheiten wie Häufigkeit, Dauer und Technik des Zähneputzens eine Rolle spielen (Dean, 1991). Da in der zugrundeliegenden Studie keine spezielle Instruktion bezüglich der Zahnputztechnik erfolgte, könnten die abweichenden Verschleißmuster auch auf diesen Faktor zurückzuführen sein.

Neben der reinen Betrachtung der Abnutzungsgrade der Studienzahnbürsten waren in der vorliegenden Untersuchung auch die Veränderung der Gingiva und mögliche gingivale Putzläsionen von großem Interesse. Die Anzahl der Gingivaverletzungen stieg in beiden Gruppen von Baseline bis zum 6-Monatstermin signifikant an. Laut Glickman (1964) treten die akutesten gingivalen Läsionen auf, wenn Patienten eine neue Zahnbürste verwenden. Damals waren die Filamentenden der Zahnbürsten noch nicht abgerundet und wirkten in den ersten Tagen des Gebrauchs aggressiver auf das Zahnfleisch ein als jene Borsten, die durch Nutzung und die abrasiven Eigenschaften der Zahnpasta abgerundet worden waren (Breitenmoser et al., 1979). Eine weitere mögliche Erklärung für die Ergebnisse von Glickman (1964) könnte sein, dass Patienten durch die Erneuerung des Hygieneartikels wieder motivierter

waren, eine gründlichere Mundhygiene durchzuführen. Auch findet ein Austausch der Zahnbürste häufig nach einem Zahnarztbesuch statt, bei dem die Patienten instruiert und motiviert wurden (Breitenmoser et al., 1979). Es ist anzunehmen, dass sie folglich für einen bestimmten Zeitraum besonders intensiv putzen und so in der Folge mehr Gingivaabrasionen auftreten. Im Rahmen der Studie ist es andererseits aber auch denkbar, dass die Probanden beider Gruppen darauf bedacht waren, eine besonders intensive und gründliche Mundhygiene durchzuführen, da sie an einer Zahnputzstudie teilnahmen. Diese Vermutung würde auf dem Hawthorne-Effekt basieren. Er besagt, dass Studienteilnehmer ihr normales Verhalten ändern, da ihnen bewusst ist, dass dieses beobachtet wird und Bestandteil einer Studie ist (Adair, 1984). Interessanterweise blieb die Anzahl der Gingivaverletzungen in der Kontrollgruppe bis zum Studienende konstant ($t_1: 0,61 \pm 0,86$, $t_3: 1,74 \pm 1,93$; $p < 0,001$), wohingegen die Anzahl der gingivalen Läsionen in der Gruppe, welche mit der elektrischen Zahnbürste putzte, bis zum 12-Monatstermin wieder signifikant sank ($t_1: 0,95 \pm 1,77$, $t_3: 0,93 \pm 1,32$; $p = 0,752$), sogar leicht unter das Baselinenniveau. Obwohl man anhand dieser Ergebnisse und der vorher geführten Argumentationskette spekulieren könnte, dass der Hawthorne-Effekt in der Testgruppe nach einem halben Jahr verblasste, ist dennoch fraglich, warum gerade in der manuell putzenden Kontrollgruppe die Motivation beziehungsweise der Hawthorne-Effekt über die gesamte Studiendauer aufrechterhalten blieb. Ausgehend von den Ergebnissen von Alexander et al. (1977) und Litonjua et al. (2003) steigt die Anzahl der Weichgewebsverletzungen mit steigendem Putzdruck. Im Falle der Probanden der Testgruppe könnte man vermuten, dass nach einer anfänglichen Gewöhnungs- und Lernphase das Zahnputzverhalten wie zuvor beschrieben durch Drucksensoren und Display positiv beeinflusst wurde und nach zwölf Monaten zu einer weniger aggressiven und kraftvollen Zahnputzroutine geführt hat. Warum diese Verbesserung in der elektrisch putzenden Gruppe noch nicht nach sechs Monaten zu beobachten war, sondern erst bei Studienende, könnte auf eine Kombination des Hawthorne-Effekts, der Gewöhnungszeit an eine neue Zahnbürste und einer vorher erfolgenden Lernphase zurückzuführen sein. Die Ergebnisse bezüglich der niedrigeren Anzahl an gingivalen Verletzungen in der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nach zwölf Monaten werden auch durch Studienergebnisse anderer Autorengruppen gestützt (Niemi, 1987). Breitenmoser et al. (1979) führten zudem eine erhöhte Anzahl von Gingivaverletzungen auf die Filamentform zurück, „scharfe“

Filamentendigungen seien für 30 % mehr Läsionen verantwortlich als abgerundete Enden. Auch Danser et al. (1998a) fanden heraus, dass spitz zulaufende, „gothisch-geformte“ Filamentspitzen zu mehr gingivalen Abrasionen führten als runde, „romanisch-geformte“ Endigungen. Eine Studie, in der mehrere Zahnbürsten hinsichtlich ihrer Borstenendform unter dem Mikroskop untersucht wurden, ergab, dass nur vier von 12 getesteten elektrischen Zahnbürsten mehr als 50 % abgerundete Filamentenden besaßen (Checchi et al., 2004). Allerdings wird angenommen, dass spitze, scharfe Borsten nach längerem Gebrauch abradiieren und abrunden (Breitenmoser et al., 1979; Kreifeldt et al., 1980). Ob die getesteten Zahnbürsten in der vorliegenden Studie tatsächlich endgerundete Borsten aufwiesen und inwiefern sich diese nach einem Nutzungszeitraum von drei Monaten veränderten, war nicht Untersuchungsgegenstand. Daher ist kein Rückschluss auf ihr Mitwirken bei der Entstehung der hier ermittelten Gingivaverletzungen zu ziehen.

Obwohl sich während der zwölf Monate Auftreten und Anzahl der gingivalen Putzläsionen anders verhielten, verbesserte sich die Größe der bestehenden gingivalen Rezessionen über den Beobachtungszeitraum leicht in der elektrisch putzenden Testgruppe und blieb in der manuell putzenden Gruppe konstant, wobei aber der Unterschied zwischen den beiden Gruppen statistisch nicht signifikant war. Trotzdem kann die dritte Hypothese als angenommen gelten, die besagt, dass Menschen mit gingivalen Rezessionen, welche eine vergleichbare elektrische Zahnbürste verwenden, kein erhöhtes Risiko für eine Zunahme oder Vergrößerung bestehender Rezessionen befürchten müssen, zumindest innerhalb des Beobachtungszeitraums von einem Jahr. Vergleichbar mit diesem Ergebnis und bei fast identischem Studiendesign beschrieben McCracken et al. (2009) ebenfalls, dass vorhandene Gingivarezessionen über einen 12-monatigen Beobachtungszeitraum entweder stabil blieben (Handzahnbürste) oder sich leicht verbesserten (elektrische Zahnbürste). Einen Erklärungsansatz lieferten sie gleich mit, indem sie zu bedenken gaben, dass für den Einschluss der Probanden in die Studie bereits bestehende Rezessionen von mindestens einem Millimeter ausreichten (McCracken et al., 2009). Einige dieser Läsionen könnten sich bereits wieder stabilisiert haben, bevor die Studie begann. Dieser Grund kann jedoch für die vorliegende Studie ausgeschlossen werden, da vorhandene Gingivarezessionen von ≥ 2 mm ein Einschlusskriterium waren und es eher unwahrscheinlich ist, dass sich diese bestehenden Rezessionen selbständig vor Studienbeginn bereits zurückentwickelt hätten. Entsprechend des

Studiendesigns und der good clinical practice wurden die Probanden randomisiert den beiden Gruppen zugeteilt. Zudem wurden Anzahl und Größe der Gingivarezessionen über den gesamten Studienverlauf von Baseline bis zum 12-Monatstermin von einer einzelnen kalibrierten Untersucherin gemessen, welche hinsichtlich Gruppenzugehörigkeit als auch den bereits erhobenen vorhergehenden Messungen verblindet war. Daher ist es unwahrscheinlich, dass Messabweichungen ursächlich für die beobachtete signifikante Verbesserung der gingivalen Rezessionen in der Testgruppe waren.

Obwohl unzählige Studien von einer positiven Korrelation zwischen einem hohen Mundhygienestandard und der Entstehung nicht-inflammatorischer Gingivarezessionen (Loe et al., 1992; Serino et al., 1994) berichten, weichen die Ergebnisse der vorliegenden Studie von diesen Erkenntnissen ab, es war sogar eine leichte Verbesserung der gingivalen Rezessionen in der Testgruppe zu beobachten. Es wurde bereits vor mehr als einem Vierteljahrhundert nachgewiesen, dass Zähneputzen mit einer Handzahnbürste sowohl als auch mit einer elektrischen Zahnbürste zu gingivalen Abrasionen führen kann (Alexander et al., 1977; Danser et al., 1998b). In der zugrundeliegenden Studie wurde dies bestätigt, es konnte sogar ein Anstieg der Gingivaverletzungen in den ersten sechs Monaten beobachtet werden. Allerdings ist weiterhin unklar, ob diese marginalen reversiblen Verletzungen auch tatsächlich zu Gingivarezessionen führen (Litonjua et al., 2003; Rajapakse et al., 2007). Die negative Assoziation zwischen gingivalen Verletzungen und konstant bleibenden beziehungsweise verbesserten Gingivarezessionen in dieser Studie lässt vermuten, dass Zähneputzen allein nicht zu einer Vergrößerung von Rezessionen führt. Im Gegenteil, die Teilnahme an einer Zahnputzstudie könnte die Probanden bewogen haben, gründlichere, sorgfältigere und umsichtiger Mundhygiene durchzuführen, entsprechend der Grundidee des Hawthorne-Effekts. Es wurde gezeigt, dass solch ein Effekt das Zahnputzverhalten nachlässiger Jugendlicher über einen Zeitraum von sechs Monaten signifikant verbesserte (Feil et al., 2002). Die vermutlich geringere Plaqueakkumulation durch intensiveres Zähneputzen könnte das Abheilen bestehender Gingivitiden begünstigt, insgesamt die orale Gesundheit gefördert und so zu einer Stabilisierung und geringen Reduktion der Gingivarezession geführt haben (Heasman et al., 2015). Die ermittelten Werte könnten durchaus auf solch einen Effekt zurückzuführen sein (EZB: $\Delta 0,21 \pm 0,09$; $p < 0,001$; HZB: $\Delta 0,06 \pm 0,05$; $p > 0,05$). Hanioka et al. (1993) untersuchten die

Wirkung mechanischer Stimulation durch Zähneputzen auf die Sauerstoffsättigung in der menschlichen Gingiva. Entzündete Gingiva wies eine signifikant niedrigere Sauerstoffsättigung vor dem Putzen auf, verglichen mit gesundem Zahnfleisch. Nach der mechanischen Stimulation wiesen die entzündeten Areale einen ähnlich hohen Hb-Sauerstoffstättigungswert wie bei gesunder Gingiva auf, was eine Heilung der Inflammation begünstigen könnte. Auch verhilft die mechanische Bearbeitung der Zahnfleischoberfläche zu einer erhöhten Mikrozirkulation in der gesunden Gingiva (Ikawa et al., 1998). Veröffentlichungen von Ainamo et al. (1981) und Mazeland (1980) gaben an, dass in einem parodontal gesunden Gebiss die befestigte Gingiva und Gingivabreite stetig zunimmt. All diese Ergebnisse lassen also vermuten, dass ein gesundes und gut gepflegtes Parodontium weniger anfällig für gingivale Rezessionen ist und durch eine verbesserte Mundhygiene diese stabilisiert, wenn nicht sogar positiv beeinflusst werden könnten. Akpata und Jackson (1979) deuteten an, dass gingivale Rezessionen eine Konsequenz marginaler Inflammation seien und auch Watson (1984) sprach sich für diese These aus. Er argumentierte, dass erhöhte Plaquewerte gingivale Entzündung begünstigen und dementsprechend auch zu Rezessionen führen könnten. Da Plaque-Indizes in der zugrundeliegenden Studie nicht erhoben wurden, kann man nur spekulieren, ob es im Beobachtungszeitraum zu einer verbesserten Plaquebeseitigung mit Hilfe der Studienzahnbürsten kam. Allerdings bestätigen einige Studien, dass spezifische elektrische Zahnbürsten mit oszillierenden Bürstenköpfen, ähnlich der untersuchten Version, den Handzahnbürsten bezüglich der Plaqueentfernung überlegen sind (Wilson et al., 1993). Man könnte also annehmen, dass die Testgruppe durch hohe Motivation (Hawthorne-Effekt), effizienter Reinigung mittels der elektrischen Zahnbürste und dank positiver Rückkopplung mit Hilfe des Smartguides® (Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA) eine effektivere Mundhygiene durchführten. Daraus könnte hypothetischer Weise eine gründlichere Plaquebeseitigung resultieren und einer marginalen Inflammation entgegengewirkt werden, was schlussendlich zur leichten Reduktion der vorhandenen Gingivarezession führen könnte. Wenn man also annimmt, dass Probanden, welche viele Rezessionen aufwiesen, vor Studienbeginn eine schlechtere Mundhygiene durchführten, würde die zuvor angeführte Argumentationskette im Einklang mit unseren Ergebnissen stehen; denn gerade diese Probanden, welche zuvor schon viele gingivale Rezessionen aufwiesen, hatten nach den 12 Monaten des Untersuchungszeitraums eine erhöhte

Chance auf eine Verbesserung dieser (EZB: $p < 0,008$; HZB: $p < 0,002$).

Unabhängig dieser ersten Ansätze zur Erklärung der Studienergebnisse in Bezug zur Ätiologie und Pathogenese von Rezessionen, diskutieren ebenso viele Studien kontrovers einen möglichen Zusammenhang zwischen der Abnutzung einer Zahnbürste und ihrer Reinigungseffektivität. Conforti et al. (2003) stellte fest, dass die Reinigungsleistung einer Zahnbürste mit steigendem Verschleiß abnimmt. Da die Gruppe der Handzahnbürsten über den gesamten Studienzeitraum einen kontinuierlich signifikant höheren BSI im Vergleich zu der elektrisch putzenden Gruppe aufwies, könnte man spekulieren, dass die Plaqueentfernung in der Kontrollgruppe mit Abnutzung der Handzahnbürste abnahm und so die marginale Entzündung gefördert wurde. Da die Zahnbürsten allerdings regelmäßig im Dreimonatsabstand ausgetauscht und erneuert wurden, konnte sich dieser Effekt nicht in einem Anstieg der gingivalen Rezessionen manifestieren, sondern führte dazu, dass die Rezession unverändert blieb.

Schlussendlich handelt es sich bei der Entstehung von Rezessionen um ein multifaktorielles Geschehen, da sowohl primäre, prädisponierende Faktoren als auch sekundäre, auslösende Faktoren involviert sind. Joshipura et al. (1994) kamen zu dem Schluss, dass es wahrscheinlich zwei Hauptkomponenten sind, welche mit der Entstehung von Gingivarezessionen assoziiert werden können. Einerseits kann schlechte Mundhygiene vermehrte Plaqueakkumulation mit nachfolgender Inflammation und Destruktion des Weichgewebes hervorrufen und so *indirekt* zu einer Rezession führen. Andererseits kann das Zähneputzen mit exzessivem Druck *direkt* eine Verletzung mit entzündlichen Veränderungen und nachfolgender Retraktion des Zahnfleisches auslösen. Diesbezüglich sei erwähnt, dass insbesondere die Probanden in der Kontrollgruppe, welche einen sehr hohen BSI aufwiesen, ein signifikant erhöhtes Risiko für unveränderte Rezessionen hatten oder sogar eine Zunahme dieser aufwiesen ($p = 0,019$). Dies kann eine unserer Arbeitshypothesen zur direkten Korrelation des BSI mit der Ausbildung von Rezessionen zwar nicht direkt bestätigen, unterstützt aber ältere Studienergebnisse. Diese besagen, dass in Einzelfällen bei sehr kraftvollem, manuellem Zähneputzen mit hohem Druck nicht nur ein erhöhter und frühzeitiger Verschleiß der Zahnbürste auftritt (Pugh, 1978), sondern auch signifikant mehr und/oder stärker ausgeprägte Gingivarezessionen zu erwarten sind (Joshipura et al. (1994)).

5 Zusammenfassung

Die Fragestellung, wann eine Zahnbürste ersetzt werden sollte, wird hauptsächlich anhand des visuellen Abnutzungsgrades der Zahnbürste entschieden, da im Allgemeinen angenommen wird, dass die Reinigungsleistung mit zunehmendem Verschleiß abnimmt. Ob diese Abnutzung, welche hauptsächlich anhand der Auffächerung des Borstenfeldes determiniert wird, auch einen Einfluss auf das Auftreten von Gingivaverletzungen und gingivalen Rezessionen hat, ist jedoch unklar und war daher Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie.

In dieser randomisierten, klinisch kontrollierten Studie mit 110 Probanden mit bestehenden gingivalen Rezessionen wurde eine elektrische Zahnbürste gegen eine ADA-Handzahnbürste über einen zwölfmonatigen Beobachtungszeitraum getestet. Die Zahnbürsten wurden sowohl in der Test- als auch in der Kontrollgruppe alle drei Monate ausgetauscht, eingesammelt und vermessen. Der Bristle-Splaying-Index und die Anzahl der Gingivaverletzungen wurden zwischen den Gruppen in Zusammenhang gesetzt und mit der Veränderung bestehender gingivaler Rezessionen korreliert. Dabei zeigte sich, dass der Bristle-Splaying-Index in der Testgruppe unter ausschließlicher Anwendung einer elektrischen Zahnbürste durchschnittlich fast 20 % niedriger verglichen mit der manuell putzenden Kontrollgruppe war (EZB: $7,74 \pm 9,85$ %; HZB: $24,31 \pm 12,72$ %). Ebenso war nach zwölf Monaten auch die Anzahl der Gingivaverletzungen in der Testgruppe signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe (EZB: $t_3: 0,93 \pm 1,32$; HZB: $t_3: 1,74 \pm 1,93$; $p = 0,012$). Die Anzahl und Größe der gingivalen Rezessionen unterschieden sich zwischen Test- und Kontrollgruppe während des Beobachtungszeitraums nicht signifikant (t_1 : EZB: $1,77 \pm 0,33$; HZB: $1,75 \pm 0,30$; $p > 0,05$). Während der 12-monatigen Studiendauer verbesserten sich die bestehenden gingivalen Rezessionen nur in der Testgruppe signifikant wohingegen in der Kontrollgruppe keine Änderungen messbar waren (EZB: $\Delta 0,21 \pm 0,09$; $p < 0,001$; HZB: $\Delta 0,06 \pm 0,05$; $p > 0,05$). Besonders bemerkenswert war, dass gerade die Probanden der Handzahnbürstengruppe, welche einen sehr hohen Bürstenabnutzungsgrad aufwiesen, auch ein signifikant höheres Risiko für unveränderte beziehungsweise verschlechterte gingivale Rezessionen aufwiesen (OR: 27,936; $p = 0,019$).

Aufgrund der Ergebnisse kann für Menschen mit bereits bestehenden

Gingivarezessionen geschlussfolgert werden, dass eine dreimonatige Nutzungsdauer der getesteten elektrischen Zahnbürste sowie der Handzahnbürste kein erhöhtes Risiko für Traumatisierungen der Gingiva mit Zunahme von Gingivarezessionen birgt. Die Anwender der elektrischen Zahnbürste zeigten einen signifikant niedrigeren Bürstenabnutzungsgrad und geringere Gingivaverletzungen im Vergleich zu manuellen Putzern. In der multivariaten Analyse konnte zudem in der Handzahnbürstengruppe bei den Probanden mit sehr hohem Bürstenabnutzungsgrad ein erhöhtes Risikos für die Progression bestehender Gingivarezessionen festgestellt werden. Deshalb sollte Patienten, die mit besonders viel Anpressdruck putzen, eine elektrische Zahnbürste mit Drucksensor empfohlen werden, da sie das Risiko gingivaler Traumatisierung herabsetzt und als sicherer in Bezug auf das Fortschreiten von bereits bestehenden Gingivarezessionen einzuschätzen ist.

6 Literatur

- Adair, J. (1984): The Hawthorne effect: a reconsideration of the methodological artifact. *J Appl Psychol.*, 69, 334-345
- Addy, M., Hunter, M. L. (2003): Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J*, 53 Suppl 3, 177-186
- Ainamo, A., Ainamo, J., Poikkeus, R. (1981): Continuous widening of the band of attached gingiva from 23 to 65 years of age. *J Periodontal Res*, 16, 595-599
- Akpata, E. S., Jackson, D. (1979): The prevalence and distribution of gingivitis and gingival recession in children and young adults in Lagos, Nigeria. *J Periodontol*, 50, 79-83
- Alexander, J. F., Saffir, A. J., Gold, W. (1977): The measurement of the effect of toothbrushes on soft tissue abrasion. *J Dent Res*, 56, 722-727
- Axelsson, P., Nystrom, B., Lindhe, J. (2004): The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol*, 31, 749-757
- Bergstrom, J., Lavstedt, S. (1979): An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol*, 7, 57-64
- Breitenmoser, J., Mormann, W., Muhlemann, H. R. (1979): Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. *J Periodontol*, 50, 212-216
- Buchel, B., Reise, M., Klukowska, M., Grender, J., Timm, H., Ccahuana-Vasquez, R. A., Sigusch, B. W. (2014): A 4-week clinical comparison of an oscillating-rotating power brush versus a marketed sonic brush in reducing dental plaque. *Am J Dent*, 27, 56-60
- Buhl, S. (1991): [Does occlusal overload lead to periodontal recession? Literature review]. *ZWR*, 100, 854-856, 859
- Bundeszahnärztekammer (2015): Daten & Fakten 2015. *KZBV Jahrbuch 2015*, 1-12
- Campbell, A., Moore, A., Williams, E., Stephens, J., Tatakis, D. N. (2002): Tongue Piercing: Impact of Time and Barbell Stem Length on Lingual Gingival Recession and Tooth Chipping. *J Periodontol*, 73, 289-297
- Chapple, I. L., Van der Weijden, F., Doerfer, C., Herrera, D., Shapira, L., Polak, D., Madianos, P., Louropoulou, A., Machtei, E., Donos, N., Greenwell, H., Van Winkelhoff, A. J., Eren Kuru, B., Arweiler, N., Teughels, W., Aimetti, M., Molina, A., Montero, E., Graziani, F. (2015): Primary prevention of periodontitis: managing gingivitis. *J Clin Periodontol*, 42 Suppl 16, S71-76
- Checchi, L., Farina, E., Felice, P., Montevecchi, M. (2004): The electric toothbrush: analysis of filaments under stereomicroscope. *J Clin Periodontol*, 31, 639-642

- Conforti, N. J., Cordero, R. E., Liebman, J., Bowman, J. P., Putt, M. S., Kuebler, D. S., Davidson, K. R., Cugini, M., Warren, P. R. (2003): An investigation into the effect of three months' clinical wear on toothbrush efficacy: results from two independent studies. *J Clin Dent*, 14, 29-33
- Daly, C. G., Chapple, C. C., Cameron, A. C. (1996): Effect of toothbrush wear on plaque control. *J Clin Periodontol*, 23, 45-49
- Danser, M. M., Timmerman, M. F., Y, I. J., Bulthuis, H., van der Velden, U., van der Weijden, G. A. (1998a): Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *J Clin Periodontol*, 25, 701-706
- Danser, M. M., Timmerman, M. F., Y, I. J., van der Velden, U., Warren, P. R., van der Weijden, F. A. (1998b): A comparison of electric toothbrushes in their potential to cause gingival abrasion of oral soft tissues. *Am J Dent*, 11, S35-39
- Daprile, G., Gatto, M. R., Checchi, L. (2007): The evolution of buccal gingival recessions in a student population: a 5-year follow-up. *J Periodontol*, 78, 611-614
- Dean, D. H. (1991): Toothbrushes with graduated wear: correlation with in vitro cleansing performance. *Clin Prev Dent*, 13, 25-30
- Deshmukh, J., Khatri, R., Fernandes, B., Kulkarni, V. K., Singh, S. (2015): Frenectomy with semilunar coronally repositioned flap: A single stage approach - simple solution for complex problem. *J Indian Soc Periodontol*, 19, 454-457
- Diedrich, P. (1984): [Support for periodontal treatment of the adult dentition through orthodontic measures]. *Dtsch Zahnarztl Z*, 39, 570-580
- Dyer, D., Addy, M., Newcombe, R. G. (2000): Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *J Clin Periodontol*, 27, 99-103
- Feil, P. H., Grauer, J. S., Gadbury-Amyot, C. C., Kula, K., McCunniff, M. D. (2002): Intentional use of the Hawthorne effect to improve oral hygiene compliance in orthodontic patients. *J Dent Educ*, 66, 1129-1135
- Fischman, S. L. (1997): The history of oral hygiene products: how far have we come in 6000 years? *Periodontol 2000*, 15, 7-14
- Frandsen, A. (1985): Changing patterns of attitudes and oral health behaviour. *Int Dent J*, 35, 284-290
- Freedman, A. L., Green, K., Salkin, L. M., Stein, M. D., Mellado, J. R. (1999): An 18-year longitudinal study of untreated mucogingival defects. *J Periodontol*, 70, 1174-1176

- Fukumoto, Y., Horibe, M., Inagaki, Y., Oishi, K., Tamaki, N., Ito, H. O., Nagata, T. (2014): Association of gingival recession and other factors with the presence of dentin hypersensitivity. *Odontology*, 102, 42-49
- Glaze, P. M., Wade, A. B. (1986): Toothbrush age and wear as it relates to plaque control. *J Clin Periodontol*, 13, 52-56
- Glickman, I. (1964): *Clinical periodontology*, W. B. Saunders Co., Philadelphia and London
- Gorman, W. J. (1967): Prevalence and Etiology of Gingival Recession. *J Periodontol*, 38, 316-322
- Graetz, C., Bielfeldt, J., Wolff, L., Springer, C., El-Sayed, K. M., Sälzer, S., Badri-Hoher, S., Dörfer, C. E. (2013): Toothbrushing education via a smart software visualization system. *J Periodontol*, 84, 186-195
- Grossman, E., Dembling, W., Proskin, H. M. (1995): A comparative clinical investigation of the safety and efficacy of an oscillating/rotating electric toothbrush and a sonic toothbrush. *J Clin Dent*, 6, 108-112
- Guinard, E. A., Caffesse, R. G. (1977): Localized gingival recessions: 1. Etiology and prevalence. *J West Soc Periodontol Periodontal Abstr*, 25, 3-9
- Hanioka, T., Nagata, H., Murakami, Y., Tamagawa, H., Shizukuishi, S. (1993): Mechanical stimulation by toothbrushing increases oxygen sufficiency in human gingivae. *J Clin Periodontol*, 20, 591-594
- Heasman, P. A., Holliday, R., Bryant, A., Preshaw, P. M. (2015): Evidence for the occurrence of gingival recession and non-carious cervical lesions as a consequence of traumatic toothbrushing. *J Clin Periodontol*, 42 Suppl 16, S237-255
- Hirschfeld, I. (1923): A study of skulls in the American Museum of Natural History in relation to periodontal disease. *J. Dent. Res.*, 5, 241-265
- Hogan, L. M., Daly, C. G., Curtis, B. H. (2007): Comparison of new and 3-month-old brush heads in the removal of plaque using a powered toothbrush. *J Clin Periodontol*, 34, 130-136
- Hugoson, A., Lundgren, D., Asklow, B., Borgklint, G. (2003): The effect of different dental health programmes on young adult individuals. A longitudinal evaluation of knowledge and behaviour including cost aspects. *Swed Dent J*, 27, 115-130
- Ikawa, M., Ikawa, K., Horiuchi, H. (1998): The effects of thermal and mechanical stimulation on blood flow in healthy and inflamed gingiva in man. *Arch Oral Biol*, 43, 127-132

- Janusz, K., Nelson, B., Bartizek, R. D., Walters, P. A., Biesbrock, A. R. (2008): Impact of a novel power toothbrush with SmartGuide technology on brushing pressure and thoroughness. *J Contemp Dent Pract*, 9, 1-8
- Jardim, J. J., Alves, L. S., Maltz, M. (2009): The history and global market of oral home-care products. *Braz Oral Res*, 23 Suppl 1, 17-22
- Johnson, B. D., McInnes, C. (1994): Clinical evaluation of the efficacy and safety of a new sonic toothbrush. *J Periodontol*, 65, 692-697
- Joshipura, K. J., Kent, R. L., DePaola, P. F. (1994): Gingival recession: intra-oral distribution and associated factors. *J Periodontol*, 65, 864-871
- Khocht, A., Spindel, L., Person, P. (1992): A comparative clinical study of the safety and efficacy of three toothbrushes. *J Periodontol*, 63, 603-610
- Kreifeldt, J. G., Hill, P. H., Calisti, L. J. (1980): A systematic study of the plaque removal efficiency of worn toothbrushes. *J Dent Res*, 59, 2047-2055
- Krishna Prasad, D., Sridhar Shetty, N., Solomon, E. G. (2013): The influence of occlusal trauma on gingival recession and gingival clefts. *J Indian Prosthodont Soc*, 13, 7-12
- Kundapur, P. P., Bhat, K. M., Bhat, G. S. (2009): Association of trauma from occlusion with localized gingival recession in mandibular anterior teeth. *Dent Res J (Isfahan)*, 6, 71-74
- Kuntsche, T., Lange, D. E. (1978): [The effect of brush stimulation on the keratinization of the gingival epithelium]. *Dtsch Zahnarztl Z*, 33, 24-28
- Lange, D. E. (1977): [The effect of various types of toothbrushes on the gingival surface]. *Zahnarztl Mitt*, 67, 729-736
- Litonjua, L. A., Andreana, S., Bush, P. J., Cohen, R. E. (2003): Toothbrushing and gingival recession. *Int Dent J*, 53, 67-72
- Loe, H., Theilade, E., Jensen, S. B. (1965): Experimental Gingivitis in Man. *J Periodontol*, 36, 177-187
- Loe, H., Anerud, A., Boysen, H. (1992): The natural history of periodontal disease in man: prevalence, severity, and extent of gingival recession. *J Periodontol*, 63, 489-495
- Marini, M. G., Gregghi, S. L., Passanezi, E., Sant'ana, A. C. (2004): Gingival recession: prevalence, extension and severity in adults. *J Appl Oral Sci*, 12, 250-255
- Mazeland, G. R. (1980): Longitudinal aspects of gingival width. *J Periodontal Res*, 15, 429-433

- Mc Connell, D., Conroy, C. W. (1967): Comparisons of abrasion produced by a simulated manual versus a mechanical toothbrush. *J Dent Res*, 46, 1022-1027
- McCauley, H. B. (1946): Toothbrushes, toothbrush materials and design. *J Am Dent Assoc*, 33, 283-293
- McCracken, G. I., Heasman, L., Stacey, F., Swan, M., Steen, N., de Jager, M., Heasman, P. A. (2009): The impact of powered and manual toothbrushing on incipient gingival recession. *J Clin Periodontol*, 36, 950-957
- McLey, L., Boyd, R. L., Sarker, S. (1997): Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: relative degree of bristle end-rounding. *J Clin Dent*, 8, 86-90
- Mielczarek, A., Klukowska, M., Kaiser, E., Stoerkel, U., Mandl, C., Walters, P., Warren, P. (2012): A novel power toothbrush with multi-directional, triple zone cleaning technology. *Am J Dent*, 25 Spec No A, 3A-9A
- Mierau, H. D., Fiebig, A. (1987): [Epidemiology of gingiva recession and potential accompanying clinical phenomena. Study of 2410 recruits between 18 and 20 years of age]. *Dtsch Zahnarztl Z*, 42, 512-520
- Milgrom, P. (2001): The impact of behavioral technology on dental caries. *J Dent Educ*, 65, 1102-1105
- Miller, P. D., Jr. (1985): A classification of marginal tissue recession. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 5, 8-13
- Miller, S. C. (1950): *Textbook of periodontia*, The Blakiston Co., Philadelphia
- Nam, S.-j., Yang, B.-K., Kim, T.-I., Seol, Y.-J., Lee, Y.-M. (2005): A study on the plaque removal efficiency of new and worn toothbrushes. 35, 1-14
- Niemi, M. L. (1987): Gingival abrasion and plaque removal after toothbrushing with an electric and a manual toothbrush. *Acta Odontol Scand*, 45, 367-370
- Nieri, M., Pini Prato, G. P., Giani, M., Magnani, N., Pagliaro, U., Rotundo, R. (2013): Patient perceptions of buccal gingival recessions and requests for treatment. *J Clin Periodontol*, 40, 707-712
- Padbury, A. D., Ash, M. M., Jr. (1974): Abrasion caused by three methods of toothbrushing. *J Periodontol*, 45, 434-438
- Parfitt, G. J., Mjor, J. A. (1964): A clinical evaluation of local gingival recession in children. *J. Dent. Child.*, 257
- Phaneuf, E. A., Harrington, J. H., Dale, P. P., Shklar, G. (1962): Automatic toothbrush: a new reciprocating action. *J Am Dent Assoc*, 65, 12-25

- Pires, I. L. O., Cota, L. O. M., Oliveira, A. C. B., Costa, J. E., Costa, F. O. (2010): Association between periodontal condition and use of tongue piercing: a case-control study. *Journal of Clinical Periodontology*, 37, 712-718
- Plagmann, H. C., Goldkamp, B., Lange, D. E., Morgenroth, K. (1978): [The mechanical effect of various types of tooth brushes on the alveolar mucosa and the gingiva (scanning electron microscopic studies)]. *Dtsch Zahnarztl Z*, 33, 14-20
- Plagmann, H. C. (1998): *Lehrbuch der Parodontologie*, Hanser Fachbuch Deutschland
- Plessas, A., Pepelassi, E. (2012): Dental and periodontal complications of lip and tongue piercing: prevalence and influencing factors. *Aust Dent J*, 57, 71-78
- Powell, R. N., McEniery, T. M. (1981): Disparities in gingival height in the mandibular central incisor region of children aged 6--12 years. *Community Dent Oral Epidemiol*, 9, 32-36
- Pugh, B. R. (1978): Toothbrush wear, brushing forces and cleaning performance. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 423-431
- Putt, M. S., Milleman, J. L., Davidson, K. R., Kleber, C. J., Cugini, M. (2001): A split-mouth comparison of a three-dimensional-action electric toothbrush and a high-frequency electric toothbrush for reducing plaque and gingivitis. *J Int Acad Periodontol*, 3, 95-103
- Rajapakse, P. S., McCracken, G. I., Gwynnett, E., Steen, N. D., Guentsch, A., Heasman, P. A. (2007): Does tooth brushing influence the development and progression of non-inflammatory gingival recession? A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, 34, 1046-1061
- Ramfjord, S. P., Ash, M. M. (1979): *Periodontology and Periodontics*, W.B. Saunders, Philadelphia
- Rateitschak, K., Rateitschak, E.M., Wolf, H.F. (1984): *Parodontologie*, Thieme, Stuttgart
- Rawls, H. R., Mkwai-Tulloch, N. J., Casella, R., Cosgrove, R. (1989): The measurement of toothbrush wear. *J Dent Res*, 68, 1781-1785
- Ren, Y. F., Cacciato, R., Whelehan, M. T., Ning, L., Malmstrom, H. S. (2007): Effects of toothbrushes with tapered and cross angled soft bristle design on dental plaque and gingival inflammation: a randomized and controlled clinical trial. *J Dent*, 35, 614-622
- Rommelfanger, J. (2015): 50 Jahre elektrische Zahnbürste. *zm online* (http://www.zm-online.de/home/zahnmedizin/50-Jahre-elektrische-Zahnburste_277548.html - 1),

- Roscher, T., Rosing, C. K., Gjermo, P., Aass, A. M. (2004): Effect of instruction and motivation in the use of electric and manual toothbrushes in periodontal patients. A comparative study. *Braz Oral Res*, 18, 296-300
- Rosema, N. A., Hennequin-Hoenderdos, N. L., Versteeg, P. A., van Palenstein Helderma, W. H., van der Velden, U., van der Weijden, G. A. (2013): Plaque-removing efficacy of new and used manual toothbrushes--a professional brushing study. *Int J Dent Hyg*, 11, 237-243
- Sadhan, R. e. I. A., Almas, K. (1999): Miswak (chewing Stick): A Cultural And Scientific Heritage. *Saudi Dental Journal*, 11, 80-88
- Sälzer, S., Graetz, C., Dörfer, C. (2012): Freiliegende und hypersensible Zahnhäule: Was kann wie gelöst werden? *ZMK*, 12, 824-834
- Sandholm, L., Niemi, M. L., Ainamo, J. (1982): Identification of soft tissue brushing lesions. A clinical and scanning electron microscopic study. *J Clin Periodontol*, 9, 397-401
- Sangnes, G. (1976): Traumatization of teeth and gingiva related to habitual tooth cleaning procedures. *J Clin Periodontol*, 3, 94-103
- 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
- Saxer, U. P., Yankell, S. L. (1997): Impact of improved toothbrushes on dental diseases. *I. Quintessence Int*, 28, 513-525
- Saxton, C. A., Cowell, C. R. (1981): Clinical investigation of the effects of dentifrices on dentin wear at the cemento-enamel junction. *J Am Dent Assoc*, 102, 38-43
- Serino, G., Wennstrom, J. L., Lindhe, J., Eneroth, L. (1994): The prevalence and distribution of gingival recession in subjects with a high standard of oral hygiene. *J Clin Periodontol*, 21, 57-63
- Sforza, N. M., Rimondini, L., di Menna, F., Camorali, C. (2000): Plaque removal by worn toothbrush. *J Clin Periodontol*, 27, 212-216
- Tadinada, A., Kilham, J., Bysani, P., Gopalakrishna, A. (2015): The Evolution of A Tooth Brush: From Antiquity to Present- A Mini-Review. *Journal of Dental Health*, 2, 1-4
- Tangade, P. S., Shah, A. F., Ravishankar, T. L., Tirth, A., Pal, S. (2013): Is plaque removal efficacy of toothbrush related to bristle flaring? A 3-month prospective parallel experimental study. *Ethiop J Health Sci*, 23, 255-264
- Urmann, M. (2013): Fünfzig Jahre elektrische Zahnbürste. *DZW*, 48, 22-23

- Van der Weijden, F. A., Campbell, S. L., Dörfer, C. E., Gonzalez-Cabezas, C., Slot, D. E. (2011): Safety of oscillating-rotating powered brushes compared to manual toothbrushes: a systematic review. *J Periodontol*, 82, 5-24
- Van der Weijden, F. A., Slot, D. E. (2015): Efficacy of homecare regimens for mechanical plaque removal in managing gingivitis a meta review. *J Clin Periodontol*, 42 Suppl 16, S77-91
- Van der Weijden, G. A., Timmerman, M. F., Versteeg, P. A., Piscaer, M., Van der Velden, U. (2004): High and low brushing force in relation to efficacy and gingival abrasion. *J Clin Periodontol*, 31, 620-624
- Van Nuss, K., Friedl, K. H., Hiller, K. A., Hornecker, E., Mausberg, R. F., Ziebolz, D. (2010): Investigation of wear in manual toothbrushes from different price categories. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 120, 750-763
- Watson, P. J. (1984): Gingival recession. *J Dent*, 12, 29-35
- Wiegand, A., Burkhard, J. P., Eggmann, F., Attin, T. (2013): Brushing force of manual and sonic toothbrushes affects dental hard tissue abrasion. *Clin Oral Investig*, 17, 815-822
- Wilson, S., Levine, D., Dequincey, G., Killoy, W. J. (1993): Effects of two toothbrushes on plaque, gingivitis, gingival abrasion, and recession: a 1-year longitudinal study. *Compend Suppl*, S569-579; quiz S612-564
- Winders, R. V. (1971): Gingival recession of mandibular incisors related to malocclusions of the teeth. *J Wis State Dent Soc*, 47, 339-343

7 Anhang

MEDIZINISCHE FAKULTÄT DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL



ETHIK-KOMMISSION

Universitäts-Kinderklinik · Schwanenweg 20 · 24105 Kiel

Dr. Christian Graetz
Prof. Dr. Christof Dörfer
Klinik für Zahnerhaltung und
Parodontologie
Brunswiker Str. 10
24105 Kiel

Postadresse:
Arnold-Heller-Straße 3 / Haus 9
D-24105 Kiel

Telefon 04 31 / 597-18 09
Telefax 04 31 / 597-53 33

Datum: 23.6.2011

Vorab per Fax: 597 2932

AZ.: A 125/11 (bitte stets angeben)
Studienplan: **Effects of Brushing with Novel Power Brush Head on Gingival Tissues: A 12 Months Study**
Studienprotokoll, Probandeninformation und Einverständniserklärung,
Studienanweisungen Elektrische Zahnbürste und Manuelle Zahn-
bürste - überarbeitete Versionen mit Schreiben vom 23.6.2011
Entwurf Aushang zur Rekrutierung von Probanden
Bestätigung Versicherung
Projektleiter: **Dr. Christian Graetz, Prof. Dr. Christof Dörfer, Klinik für Zahn-
erhaltung und Parodontologie, UKSH, Campus Kiel
Braun GmbH, D-61476 Kronberg**
Sponsor:
Datum des Antrages: 28.4.11
Datum der Nachreichung: 16.6.2011
Datum des überarb. Antrages: 23.6.2011

V o t u m

Die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel hat die zu dem oben bezeichneten Versuchsplan eingereichten Unterlagen auf mögliche berufsethische und berufsrechtliche Bedenken hin überprüft. Die Kommission stimmt darin überein, dass gegen die Durchführung der Studie nunmehr keine Bedenken bestehen.

Es wird darauf hingewiesen, dass künftig eventuell für zweckmäßig und notwendig erachtete Änderungen und Erweiterungen des Versuchsplanes der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und gegebenenfalls eine erneute Beratung erforderlich machen.

Nach Abschluss der Studie erbittet die Kommission einen kurzen Bericht mit einem Hinweis, ob im Laufe der Studie ethische oder juristische Probleme aufgetreten sind.

Prof. Dr. med. Dr. jur. H.-J. Kaatsch
Stellv. Vorsitzender der Ethik-Kommission

Dr. med. Christine Glinicke
Geschäftsführung der Ethik-Kommission

8 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Christof E. Dörfer danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und damit auch für die Möglichkeit, in der Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel an dieser Studie mitgewirkt haben zu können.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. dent. Christian Graetz für seine Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und die hervorragende fachliche Betreuung.

Für die Hilfe bei der statistischen Auswertung und ihre allzeit freundschaftliche Unterstützung danke ich Dr. med. dent. Anna Plaumann.

Nicht vergessen möchte ich die vielen Probanden, die sich für diese Studie zur Verfügung gestellt haben und ohne deren Zuverlässigkeit diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zuletzt möchte ich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern danken, die mir während meines gesamten beruflichen Werdegangs mit voller Unterstützung zur Seite standen.

9 Publikationen im Rahmen der Dissertation

Posterpräsentationen:

1. IADR 2013, Seattle (USA)

Effect of a multi-directional power toothbrush on recession after 12-month.
Graetz C, Sälzer S, Schneider CA, Plaumann A, **Heinevetter N**, El-Sayed KF, Grender JM, Klukowska M, Dörfer CE

Wissenschaftlicher Kurzvortrag:

1. DZÄT 2016, Frankfurt am Main

Einfluss der Borstenauffächerung einer elektrischen und Handzahnbürste auf die marginale Gingiva – eine randomisierte, klinische Studie über 12 Monate.
Heinevetter N, Plaumann A, Sälzer S, Bielfeldt J, Dörfer CE, Graetz C

Publikationen (peer reviewed):

1. Sälzer, S.*, Graetz, C.*, Plaumann, A., **Heinevetter, N.**, Grender, J., Klukowska, M., Schneider, C. A., Springer, C., Van der Weijden, F. & Dörfer, C. E. (2016) Effect of a Multi-directional Power and a Manual Toothbrush in Subjects Susceptible to Gingival Recession: A 12-month Randomized Controlled Clinical Study. J Periodontol, 87, 548-56. doi:10.1902/jop.2016.150472.
2. Graetz, C.*, Plaumann, A.*, **Heinevetter, N.**, Sälzer, S., Bielfeldt, J. & Dörfer, C. E. (2016) Bristle splaying and its effect on pre-existing gingival recession-a 12-month randomized controlled trial. Clin Oral Investig. doi:10.1007/s00784-016-1987-9.

* geteilte Erstautorenschaft

10 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Nora Heinevetter
 Wohnort: Am Stadtrand 1, 14478 Potsdam
 Geburtsdatum: 12.05.1988
 Geburtsort: Potsdam
 Eltern: Dr. Dietlind Heinevetter (geb. Kobes)
 Dr. Lutz Heinevetter
 Nationalität: Deutsch

Schulbildung

1994 – 1998 Grundschule 27, Waldstadt II
 1998 – 2007 Espengrund- & Humboldt-Gymnasium
 Juli 2007 Allgemeine Hochschulreife

Studium

2007 – 2012 Studium der Zahnheilkunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 November 2012 Staatsexamen und Approbation
 seit 2013 Promotionsarbeit in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Zentrums Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel

Berufliche Tätigkeit

seit Sep. 2013 Vorbereitungsassistentin in der ZAP Augsten in Potsdam
 seit Juni 2014 Vorbereitungsassistentin in der ZAP Dr. F. Wertmann in Potsdam
 Ab April 2017 angestellte Zahnärztin in der ZAP Zahnmedizin St. Gallen AG in St. Gallen