

DIE QUALITÄT DER BORSTENABRUNDUNG BEI WECHSELKÖPFEN ELEKTRISCHER ERWACHSENEN-ZAHNBÜRSTEN

NURAN SOYDAN

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2008

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2008

© 2008 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



VVB LAUFERSWEILER VERLAG
édition scientifique

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Die Qualität der Borstenabrundung bei Wechselköpfen
elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität

vorgelegt von

Nuran Soydan

aus Bad Nauheim

Giessen 2008

Aus dem Medizinischen Zentrum der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Justus-Liebig-Universität Giessen
Abteilung Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde
Direktor: Prof. Dr. J. Klimek

Gutachter: Prof. Dr. M. Jung

Gutachter: Prof. Dr. J. Geis-Gerstorfer

Tag der Disputation: 03.11.2008

Inhaltsverzeichnis	3
1. Einleitung	6
2. Literaturübersicht	8
2.1 Epidemiologie von Karies und Gingivitiden/ Parodontopathien	8
2.2 Plaqueentstehung	9
2.2.1 Plaque und Karies	10
2.2.2 Plaque und Gingivitiden/ Parodontopathien	11
2.3 Prävention	13
2.3.1 Zahn- und Mundhygiene	13
2.3.2 Ernährung: Ernährung und Ernährungslenkung	15
2.3.3 Fluoride	17
2.3.4 Fissurenversiegelung	19
2.4 Mechanische Plaquekontrolle	20
2.4.1 Techniken	20
2.4.2 Zahnpasta	21
2.4.3 Zahnputzhäufigkeit und –dauer	22
2.5 Die elektrische Zahnbürste	23
2.5.1 Aufbau elektrischer Zahnbürsten	24
2.5.2 Arbeitsbewegung elektrischer Zahnbürsten	25
2.5.3 Indikation elektrischer Zahnbürsten	27
2.5.3.1 Patienten mit Parodontitiserkrankung	27
2.5.3.2 Kinder	28

2.5.3.3 Behinderte und ältere Patienten mit erworbenen Einschränkungen	28
2.5.3.4 Kieferorthopädisch (behandelte) Patienten	29
2.5.4 Compliance	30
2.5.5 Vergleichsstudien von elektrischen und manuellen Zahnbürsten	31
2.5.5.1 Elektrische Zahnbürsten und manuelle Zahnbürsten	31
2.5.5.2 Rotierend/oszillierende Zahnbürsten und vibrierende/schallaktive Zahnbürsten	32
2.5.5.3. Rotierend/oszillierend und rotierend/oszillierende elektrische Zahnbürsten	33
2.5.5.4 Vibrierende/schallaktive Zahnbürsten	33
2.6 Die Auswirkung von nicht adäquatem Putzen	34
2.6.1 Abrasion von Zahnhartgewebe	34
2.6.2 Abrasion von Weichgewebe	36
2.6.3 Abrundungsqualität der Borstenenden	39
2.7 Material und Methodik der Untersuchungen von Borstenenden	41
3. Material und Methoden	45
3.1 Wechselköpfe elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten	45
3.2 Makroskopische Kriterien	47
3.3 Probenvorbereitung für die REM- Untersuchung	48
3.4 REM- Darstellung	51
3.5 Bewertung der Borstenendgeometrien	51
3.6 Kalibrierung des Untersuchers	52
3.7 Statistik	53

4. Ergebnisse	54
4.1 Makroskopische Merkmale	54
4.2 Deskriptive Auswertung der REM- Aufnahmen	60
4.3 Quantitative Auswertung der REM- Aufnahmen	78
4.3.1 Vergleiche zwischen den Produkten	78
4.3.2 Vergleiche zwischen den Lokalisationen am Rand und in der Mitte	80
5. Diskussion	83
6. Zusammenfassung	94
7. Summary	97
8. Literaturverzeichnis	99
9. Anhang	131
10. Lebenslauf	135
11. Danksagung	136

1. Einleitung

Die Ursachen von Karies und entzündlichen marginalen Parodontopathien sind weitgehend bekannt. Dabei spielt die Plaquebildung eine große Rolle (Löe et al. 1965; von der Fehr 1970). Die regelmäßige und vollständige Entfernung der Plaque wird daher als eine geeignete Maßnahme zur Bekämpfung dieser Erkrankungen angesehen. Obwohl weltweit das meistverkaufte traditionelle Gerät zur Zahnreinigung die Handzahnbürste bleibt, hat die Einführung der elektrischen Zahnbürste dem Verbraucher ein zusätzliches Instrument der Plaqueentfernung gegeben. Es gibt Anzeichen dafür, dass elektrische Zahnbürsten gegenüber der Handzahnbürste einen noch größeren Nutzen bieten (Tritten und Armitage 1996; Saxer und Yankell 1997; Zeeman et al. 2001). Ein wesentlicher Vorteil elektrischer Zahnbürsten ist der Bedarf an minimaler manueller Geschicklichkeit. Außerdem hat das Bürstenkopf eine konstante und selbständige Bewegung unabhängig von der angewendeten Putztechnik (Warren und Charter 1996; Driesen et al. 1998). Einige elektrische Zahnbürsten der neueren Generation verfügen auch über Designmerkmale wie Drucksensoren und Timer zur Putzzeitkontrolle, die eine zusätzliche Sicherheit bietet. Zudem kann die elektrische Zahnbürste für ältere Patienten (Martin et al. 1987; Wilcoxon 1991; Blahut et al. 1993; Kambhu und Levy 1993; Boyd und Rose 1994), für behinderte Patienten mit erworbenen Einschränkungen (Brantel et al. 1988; Brantel und Berggren 1991; Blahut et al. 1993), für kieferorthopädische Patienten (Wilcoxon et al. 1991; Trombeli et al. 1995; Boyd 1997) sowie für Kinder (Grossman et al. 1995; Jongenelis und Wiedeman 1997) äußerst nützlich sein.

Trotz der deutlichen Vorteile der Plaqueentfernung durch Zähneputzen, kann die forcierte Anwendung der elektrischen oder manuellen Bürste sowie nicht korrekte Putzgewohnheiten Hart- und Weichgewebsverletzungen sowie Zahnfleischrezessionen verursachen (Radentz et al. 1976; Sangnes 1976; Khocht et al. 1993; Danser et al. 1998). Verschiedene Faktoren können zu Zahnabrasionen und Zahnfleischrezessionen führen: die Putztechnik; der Putzdruck (Van der Weijden et al. 1996b), die Dauer des Putzvorgangs und die Putzfrequenz (Cecchi et al. 1999). Ebenso können das Borstenmaterial (Massassati und Frank 1982), die Qualität der Zahnpasta und deren Abrasivkörper (Radentz et al. 1976; Dyer et al.

2000; Imfeld 2002) zu Verletzungen führen. Als ein wichtiger Parameter gilt die Beurteilung der Borstenhärte und der Borstenenden.

Bei der konventionellen Zahnbürste stellt die Abrundung der Borstenenden ein wichtiges Qualitätsmerkmal dar. Durch unzureichende Bearbeitung der Borstenenden entstehen scharfkantige Borstenenden. Diese können zu Weichgewebsschädigungen in der Mundhöhle, insbesondere zu Verletzungen des Gingivaepithels führen (Bass 1948; Alexander et al. 1977; Breitenmoser et al. 1978; Plagman et al. 1978; Imfeld et al. 2000). Deshalb muss, um Schädigungen zu vermeiden, auf die notwendige Borstenabrundung hingewiesen werden (Bass 1948; Dreyfuß 1955; Arnold 1968; Riethe 1974; Klima und Rossiwall 1976; Lange 1977; Gülzow 1978).

Dies fand in der DIN-Norm 13917 des Normausschusses Dental (1988) sein Niederschlag, wo ebenfalls die Forderungen nach abgerundeten Borstenenden erhoben wurde.

Vorausgegangene Untersuchungen zeigen beträchtliche Unterschiede zwischen den Produkten. Viele Produkte weisen eine schlechte Borstenabrundung auf. Obwohl die technischen Voraussetzungen zur guten Abrundung der Borstenenden gegeben sind (Koçkapan und Wetzel 1987; Althaus et al. 1990; Müller et al. 1992; Rawls et al. 1993; Bienengraber et al. 1995; Imfeld et al. 2000; Jung et al. 2003) nutzen nicht alle Hersteller diese Möglichkeit (Schweizer- Hirt 1979; Massassati und Frank 1982; Adriaens et al. 1985; Dellerman und Burkett 1994; Checchi et al. 2001). Im Gegensatz zu Handzahnbürsten wurden elektrische Zahnbürsten hinsichtlich der Qualität der Borstenabrundungen noch nicht untersucht. Erst Checchi et al. (2004) berichteten kürzlich über Borstenabrundungen von elektrischen Zahnbürsten des italienischen Marktes.

Das haben wir zum Anlass genommen, eine Reihe von Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten von verschiedenen Herstellern des deutschen Verbrauchermarktes einer vergleichenden rasterelektronenmikroskopischen Analyse zu unterziehen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Qualität der Borstenenden von Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten zu evaluieren.

2. Literaturübersicht

2. 1 Epidemiologie von Karies und Gingivitiden/ Parodontopathien

Lange Zeit galt Karies als eine nicht zu verhindernde Zahnerkrankung. Seit einigen Jahrzehnten ist diese weit verbreitete Volkserkrankung jedoch beherrschbar und auch vermeidbar (Neumann und Saekel 1997).

Wie in anderen westlichen Industrieländern, geht seit Jahren auch in der Bundesrepublik Deutschland, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen, die Zahnkaries deutlich zurück (Reich 1995; Gülzow et al. 1996; Pieper 1998; Pieper 1999; Schiffner und Reich 1999; Gülzow und Farshi 2000; Pieper 2001).

Zur Messung der Kariesinzidenz beziehungsweise Prävalenz werden Indizes verwendet. Dabei hat sich der internationale DMF-S- bzw. DMF-T- Index durchgesetzt. Der DMF-S-Index beurteilt die Anzahl von Zahnoberflächen (Surfaces) im bleibenden Gebiss, die zerstört (Decayed), aufgrund von Karies extrahiert (Missing) oder gefüllt (Filled) wurden. Der DMF-T-Index summiert in gleicher Weise die Anzahl der Zähne (Teeth). Im Milchgebiss wird der dmf-s- bzw. dmf-t- Index verwendet.

In den DAJ-Studien (DAJ- Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege eV, Pieper 2001) aus den Jahren 1994/95 und 2000, die in verschiedenen Bundesländern durchgeführt wurden, waren Erfolge beim Kariesrückgang zu verzeichnen. Unter den sechs bis siebenjährigen Kindern lag der mittlere dmf-t-Wert 1994/95 bei 2,89. Im Jahre 2000 sank dieser Wert auf 2,21, welcher einem bundesweiten Kariesrückgang von 24 Prozent entspricht. Bei den Neunjährigen wurde 1994/95 ein DMF-T- Wert von 0,98 und im Jahre 2000 ein Wert von 0,45 registriert. In der Altersgruppe der Zwölfjährigen halbierte sich der mittlere DMF-T-Wert zwischen den Jahren 1994/95 und 2000 von 2,44 auf 1,21. Auch hier war ein Erfolg deutlich zu ersehen.

Die DMF-T- Werte für die Altersgruppe der 35 bis 44- Jährigen wurden in repräsentativen Studien der IDZ (Institut der Deutschen Zahnärzte, Micheelis und Reich 1999) in den Jahren 1989, 1991 und 1997 untersucht. Es wird deutlich, dass der bei den Kindern und Jugendlichen konstatierte Kariesrückgang bei den Erwachsenen kaum festzustellen ist. 1989 (IDZ West) wurde bei westdeutschen Erwachsenen ein DMF-T-Wert von 16,7 ermittelt, der 1997 (IDZ West) auf einen

Wert von 16,1 sank. In der IDZ-Ost Studie wurde 1992 bei 35-bis 44- Jährigen der ostdeutschen Bevölkerung ein DMF-T-Wert von 13,4 ermittelt. Im Vergleich dazu stieg dieser Wert 1997 auf 16,0 an.

Bei Senioren (65- bis 77-Jährige) lässt sich mit einem DMF-T- Wert von 23,6 ein hoher Kariesbefall feststellen.

Gingivitiden und Parodontopathien zeigen eine sehr weite Verbreitung. Untersuchungen zeigten eine Häufigkeitsrate der Gingivitis, die bei Kindern zwischen 9 % bis 95 % variierte (Brown und Loe 1993; Stamm 1986). Epidemiologische Studien (DMS III, 1999) haben gezeigt, dass etwa jedes zweite zwölfjährige Kind in Deutschland eine Zahnfleischentzündung aufweist.

Hugoson und Jordan (1982), Brown et al. (1990), Bhat (1991) stellten fest, dass die Gingivitis mehr als 60 % der erwachsenen Jugendlichen und 40-50 % der erwachsenen Bevölkerung betrifft. Eine Häufigkeitsrate der Gingivitis zwischen 70 % bis 90 % wurde bei Erwachsenen festgestellt (Stamm 1986; Brown und Loe 1993).

Nur wenige Studien haben sich mit der Prävalenz der parodontalen Zerstörung bei Kindern beschäftigt (Sjodin et al. 1993; Bimstein et al. 1994; Sjodin und Matsson 1994). Trotz der begrenzten Information zeigen die Studien, dass die präpubertäre Parodontitis eine seltene Form der Parodontopathie darstellt.

Rund 85 Prozent aller Erwachsenen (bis 65 Jahre) und 94 Prozent aller Erwachsenen ab 65 Jahren in Deutschland haben Parodontitis in verschiedenen Stadien, 14 Prozent der Erwachsenen bis 65 Jahren und 24 Prozent der Erwachsenen über 65 Jahren sogar in schwerer Form (DMS III, 1999).

2.2 Plaqueentstehung

Plaque ist ein strukturierter, zäher, verfilzter Zahnbelag (Biofilm) aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterienzellen. Die supragingivale Plaque ist primär an den habituell unsaubereren Bereichen der Zähne lokalisiert. Diese Regionen sind die Kariesprädispositionsstellen, d. h. Zahnfissuren und -grübchen, Approximalräume, das zervikale Drittel der sichtbaren Zahnkronen und freiliegende Wurzeloberflächen.

Die Entwicklung der Zahnplaque vollzieht sich in mehreren Schritten:

Auf einem gesäuberten Zahn bildet sich innerhalb von wenigen Minuten ein unstrukturierter azellulärer Film (acquired pellicle, exogenes Zahnoberhäutchen). Dieses Häutchen hat eine Dicke von 0,1 – 1 µm (Leach und Saxton 1966) und besteht in erster Linie aus Proteinen des Speichels und Sulcusflüssigkeit (Bennick et al. 1981; Eggen und Röllä 1984).

An die semipermeable Membran des Pellicels heften sich innerhalb weniger Stunden selektiv zuerst grampositive Kokken (*Streptococcus sanguis*) und Aktinomyzeten an. Später lagern sich weitere Streptokokken, Aktinomyzeten und Veillonellen an. Stäbchen und Filamente überwiegen in einer 7-14 Tage alten Plaque.

Die Plaque wächst durch Teilungsvorgänge bzw. Akkumulation weiterer Bakterien über spezifische Adhäsions- und Kohäsionsphänomene, durch direkten Zellkontakt oder mit Hilfestellung durch Plaquematrixkomponenten (Kolenbrander 1993; Bos et al. 1996). Mit zunehmendem Alter gewinnt die Plaque eher anaeroben Charakter.

Ausgereifte Plaque besteht aus dicht gepackten Bakterien (60-70 Volumen %), die in eine amorphe Plaquematrix eingebettet sind. In dieser ausgereiften Plaque findet man je nach Entnahmestellen im Mund eine teilweise extrem unterschiedliche bakterielle Zusammensetzung (Bowden et al. 1975). Sie hängt von Speichelzusammensetzung, Ernährung und Syntheseleistung der verschiedenen Plaquebakterien ab.

2.2.1 Plaque und Karies

Karies ist eine lokalisierte Erkrankung der Zahnhartsubstanzen, die sich je nach Schweregrad in unterschiedlicher Symptomatik äußert. Sie ist ein Prozess der Entkalkung und Auflösung von Schmelz und Dentin. Alle bis heute gesammelten Daten und Fakten zur Kariesentstehung und Kariesprogression deuten darauf hin, dass die bereits im Jahre 1898 aufgestellte Theorie zur Kariesentstehung von Miller (Chemoparasitäre Theorie) in modifizierter Form bis heute Gültigkeit hat. Dabei geht man von der Vorstellung aus, dass kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle (Plaque) bei einem Überangebot an kariogenem Substrat (speziell

niedermolekulare Kohlenhydrate) organische Säuren (z.B. Laktat) produzieren. Wirken diese lange genug auf die Zahnhartsubstanzen (Wirt) ein, werden diese demineralisiert.

Daneben können zahlreiche sekundäre Faktoren wie zum Beispiel Speichelfluss und –zusammensetzung, pH-Wert (bei einem pH-Wert unter dem kritischen Wert von 5,7) und Pufferkapazität des Speichels, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr genannt werden, welche die Entstehung bzw. Progression einer kariösen Läsion beeinflussen können.

Plaque ist ein notwendiger Faktor für die Kariesentstehung. Ihre Metaboliten sind für die Demineralisation der Zahnhartsubstanzen verantwortlich.

Im Tierversuch konnte nachgewiesen werden, dass *Streptococcus mutans*, welcher am häufigsten in einer kariogenen Plaque angetroffen wird, aufgrund seiner Stoffwechsellleistungen eine herausragende Rolle bei der Kariesentstehung spielt (Fitzgerald und Keyes 1960). Er besitzt die Fähigkeit, in Anwesenheit von Zucker (Saccharose) organische Säuren und extrazelluläre Polysaccharide (Glukane) zu synthetisieren. Insbesondere die wasserlöslichen Glukane (Mutane) erlauben eine feste Anheftung der Mikroorganismen an die Zahnoberfläche und die Etablierung einer adhäsiven und hochgradig kariogenen Plaque. Durch anaerobe Glykose kann *Streptococcus mutans* organische Säuren bilden (z. B. Laktat, Pyruvat), die bei längerer Einwirkzeit die Zahnhartsubstanzen demineralisieren.

Der Zusammenhang zwischen Plaque und Karies wurde in vielen Studien bewiesen. Budtz-Jorgensen et al. (1996) fanden an 80 jährigen Senioren heraus, dass Wurzelkaries in Verbindung mit hohen Plaqueraten ($p < 0.001$) auftritt. Auch Lundgren et al. (1997) konnten einen positiven Zusammenhang zwischen Plaquewerten und Wurzelkaries an 92-jährigen Patienten bestätigen.

2.2.2 Plaque und Gingividen/ Parodontopathien

Die Erkrankungen des Parodonts (Zahnhalteapparat) sind mannigfaltig. Im Vordergrund stehen die plaqueassoziierten Gingividen (Zahnfleischentzündungen, ohne Attachmentverlust) und Parodontitiden (entzündungsbedingter Zahnbettschwund).

Die Gingivitis beschränkt sich auf die marginalen Weichgewebe. Sie manifestiert sich klinisch durch Blutung bei Sondierung des gingivalen Sulcus, in schweren Fällen durch Rötung und Schwellung besonders im Bereich der Papillen.

Bei reduziertem Immunstatus, der Präsenz von Risikofaktoren und proinflammatorischen Mediatoren sowie einem Überhandnehmen parodontopathogener Bakterien kann sich aus der Gingivitis eine Parodontitis entwickeln. Die Entzündung der Gingiva greift dann auf die tieferen Strukturen des Zahnhalteapparates über. Es kommt zur Desintegration des Kollagens und zum Knochenabbau (Attachmentverlust). Das Saumepithel wandelt sich in ein Taschenepithel, das nach apikal und lateral proliferiert. Es entsteht eine pathologische Tasche. Diese ist ein Schlupfwinkel und Reservoir für pathogene Bakterien, welche die Parodontitis unterhalten und ein Fortschreiten der Erkrankung fördern können. Als Parodontitis wird eine entzündliche Erkrankung des Zahnhalteapparates und Alveolarknochenabbau bezeichnet.

Seit den inzwischen klassischen Modellversuchen zur experimentellen Gingivitis (Löe et al. 1965; Theilade et al. 1966) ist der bakterielle Zahnbelag als entscheidender auslösender Faktor für die gingivale Entzündungsreaktion unbeschritten.

Eine experimentelle Gingivitis-Studie (nach Renggli 1984) konnte verdeutlichen, dass mit zunehmender Dauer der Plaqueakkumulation (Verzicht der Mundhygienemaßnahmen) bereits innerhalb von drei Tagen erste leichte Entzündungszeichen der Gingiva auftreten. Nach fünf bis sieben Tagen tritt klinisch eine Gingivitis, d. h. eine akute oder chronische Entzündung der Gingiva auf.

Epidemiologische und klinische experimentelle Modellversuche an Menschen und an verschiedenen Tieren haben bewiesen, dass die Gingivitis und die verschiedenen Formen der parodontalen Erkrankung durch die Ansammlung der Plaque an Zahnoberflächen und Zahnfleischrändern verursacht wird (Löe et al. 1965; Theilade et al. 1966; Lindhe et al. 1973; Quirynen et al. 1991; Baehni und Bourgeois 1998).

2.3 Prävention

Die Ursachen von Karies und entzündlichen marginalen Parodontopathien und Gingivitiden sind hinreichend belegt. Die bakterielle Plaque nimmt eine primäre Stellung unter den lokalen Faktoren ein. Bei den heute üblichen Präventionsstrategien zur Verhinderung von Karies, Gingivitiden und Parodontopathien spielt die Kontrolle des Plaquewachstums eine große Rolle.

Die Grundpfeiler der Prävention bestehen aus:

1. Zahn- und Mundhygiene
2. gesundheitsbewusstes Ernährungsverhalten
3. Anwendung von Fluoriden
4. Fissurenversiegelung

Die geschilderten Zusammenhänge verdeutlichen die Notwendigkeit intensiver Prophylaxemaßnahmen schon ab dem frühen Kindesalter.

2.3.1. Zahn- und Mundhygiene

Es gibt zwei Methoden zur Plaquereduktion. Diese sind:

1. Mechanische Plaquereduktion/Plaquekontrolle
2. Chemische Plaquereduktion/Plaquekontrolle

1. Mechanische Plaquereduktion/Plaquekontrolle

Bei der mechanischen Plaquereduktion bedarf es der Anwendung von Putzmethoden und Hilfsmitteln, welche individuell auf den einzelnen Patienten abgestimmt sein müssen. Es sollten nur solche Methoden und Hilfsmitteln empfohlen werden, zu deren sinnvoller Anwendung der Patient willens und in der Lage ist.

Zahnbürste: Die Zahnbürste sollte einen kurzen Bürstenkopf (ca. 2,5 cm Länge) mit elastisch geraden, an den Enden abgerundeten Kunststoffborsten besitzen. Die Dicke der Borsten sollte 0,18- 0,25 mm, die Länge der Borsten 10-12 mm betragen. Die Borsten sollten mittelhart und zu Büscheln von je 20-40 Borsten (multi-tufted) angeordnet sein.

Elektrische Zahnbürste: Die zur Zeit im Handel erhältlichen elektrischen Zahnbürsten lassen sich aufgrund ihrer Putzbewegungen in drei Gruppen einteilen. Diese sind rotierend/oszillierende elektrische Zahnbürsten und Ultraschallzahnbürsten und Schallzahnbürsten.

Interdentalhygiene: Gingivitis und Parodontitis sind im Interdentalbereich regelmäßig stärker ausgeprägt als oral und fazial. Auch Karies tritt häufiger im Approximalbereich als an den oralen und fazialen Glattflächen auf. Deshalb sollte die Interdentalhygiene, die durch Zahnbürsten bzw. elektrische Zahnbürsten nicht gewährleistet ist, durch zusätzliche geeignete Hilfsmittel vervollständigt werden. Dazu gehören:

Zahnseide: Das wichtigste Instrument zur Reinigung des Approximalbereichs der Zähne und der engen Interdentalräume ist die Zahnseide. Man unterscheidet gewachste oder leicht gewachste Zahnseide, ungewachste Zahnseide und Superfloss. Die verschiedenen Zahnseidesorten haben je nach ihrem Durchmesser und ihrer Oberflächenbeschaffenheit unterschiedliche Indikationsbereiche.

Zahnsticks/-hölzer: Sie können an engen oder leicht erweiterten Approximalraum eingesetzt werden. Je nach Größe des Approximalraums gibt es sie in unterschiedlichen Stärken.

Interdentalraumbürsten: Weite Interdentalräume, freiliegende Furkationen, Wurzel-einziehungen und Konkavitäten können mit Interdentalraumbürsten gereinigt werden.

Mundduschen (Wasserstrahlgeräte): Mundduschen erleichtern die Entfernung von eingeklemmten Speiseresten und lose anhaftender Plaque. Fest angehaftete Plaque kann nicht mit Wasserstrahlgeräten entfernt werden.

2. Chemische Plaquekontrolle

Mit Hilfe der chemischen Plaquereduktion wird versucht, die mechanische Mundhygiene zu unterstützen. Antibakteriell wirkende Substanzen können mit Hilfe von Zahnpasten, Spüllösungen, Gelen oder Lacken appliziert werden. Eine ideale Substanz zur chemischen Plaquereduktion ist bislang nicht gefunden worden. Ein

wirksames chemisches Mittel sollte eine mindestens 80-prozentige Plaquehemmung zeigen. Diese Quote erreicht bis heute nur das Bisbiguanid Chlorhexidin (CHX). Chlorhexidin wirkt antibakteriell. Es wirkt bakteriostatisch und bakterizid gegen grampositive Bakterien und in höheren Dosierungen auch gegen gramnegative Bakterien bakterizid. Zahlreiche Studien bestätigen die Wirksamkeit dieses Wirkstoffes bei Vorbeugung der Plaque und Gingivitis (Löe 1986; Kornman 1986; Addy et al. 1993). In einer weiteren Studie wurde eine signifikante Reduktion von Karies bewiesen (Zickert et al. 1982). Aufgrund von Nebenwirkungen wie Verfärbungen oraler Gewebe und Geschmacksirritationen sowie Schleimhautveränderungen wird einer langfristigen Anwendung zum Zwecke der Prävention abgeraten. Sie sollte therapeutischen Indikationen vorbehalten sein.

Andere Mittel der chemischen Plaquereduktion wie Metallionen, quarternären Ammoniumverbindungen, phenolischen Substanzen, Sanguinarin, Fluoride, Aminoalkohole, Enzymen (z. B. Gylukoseoxydase), Sauerstoff abspaltende Verbindungen (wie z. B. Wasserstoffperoxid, Natriumperborat oder Natriumperkarbonat) sind im Vergleich zu Chlorhexidin weniger wirkungsvoll (Schiffner 1995). Aminoalkohole zum Beispiel, die nicht bakterizid wirken, verhindern die Bildung des Biofilms.

In wie weit Fluorid einen Effekt auf Plaque– Mikroorganismen hat, wurde in mehreren Studien untersucht. Nach Zahradnik et al. (1978) und Streckfuss et al. (1980) kommt dem Fluorid möglicherweise ein direkter Effekt auf Plaque-Mikroorganismen zu. So wird die bakterielle Adhäsion an der Zahnoberfläche beeinträchtigt. Außerdem können Fluoride in entsprechender Konzentration auch in den bakteriellen Stoffwechsel eingreifen. Dabei werden der Abbau von Kohlenhydraten zu sauren Intermediärprodukten und die Synthese von Polysacchariden gehemmt. (Klement und Siebert 1985; Hamilton 1990; Van Loveren 1990). Schließlich wird durch Fluorid die Säuretoleranz von Plaque-Mikroorganismen verringert (Marquis 1990).

2.3.2 Ernährung: Ernährung und Ernährungslenkung

Die Bedeutung des primären Faktors Ernährung in der Ätiologie der Karies ist wissenschaftlich besonders gut dokumentiert. Wie Experimente mit Tieren und

Menschen sowie epidemiologische Untersuchungen eindeutig zeigen, tragen vergärbare Kohlenhydrate (Nikiforuk 1985), wie Saccharose, Glukose, Fructose, Maltose, Lactose, weiterverarbeitete Stärke u. a. zur Kariesentstehung bei. Besonders der Saccharose kommt eine Schlüsselrolle zu (Nikiforuk 1985), da sie von kariogenen Mikroorganismen bevorzugt abgebaut wird .

Bauch et al. (1991) untersuchten die Beziehung zwischen Zuckerkonsum und Kariesmorbidity bei Erwachsenen (35-54 Jahre) und Jugendlichen (13-14 Jahren). Mit steigendem Zuckerkonsum steigt die Kariesmorbidity in beiden Gruppen an. Die Unterschiede zwischen den Gruppen mit niedrigem, mittlerem und hohem Zuckerkonsum waren signifikant.

Wichtig für die Kariesentstehung ist auch die Zeitspanne, in der sich leicht metabolisierbare Kohlenhydrate in der Mundhöhle befinden. Die Häufigkeit der Zuckerezufuhr korreliert eng mit der Kariesinzidenz. Bei häufigem Zuckerangebot werden vor allem durch Streptokokken und Laktobazillen schnell große Mengen Säure (Milch-, Essig- Propion- und Buttersäure) produziert, die den Schmelz unter der Plaque demineralisieren und zu Karies führen.

Auch die Klebrigkeit von Zucker spielt eine gewisse Rolle. Nikiforuk (1985) zeigte den großen Einfluss der Einnahmefrequenz und Klebrigkeit von Zucker auf die Kariesentstehung. In einem Feldversuch (Vipeholm-Studie) wurde einer größeren Personengruppe Zucker in Form von Karamellbonbons über den ganzen Tag verteilt verabreicht, während eine Kontrollgruppe die Zuckertagesration in Form von Nachspeisen zu den Hauptmahlzeiten einnahm. Das Resultat war, dass in der Kontrollgruppe über die gesamte Versuchsdauer nur relativ wenig neue kariöse Läsionen entstanden. In der experimentellen Gruppe genügten schon relativ geringe Zuckermengen um viel Karies zu verursachen.

Hauptziel der Bemühungen zur Kariesreduktion durch Ernährungslenkung sind die zuckerhaltigen Zwischenmahlzeiten. Dabei sollte insbesondere die Frequenz der Zwischenmahlzeiten, die niedermolekulare Kohlenhydrate enthalten, gesenkt werden. Zu empfehlenswerten Zwischenmahlzeiten gehören z. B. Milch und Milchprodukte, Quark, Obst und Gemüse, Säfte und Nüsse, sofern ihnen kein Zucker zugesetzt wird. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass auch diese Nahrungsmittel bei zu häufiger Zufuhr zahnschädlich sein können. Der Zuckerkonsum ist möglichst auf Hauptmahlzeiten zu beschränken. Günstigen pH-Verhältnissen in der Plaque stehen dann nur kurze Zeiten gegenüber, in denen die

Mikroorganismen Säure produzieren und der pH-Wert in der Plaque absinkt. Das Ernährungsverhalten aller Patienten mit hohem Kariesrisiko sollte durch eine Ernährungsanamnese ermittelt werden. Die Durchsicht dieser Daten mit dem Patienten erlaubt dem Zahnarzt, den individuellen Zusammenhang zwischen Zucker, Einnahmefrequenz, Klebrigkeit und Kariesentstehung zu ermitteln.

Die Empfehlung sollte immer darauf hinauslaufen, zuckerhaltige Zwischenmahlzeiten durch nicht-zuckerhaltige zu ersetzen. Dadurch senkt sich die Gesamtzeit der Demineralisation zugunsten von Phasen, in denen eine Remineralisation erfolgen kann.

Desweiteren sollten süße Zwischenmahlzeiten auf Zuckeraustauschstoffen basieren, wie zum Beispiel Sorbit, Mannit und Xylit, da diese von kariogenen Mikroorganismen nur langsam oder überhaupt nicht abgebaut werden können.

2.3.3 Fluoride

Fluoride nehmen eine zentrale Rolle in der Kariesprophylaxe ein, indem sie die Widerstandskraft der Zahnhartgewebe gegenüber der kariogenen Noxen steigern kann.

Fluorid gilt als wichtiges Spurenelement, das als Kristallisationskeim eine große Bedeutung für die Bildung von Knochen und Zähnen hat (Karlson 1984).

Systematische und lokale Fluoridierung:

Lange Zeit wurde die Wirkung von Fluorid hauptsächlich auf seinem festen Einbau in das Kristallgitter der Zahnhartsubstanz zurückgeführt. Daher wurde der systemischen Fluoridgabe in der präeruptiven Phase, z.B. in Form von Fluoridtabletten (Kariesreduktion liegt zwischen 28 und 61 %), eine wichtige Bedeutung beigemessen. Man glaubte dadurch den Zähnen bereits vor ihrem Durchbruch einen dauerhaften Schutz vor Karies zu verleihen. Zunehmend wuchs jedoch die Erkenntnis, dass präeruptiv - eingelagertes bzw. fest gebundenes Fluorid nahezu keine kariesprophylaktische Bedeutung hat (Merwe et al. 1977; Ögaard et al. 1990; Reich et al. 1992).

Zahlreiche Studien in den letzten Jahrzehnten haben verdeutlicht, dass Fluorid vor allem lokal (durch Zahnpasten, Gele, Lacke, Lösungen) an der Schmelzoberfläche

wirkt (Featherstone 1999; Clarkson 2000). An der Schmelzoberfläche besteht normalerweise ein Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisationsvorgängen. Liegen kariesfördernde Bedingungen vor, ist dieses Gleichgewicht gestört; somit überwiegen Demineralisationsvorgänge. Diese Abläufe werden durch Fluorid beeinflusst. Fluorid fördert die Remineralisation und verkürzt die Demineralisationszeit (White und Nancollas 1999; Ten Cate und Featherstone 1996; Hellwig 1996). Dabei wird Fluorid unter anderem aus der sogenannten Deckschicht mobilisiert. Bei regelmäßiger lokaler Fluoridzufuhr bildet sich an der Schmelzoberfläche ein kalziumfluoridähnliches Präzipitat, welches als Fluoridreservoir anzusehen ist. Sinkt infolge des Kariesprozesses der pH-Wert an der Schmelzoberfläche ab, wird Fluorid aus dieser Deckschicht freigesetzt und steht für die Förderung der Remineralisation beziehungsweise für die Hemmung der Demineralisation zur Verfügung. Zum Erhalt dieser Deckschicht sind regelmäßige lokale Fluoridapplikationen notwendig (Rölla 1988; Hattab et al. 1988; Ögard 1990; White und Nancollas 1990; Ten Cate 1997). Heutzutage gilt die lokale Fluoridierung als eindeutig wirksam (Gülzow et al. 2000). Dabei ist die ständige Verfügbarkeit von Fluorid an der Zahnoberfläche wichtig.

Die Wirksamkeit des Fluorids hängt im wesentlichen von der Anwendungshäufigkeit und der Fluoridkonzentration des verwendeten Produktes ab (Marthaler 1990).

Bevölkerungsbezogen ist die Trinkwasserfluoridierung nach wie vor die wirksamste Form der Fluoridierung. Nach Angabe der Weltgesundheitsorganisation WHO (1994) lässt sich mit der Trinkwasserfluoridierung Karies bei Milchzähnen um 40-49 % und bei bleibenden Zähnen um 50-59 % hemmen.

Fluoridiertes Speisesalz kann genauso effektiv wie die Trinkwasserfluoridierung sein. Entscheidend ist die optimale Dosierung. Fluoridzahnpasten hemmen bei regelmäßiger Anwendung die Karies um etwa 25 % (Clarkson et al. 1993). Lacke, Gelees und Spüllösungen dienen ebenfalls der lokalen Fluoridierung. Die halbjährliche Anwendung von Duraphat-Lack hemmt die Karies um durchschnittlich 38 % (Helfenstein und Steiner 1994). Ähnliches gilt für Spüllösungen und die wöchentliche Anwendung eines Gelees mit 1,25 % Fluorid (Marthaler et al. 1970; Fure et al. 1988).

2.3.4 Fissurenversiegelung

Generell sind Grübchen und Fissuren der Zähne kariesanfälliger als andere Zahnbereiche. Während okklusale Zahnflächen nur 12,5 % aller Zahnflächen ausmachen, entstehen 50 % aller kariösen Defekte bei Schulkindern in diesem Bereich, d. h. schon zwei bis vier Jahre nach Zahndurchbruch werden die Fissuren kariös.

Am häufigsten von Karies befallen sind die ersten und zweiten Molaren (U.S. Public Health Service 1993; Steiner et al. 1994; Lussi et al. 1995; Heinrich-Weltzien et al. 1997). Bei sieben bis neunjährigen Kindern sind bereits bis zu 80 % der bleibenden Molaren kariös und gefüllt. Dabei beträgt der Anteil der Okklusalkaries 70-100 %.

Ein Grund für die extreme Kariesanfälligkeit ist die Morphologie der Grübchen und Fissuren. Der Abstand des Fissurengrunds zum Dentin ist oft klein. Eine Fissurenkaries führt rasch zur Dentinkaries mit unterminierender Ausbreitung. Fissuren sind bei ungünstiger Morphologie einer Reinigung nicht zugänglich. Die Zahnbürstenborsten (Monofildurchmesser \varnothing 150 μm) gelangen nicht bis zum Boden der Fissur (Fissurendurchmesser \varnothing minimal 6 μm), so dass sich bakterielle Plaque, Speisereste und Zellbestandteile ansammeln können. Die Puffer- und Remineralisationswirkung des Speichels nach kariösen Angriffen ist dementsprechend reduziert. Die Entstehung und Progression der Fissurenkaries kann zudem durch Fluoridierungsmaßnahmen nur sehr begrenzt beeinflusst werden, da Fluoride nach lokaler Applikation nur schlecht durch die Fissurenplaque hindurch diffundieren können.

Die Fissurenversiegelung ist eine in vielen Studien bewährte Methode zur Verhinderung von Karies in Fissuren und Grübchen (National Institutes of Health 1984). Dabei wird in Fissuren und Grübchen präventiv ein niedrig visköses Versiegelungsmaterial appliziert und ausgehärtet. Die Plaqueretentionsstelle wird auf diese Weise in prophylaxefähige Glatflächen umgewandelt. So können kariogene Mikroorganismen und kariogenes Substrat keinen Zugang mehr finden. Desweiteren soll das Wachstum von noch vorhandenen Mikroorganismen unter dem Fissurenversiegler verhindert werden.

2.4 Mechanische Plaquekontrolle

2.4.1 Techniken:

Zahnputztechnik mit der Handzahnbürste:

Zur Reinigung der einzelnen Zähne werden je nach vorliegender Zahnfleischerkrankung und anatomischen Verhältnissen verschiedene Zahnputztechniken empfohlen.

Diese Putzmethoden können in verschiedene Kategorien eingeteilt werden, je nach dem Bewegungsmuster, das durch die Bürste ausgeführt wird:

- Roll Methode: „Rolling stroke“
„Modified Stillmann“
- Vibrierende Methode: „Stillmann“
„Bass“
- Kreisende Methode: „Fones“
- Vertikale Methode: „Leonard“
- Horizontale Methode: „Scrub“

In einer großen Anzahl von Studien wurden Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Putzmethoden durchgeführt. Dabei wurde die Putztechnik bei Kindern (Sagnes 1974) und Jugendlichen (Rugg-Gunn et al. 1979) untersucht. Sagnes (1974) und Rugg-Gunn et al. (1979) berichteten, dass die horizontale Schrub-Technik ein besseres Plaqueentfernungspotential besitzt als die Rolltechnik.

Arai und Kinoshita (1977) verglichen sechs Putztechniken und fanden heraus, dass die Fones und Schrub-Technik effektiv in der Plaquebeseitigung waren.

Gibson und Wade (1977) testeten die Plaqueentfernung durch die Bass und Roll-Methoden an 38 Zahnmedizinstudenten. Die Bass-Technik war der Roll-Methode hinsichtlich der Reinigung der Zähne nahe des Zahnfleisches an der lingualen und fazialen Fläche überlegen. Aber an der Gesamteffektivität wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Bergenholtz et al. (1984) untersuchten den Effekt des Zähneputzens an erwachsenen Patienten, die die Bass-, die Roll-, die kreisende Schrub und die horizontale Schrub Methoden anwendeten. Dabei war die Rolltechnik an der

bukkalen Fläche in der Plaqueentfernung weniger effektiv. Die Bass-Methode hingegen war signifikant besser, insbesondere an der Zungenseite.

Bastiaan (1984) fand die kombinierte Putztechnik der modifizierten Bass- und Rolltechnik weniger effizient als die einfache Bass-Technik, die eine Woche lang an 39 Patienten untersucht wurde.

Aufgrund der verschiedenen experimentellen Bedingungen sind die Studien über die Effizienz der Putzmethoden schwierig zu vergleichen. Bis jetzt wurde keine Putzmethode als eindeutig überlegen angesehen.

Bereits 1986 kommentierte Frandsen zu diesem Thema: „Die Untersucher haben realisiert, dass die Verbesserung der Mundhygiene nicht von der Entwicklung besserer Putzmethoden abhängt, sondern von der verbesserten Leistung der Personen, die eine von den akzeptierten Methoden anwenden.“

2.4.2 Zahnpasta

Zahnpasten sind ein wirksames Mittel zur Karies- und Gingivitisprophylaxe und sind in der täglichen häuslichen Mundhygiene unverzichtbar.

Sie erfüllen im wesentlichen drei Aufgaben:

- eine mechanische Aufgabe durch Entfernung der Plaque
- eine pharmakologische Aufgabe durch Einbringen pharmakologisch wirksamer Substanzen
- eine kosmetische Aufgabe durch Säubern und Polieren der Zahnoberfläche und Erfrischung des Atems

Zahnpasten sind kosmetische Mittel und unterscheiden sich von Arzneimitteln. Zahnpasten dürfen maximal 0,15 % Fluoridionen enthalten.

Zahnpasten setzen sich aus verschiedenen Einzelbestandteilen zusammen:

Je nach Zahnpaste liegen 15-55 % Abrasivmittel in einer Zahnpaste vor. Sie erleichtern die Entfernung der Plaque und die Politur der Zahnoberfläche. Die Putzkörper können sich bei verschiedenen Fabrikaten unterscheiden, nicht nur in Bezug auf ihre Chemie (Phosphate, Karbonate, Silika, Alumina etc.), sondern besonders auch auf die Partikelgröße und Form (gerundet, eckig).

Weiterhin sind in einer Zahnpasta Feuchthaltemittel, Bindemittel, Konservierungsstoffe, Tenside und Aromastoffe enthalten.

Als Kariostatika sind in Pasten Fluoride (0,1-0,15 %) beigemischt. Die Fluoride sind in Form von Zinnfluorid, Natriumfluorid, Natriumnonofluoridphosphat und Aminfluorid zugefügt.

Plauehemmende Wirkstoffe, wie Chlorhexidin, Sanguinarien oder die Enzyme Amyloglucosidase/Glucoseoxidase, besitzen antimikrobielle Eigenschaften. Zahnsteininhibitoren wie Pyrophosphate und Polyphosphate hemmen die Ausfällung von Kalziumsalzen aus dem Speichel und beugen so der Kristallisation und supragingivalen Zahnsteinbildung vor.

Pflanzliche Extrakte, wie z. B. Chamazulen, wirken antiphlogistisch. Vitamin A wird vom Gingivagewebe resorbiert und fördert die Zellproliferation.

Zur Desensibilisierung hypersensibler Zähne werden Fluoridverbindungen Strontiumchlorid oder Kaliumnitrat den Zahnpasten zugesetzt.

2.4.3 Zahnputzhäufigkeit und -dauer

In neueren Studien finden sich vermehrt Arbeiten, welche einen Zusammenhang zwischen täglicher Putzhäufigkeit und dem Kariesbefall feststellen. Dies gilt sowohl für das Milchgebiss als auch für das bleibende Gebiss. Es konnte gezeigt werden, dass der karieshemmende Effekt zweimaligen täglichen Zähneputzens größer ist als derjenige, welcher bei lediglich einmaligem täglichen Putzen auftritt. Dabei wurde festgestellt, dass durch regelmäßige, mehrmals täglich durchgeführte Zahnreinigung eine gewisse Reduktion pathogener Mikroorganismen erfolgte (König 1993). Aus diesen Feststellungen folgt, dass die Empfehlung, täglich mehrmals die Zähne zu reinigen, weiterhin Gültigkeit hat (Schiffner 1995).

Die Umfragen zu den Untersuchungen eines Zeitraums von 20 Jahren haben gezeigt, dass der durchschnittliche Zeitaufwand für das Zähneputzen von ca. 20 Sekunden (1970) auf 70 Sekunden (1993) pro Reinigung angestiegen ist (Frunz 1979; Emling et al. 1981; Mintel und Crawford 1992; Cancro und Fischman 1995; Saxer et al. 1998). Ein ähnliches Ergebnis wurde in einer Studie über manuelle und elektrische Zahnbürsten gefunden (Van der Weijden et al. 1993). Zimmer et al. (1999) ermittelten sowohl mit manuellen als auch mit elektrischen Zahnbürsten eine durchschnittliche Zahnputzzeit von 134,1 und 148,8 Sekunden. Hawkins et al.

(1986) hatten mit Handzahnbürsten eine „ideale“ Zahnputzdauer von 5,1 Minuten ermittelt.

Die Mehrheit der allgemeinen Bevölkerung putzt ihre Zähne nicht wie empfohlen über einen Zeitraum von 2 Minuten (Macgregor und Rugg-Gunn 1979; Macgregor und Rugg-Gunn 1985; Mintel und Crawford 1992; Cancro und Fischman 1995), insofern kann kein effektiver Schutz vor Plaque und daraus resultierender Karies und Gingivitis/ Parodontitis gegeben werden (Saxer und Yankell 1997).

2.5 Die elektrische Zahnbürste

Adäquate Mundhygiene ist ein wichtiger Bestandteil der Gesunderhaltung der Mundhöhle (Fischman 1997). Das am weitesten verbreitete Produkt zur mechanischen Plaqueentfernung und somit zur Erhaltung der oralen Gesundheit ist die Handzahnbürste. Manuelle Zahnbürsten verlangen vom Benutzer, dass er eine adäquate Bürstbewegung durchgeführt, also die Zahnbürste in toto im Mund richtig bewegt und dabei Plaque von Zahnoberflächen entfernt. Nur wenn das manuelle Putzen richtig und lange genug durchgeführt wird, ist es effektiv. Diese Voraussetzung wird jedoch von den wenigsten Personen erfüllt. Um eine Verbesserung in der mechanischen Plaqueentfernung zu erzielen, wurde die elektrische Zahnbürste entwickelt.

Die ersten elektrischen Zahnbürsten wurden erst um 1960 eingeführt. Sie hatten einen Bürstenkopf, welcher fähig war, mit Hilfe elektrischer Energie verschiedene Bewegungen durchzuführen. Diese elektrische Zahnbürste ahmte die schrubbenden Vor- und Rückwärtsbewegungen einer Handzahnbürste nach.

Die Ergebnisse von frühen Studien über die Fähigkeit elektrischer Zahnbürste zur Beseitigung von Zahnplaque waren sehr unterschiedlich. Neben den Behauptungen, dass eine elektrische Zahnbürste wirksamer sei als eine konventionelle Zahnbürste (Cross et al. 1962; Savastano 1962; Derbyshire und Mankondi 1964), fanden Birch und Mumford (1963) und Chansens und Marcus (1968) heraus, dass elektrische Zahnbürsten weniger effektiv waren als manuelle Zahnbürsten. Bei einer ganzen Reihe von Studien konnte hinsichtlich des Reinigungseffektes zwischen elektrischen und manuellen Zahnbürsten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Chilton et al. 1962; Quigley und Hein 1962; Elliot 1963; Ash 1964; Kobayashi und Ash 1964; McKendrick et al. 1968).

Wegen fehlender Überlegenheit und technischer Probleme konnte sich die elektrische Zahnbürste zunächst nicht durchsetzen. Ende 1960 verschwand sie vom Markt. Die elektrische Zahnbürste wurde für Behinderte und Personen mit reduzierter Geschicklichkeit vorbehalten. Der World Workshop in Periodontics (1966) empfahl die elektrische Zahnbürste insbesondere Personen, die in der Mundpflege nicht motiviert sind und die Schwierigkeiten in der Durchführung der geeigneten Putztechnik hatten (Greene 1966).

In den 80er Jahren folgte die Entwicklung verbesserter Konstruktionen wie zum Beispiel oszillierend/rotierende Bürsten oder Bürsten, welche mit hoher Frequenz arbeiteten (Fischman 1997).

2.5.1 Aufbau elektrischer Zahnbürsten

Moderne elektrische Zahnbürsten zeigen im allgemeinen einen ähnlichen Aufbau. Der Elektromotor, der sich im Griff der elektrischen Zahnbürste befindet, wird durch Batterien oder Akkumulatoren betrieben. An Arbeitsbewegungen der Bürstenköpfe unterscheidet man einerseits zwischen rotierender bzw. oszillierender, andererseits vibrierender Bewegung.

Zusätzlich führen bei manchen Produkten magnetostriktive Einheiten zu einer starken Erhöhung der Rotations- bzw. Oszillationsfrequenz. Piezo-elektrische Energieumwandler, die höhere Schwingungen erzeugen können, sind in schallaktiven elektrischen Zahnbürsten enthalten (Hotta und Aono 1992; Terezhalmly et al. 1994).

Die Griffgestaltung der elektrischen Zahnbürste entscheidet wesentlich darüber, ob eine Bürste leicht zu handhaben ist oder nicht. Der Griff soll einfach und sicher in der Handhabung sein; zweckmäßig sind Retentionen oder Stopper für die Finger, die das Rutschen des Griffes aus der Hand bei Nässe verhindern. Das Gerät sollte unkompliziert ein- und ausschaltbar sein. Diese aufgezählten Punkte verbessern die Ergonomie und Tragen zur besseren Anwendbarkeit und Komfort bei.

Die Bürstenköpfe von elektrischen Zahnbürsten sind gewöhnlich kleiner und kompakter als die von Hahnzahnbürsten, nur unterscheiden sie sich in Form und Größe. Auf dem Markt werden elektrische Zahnbürsten sowohl mit runden als auch mit rechteckigen Bürstenköpfen angeboten.

Die Größe des austauschbaren Wechselkopfes (Aufsteckbürste) schwankt beträchtlich und reicht vom herauslösbaren Innenteil des Funktionsendes bis zum gesamten Bürstenkopf mit anhängigem Stumpfteil des Handgriffes.

Die Anordnung der Borsten auf dem Bürstenkopf ist variantenreich. Die Borstenbüschel sind entweder in Reihen (wie bei einer konventionellen Zahnbürste) oder in einem runden Muster (auf einem runden Bürstenkopf) angeordnet.

Ein weiteres Merkmal unter den Produkten ist der Schnitt der Besteckung. Es beschreibt die räumliche Oberflächenform des Borstenfeldes. Es kann plan, ausgezahnt oder konturiert (z. B. konkav oder konvex) sein.

Die neue Generationen elektrischer Zahnbürsten enthalten weitere Konstruktionsmerkmale, die die Effizienz bei der Plaqueentfernung verbessern und Abrasionen von Hartgewebe sowie Weichgewebstraumen reduzieren sollen (Heasman 1998).

Zu diesen Merkmalen gehören abgewinkelte Aufsteckbürsten, um die effizientere Plaquebeseitigung im Seitenzahnbereich und in den Interdentalräumen zu ermöglichen. Weiterhin gehören dazu orthodontische Wechselköpfe für Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen, rotierende Borstenbüschel für die interdental Reinigung sowie ein hörbarer Klickmechanismus, um dem Anwender zu signalisieren, wenn der optimale Anpressdruck der Bürste erreicht ist.

2.5.2 Arbeitsbewegung elektrischer Zahnbürsten

Die neuen elektrischen Zahnbürsten lassen sich aufgrund ihrer Putzbewegung in zwei Gruppen einteilen.

Diese sind:

1. Elektrische Zahnbürsten mit rotierend/oszillierender Arbeitsbewegung. Dabei kann die Rotationsbewegung entweder als eine Bewegung des Borstenfeldes oder als eine Bewegung der einzelnen Borstenbüschel um ihre eigene Achse erfolgen.
2. Elektrische Zahnbürsten, die mit Vibrationen arbeiten, wobei die Vibrationsfrequenzen unterschiedlich sein können (Johnson und McInnes 1994; Terezhalmly et al. 1994). Die Geräte mit magnetostriktiven Einheiten können

Vibrationsfrequenzen von 40 Hz bis zu 250 Hz erzeugen. Die Geräte, die mit piezo-elektrischen Energieumwandlern arbeiten, können höhere Vibrationsfrequenzen erzeugen. Aufgrund der höheren Vibrationsfrequenz werden diese Geräte auch schallaktive oder Ultraschallzahnbürsten genannt.

Neben der mechanischen Plaqueentfernung durch den Kontakt der Borsten mit der Zahnoberfläche kommt es zusätzlich zum Phänomen des Plaqueabrisses. Dabei löst sich Plaque von Zahnoberflächen allein durch die schallbedingte Wirkung, ohne dass die Borsten direkten Kontakt mit den Belägen haben. Durch die Verwendung des niederfrequenten Schalls kann eine dynamische Fließaktivität erzeugt werden, um Plaque an Regionen zu beseitigen, in die die Borsten sonst nicht vordringen (Engel et al. 1993; Johnson und McInnes 1994; Emling und Yankell 1997; Stanford et al. 1997).

Die Kavitation stellt das Reinigungsprinzip von Ultraschall dar. Dabei wird durch hochfrequente Vibrationen eine Bläschenbildung in einer Flüssigkeit erzeugt, die aufgelagerte Verschmutzungen ablöst bzw. absprengt. Ultraschallgeräte werden aufgrund ihrer Kavitationsfähigkeit auch bei der Reinigung von dentalem Hartgewebe und bei der Wurzelkanalaufbereitung eingesetzt (Ahmad et al. 1987; Walmsley et al. 1992). Die Bläschenaktivitäten der Kavitation des Ultraschalls reichen von der sanften linearen Pulsation von gasgefüllten Körpern (stabile Kavitation) bis zur hoch destruktiven Form der flüchtigen Kavitation (Noltingk und Neppiras 1950; Flynn 1964; Nyborg 1977; Williams 1983). Außerdem führten Schallvibrationen in in-vitro Studien zu einer signifikanten Reduktion der oralen Plaquebakterien, die die Fähigkeit haben, sich an harte Oberflächen anzuheften (McInnes et al. 1990; 1992; 1993; WuYuan et al. 1994).

In wie weit Ultraschallzahnbürsten im Vergleich zu Ultraschallscalern ebenfalls eine Kavitation erzeugen, ist wegen der relativ niedrigen Frequenzbereiche zweifelhaft. Am ehesten ist die schallinduzierte Mikrozirkulation das physikalische Phänomen, welches zur Entstehung relativ großer hydrodynamischer Scherkräfte führt, die dentale Plaque ablösen kann (Walmsley 1997).

Insofern zeigen die Ergebnisse vergleichbarer in-vitro und in-vivo Studien hinsichtlich der Effektivität der Plaquebeseitigung von schallaktiven Zahnbürsten durch Kavitation oder schallinduzierte Fließaktivität keinen Beweis für ihre Überlegenheit gegenüber elektrischen Zahnbürsten mit rotierend/oszillierender Arbeitsbewegung (Grossman et al. 1995; Khambay und Walmsley 1995; Moran et

al. 1995; Schemehorn und Keil 1995; Schemehorn und Henry 1996; Tritten und Armitage 1996; Van der Weijden et al. 1996 a, b) und Handzahnbürsten (Khambay und Walmsley 1995; Tritten und Armitage 1996).

2.5.3 Indikation elektrischer Zahnbürsten

2.5.3.1 Patienten mit Parodontitiserkrankung

Hellstadius et al. (1993) berichteten über eine Gruppe von Patienten mit niedriger Oralhygienecompliance, die einer speziellen Parodontitisbehandlung zugewiesen wurden. Diese Patienten erhielten 40 Monate lang Mundhygieneanweisungen für die Handzahnbürste. Die Mehrheit der Patienten hatten nicht akzeptable Plaquewerte von 48 %. Nachdem die Handzahnbürste durch eine elektrische Zahnbürste ersetzt wurde, reduzierten sich die durchschnittlichen Plaquewerte auf 12 %.

O'Beirne et al. (1996) untersuchten die Wirksamkeit einer schallaktiven Zahnbürste (Sonicare) und einer Handzahnbürste auf Entzündung und Sondierungstiefen bei Erwachsenen-Parodontitis. Die Resultate konnten signifikant günstigere Ergebnisse bei Verwendung der schallaktiven Bürste zeigen.

Haffajee et al. (2001) verglichen die Wirkung einer elektrischen Zahnbürste (Braun Oral-B 3D Plaque Remover) mit einer Handzahnbürste (Crest Complete) bei Patienten mit Parodontitis. Dabei erzielte die elektrische Zahnbürste signifikant bessere Resultate durch die Reduktion der Plaquewerte, Blutungswerte und der Sondierungstiefen.

Steenackers et al. (2001) untersuchten eine elektrische Zahnbürste (Philips Jordan HP 735) und eine Handzahnbürste bei Parodontalpatienten. Die Ergebnisse wiesen bei beiden Bürstenarten hinsichtlich der Blutungswerte keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

Robinson et al. (1997) untersuchten eine schallaktive Bürste (Sonicare) und eine rotierend/oszillierende Bürste (Braun D7) bei Patienten mit Parodontitis. In dieser Studie ergab sich eine signifikant höhere Taschentiefenreduktionen bei dem schallaktiven Produkt.

Bader und Boyd (1999) verglichen in einer Untersuchung über 12 Wochen eine schallaktive elektrische Zahnbürste (Sonicare) mit einer rotierend/oszillierenden

elektrischen Zahnbürste (Rotadent) an Patienten mit adulter Parodontitis. Die rotierend/oszillierende Bürste war bei der Plaqueentfernung und bei der Reduktion der gingivalen Entzündung signifikant effektiver als die schallaktive Bürste.

2.5.3.2 Kinder

Grossmann et al. (1995) verglichen bei Kindern zwischen 8 und 12 Jahren die Effektivität der Plaquebeseitigung einer oszillierend/rotierenden elektrischen Kinderzahnbürste mit der Kinderhandzahnbürste. In dieser Studie wurde eine signifikant höhere Plaqueentfernung durch die elektrische Kinderzahnbürste festgestellt.

Bei einer Studie von Jongenelis und Wiedemann (1997) sollten nicht instruierte Kinder zwischen fünf und 10 Jahren für zwei Minuten die Zähne putzen. Die Kinder hatten 4 Wochen Zeit, sich zu Hause mit der Handhabung der Zahnbürste vertraut zu machen. In der Gruppe, die mit einer elektrischen Zahnbürste (Philips HP 550) putzte, stellten sie eine Plaquereduktion um 46 % fest, während in der Vergleichsgruppe, die manuell bürsteten (Butler Gum 111), eine Plaquereduktion von 25 % zu verzeichnen war.

2.5.3.3 Behinderte und ältere Patienten mit erworbenen Einschränkungen

Zwei Studien haben gezeigt, dass elektrische Zahnbürsten für geistig und zurückgebliebene Kinder mit geringer manueller Geschicklichkeit sehr nützliche Hilfsmittel sein können (Kelner 1963; Smith und Blankenship 1964).

Weitere Untersuchungen (Lucente 1966; Oldenburg 1966) aus den 60ern verdeutlichten ebenfalls, dass elektrische Zahnbürsten für behinderte und geistig behinderte Kindern besonders geeignet waren.

Dies bestätigten auch Steigenberg und Steigenberg in ihrer Studie aus dem Jahre 1982.

Die Studien von Brantel et al. (1988), Blahut et al. (1991) und Brantel und Beggren (1991) berichten über die Überlegenheit elektrischer Zahnbürsten im Vergleich zu manuellen Zahnbürsten im Bezug auf die Plaqueentfernung bei geistig behinderten Erwachsenen. Die Autoren waren der Ansicht, dass elektrische Zahnbürsten geeignet für die Zahnpflege behinderter Personen seien.

Bei stationär behandelten älteren Patienten mit limitierter manueller Geschicklichkeit, die keine Oralhygieneinstruktionen erhielten, wurden die Plaquebefunde erhoben (Martin et al. 1987). Die Resultate zeigten eine verbesserte Effektivität des Putzens durch elektrische Zahnbürsten im Vergleich zu Handzahnbürsten.

Auch die Untersuchungen von Kambhu und Levy (1993) bestätigten, dass die elektrische Zahnbürste bei älteren pflegebedürftigen Menschen im Bezug auf die Plaqueentfernung effektiv war.

2.5.3.4 Kieferorthopädisch behandelte Patienten

Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen sind konfrontiert mit dem Problem, Plaque zwischen festsitzenden Apparaturen und Zähnen zu entfernen (Boyd 1997).

Boyd et al. (1989b) untersuchten die Effektivität einer elektrischen Zahnbürste (Rotadent) und einer Handzahnbürste auf die parodontale Gesundheit von Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen. In dieser 18monatigen Studie wurde festgestellt, dass die elektrische Zahnbürste bei der Plaqueentfernung effektiver war als eine konventionelle Handzahnbürste.

Yankell et al. (1985) und Wilcoxon et al. (1991) untersuchten die Effektivität einer elektrischen Zahnbürste (Interplak) an Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen. Die Ergebnisse zeigten, dass die elektrische Zahnbürste (Interplak) bei der Plaqueentfernung und Gingivitisreduktion der Handzahnbürste überlegen war.

Auch Trombello et al. (1995) sowie Heintze et al. (1996) waren der Ansicht, dass elektrische Zahnbürsten eine hohe Effizienz bei der Plaqueentfernung an Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen erzielten.

Jost-Brinkmann et al. (1994) untersuchten die Wirksamkeit bei der Plaquebeseitigung von drei elektrischen Zahnbürsten (Interplak, Braun/Oral-B Plak Control, Rotadent) und einem manuellem Reinigungssystem welche eine Handzahnbürste, Zahnseide, Interdentalbürste beinhaltet. Dabei konnte eine vergleichbare Effizienz bei der Plaqueentfernung festgestellt werden.

Ha und Niederman (1997) verglichen in einer vierwöchigen Studie eine schallaktive Zahnbürste (Sonicare) mit einer manuellen Zahnbürste an

jugendlichen voll behänderten KFO-Patienten. Die schallaktive Zahnbürste zeigte eine signifikant größere Reduktion bei supragingivaler Plaque, Zahnfleischentzündungen, Taschentiefen und supragingivalen Bakterien als eine Handzahnbürste.

2.5.4 Compliance

Elektrische Zahnbürsten werden von den Patienten gut akzeptiert, und sie hatten das Potential, die Compliance zu verbessern (Warren et al. 2000). Eine hohe Compliancerate mit elektrischen Zahnbürsten wurde auch in den Studien von Saxer und Yankell (1997) und Stalnacke et al. (1995) festgestellt.

Hellstadius et al. (1993) bewiesen eine Verbesserung des Plaquewertes bei parodontalerkrankten Patienten, die zur elektrischen Zahnbürste gewechselt haben. Außerdem wiesen sie signifikante Verbesserungen der Compliance und eine positive Einstellung zur elektrischen Zahnbürste auf.

In einer Langzeit-Studie von Bratel and Berggren (1988) zeigte sich in der nicht-instruierten Gruppe von geistig retardierten Kindern durch die Anwendung elektrischer Zahnbürsten eine signifikante Verbesserung in der Gingivitis- und Plaquewerte. Dieser Effekt ist auch auf den „Novelty Effekt“, beschrieben durch Ash et al. (1964), zurückzuführen. Dabei handelt es sich um den Reiz etwas Neues auszuprobieren.

Eine effektive Verbesserung der Plaquereduktion bei Kindern gestaltet sich oft schwierig, insbesondere wegen der fehlenden Motivation. Elektrische Zahnbürsten können dieses Problem möglicherweise mit Hilfe des „Gadget Effekts“ lösen. Denn der „Reiz eines praktischen Gerätes“ kann die Motivation der Kinder zum öfteren Zähneputzen erhöhen.

Obwohl elektrische Zahnbürsten sich zunächst stimulierend auf die Putzgewohnheiten auswirkten (Quirynen et al. 1994; Trimpeneers et al. 1997; van der Weijden et al. 1998), lies der Motivationseffekt mit der Zeit trotzdem etwas nach (Quirynen et al. 1994).

2.5.5 Vergleichsstudien von elektrischen und manuellen Zahnbürsten

2.5.5.1 Elektrische Zahnbürsten und manuelle Zahnbürsten

In dem Bericht des European Workshop on Mechanical Plaque Control von 1998 wurde die elektrische Zahnbürste im Vergleich zur Handzahnbürste im Bezug auf die Plaquentfernung und Gingivitisreduktion als geringfügig überlegen angesehen (Engelberg und Claffey 1998). Van der Weiden et al. (1998) ließen Patienten über einen Zeitraum von 3 Wochen eine Gingivitis entwickeln. Nach weiteren 4 Wochen stellten sie in der Gruppe der Probanden, welche mit einer elektrischen Zahnbürste (Braun Oral-B 3D) putzten, einen signifikant stärkeren Rückgang der Plaque- und Blutungsindizes fest als in der Kontrollgruppe, die mit einer Handzahnbürste (Butler 311) putzte. In einer weiteren Studie verglichen Moritis et al. (2002) an 25 Testpersonen eine schallaktive elektrische Zahnbürste (Sonicare Elite) mit einer Handzahnbürste (Oral-B P35) bezüglich der Plaquereduktion. Es konnte gezeigt werden, dass die Sonicare Elite deutlich mehr Plaque entfernte als die Handzahnbürste. In einer Meta-Analyse durch die Cochrane Collaboration Oral Health Group wurden die Daten von 29 Studien mit insgesamt 2547 Probanden zusammengefasst (Heanue et al. 2003; Niederman 2003). Dabei wurde festgestellt, dass elektrische Zahnbürsten mit oszillierend/rotierender Arbeitsbewegung hinsichtlich der Plaque- und Gingivitisreduktion im Vergleich zu Handzahnbürsten geringfügig überlegen waren. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in den Studien von Van der Weijden et al. (1994), Johnson und McInness (1994), Tritten und Armitage (1996), Cronin et al. (1998), Dentino et al. (1999), Stanford et al. (2000), Yankell und Shi (2002), Lazarescu et al. (2003) und Williams et al. (2003) verzeichnet.

Im Gegensatz dazu wurde in wenigen Studien berichtet, dass die Handzahnbürste effektiver sei als die elektrische Zahnbürste. Dorfer et al. (2001a) stellten einer elektrischen Zahnbürste (Dr. Johns Spin Brush Classic) zwei Handzahnbürsten (standard ADA flat trim reference Bürste und Oral- B Cross Action) gegenüber. Diese Handzahnbürsten erbrachten signifikant bessere Plaquewerte als die elektrische Zahnbürste. In einer weiteren Untersuchung von Dorfer et al. (2001b) erzielte ebenfalls das manuelle Produkt (Elmex super 39) gegenüber der elektrischen Zahnbürste (Dr. Best Powerclean) eine bessere Wirkung.

Andere Untersucher hingegen fanden keine signifikanten Unterschiede zwischen elektrischen und Zahnbürsten und Handzahnbürsten. Schupke et al. (2000) verglichen in einer 6-monatigen Studie an 50 Probanden eine elektrische Zahnbürste (Braun Oral-B Plak Control 3D) mit einer Handzahnbürste (Dr. Best Interdent). Die Effizienz der Plaqueentfernung sowie die Blutungswerte zwischen beiden Bürsten unterschied sich nicht. Mantokoudis et al. (2001) stellten zwei elektrische Zahnbürsten (Braun Oral-B Plak Control Ultra und Braun Oral-B Control 3 D) einer Handzahnbürste gegenüber. Die Ergebnisse erbrachten keine klinisch relevanten Unterschiede in der Plaqueentfernung. Auch Haffajee et al. (2001) und Deery et al. (2004) konnten in ihren Untersuchungen zwischen der elektrischen und manuellen Zahnbürsten keine Unterschiede feststellen.

2.5.5.2 Rotierend/oszillierende Zahnbürsten und vibrierende/schallaktive Zahnbürsten

Beim Vergleich von rotierend/oszillierenden und vibrierend/schallaktiven elektrischen Zahnbürsten hinsichtlich der Plaquereduktion wurden in einer Mehrheit von Studien die rotierend/oszillierenden Zahnbürsten als überlegen angesehen (Van der Weijden et al. 1996a; Isaacs et al. 1998; Sharma et al. 1998). Grossmann et al. (1995) stellten ein rotierendes Produkt (Braun Oral B Plak Remover) einem schallaktivem Produkt (Sonicare) gegenüber. In der 8-wöchigen Studie erbrachten die Ergebnisse keine Unterschiede in der Plaqueentfernung und Gingivitisreduktion.

Van der Weijden et al. (2001) untersuchten die Schallzahnbürste Sonicare und die Elektrozahnbürste Braun Oral-B D7. Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass die Elektrozahnbürste von Braun effektiver Plaque entfernte und gingivale Symptome reduzierte als die Sonicare.

Adams et al. (2002) führten eine in-vitro Studie mit den elektrischen Zahnbürsten Sonicare Elite (schallaktiv) und Braun Oral-B 3D (rotierend/oszillierend) durch. Die Sonicare Elite reduzierte signifikant mehr Streptococcus mutans Biofilm aus der interdentalen Region als die Braun Oral-B 3D Zahnbürste.

2.5.5.3 Rotierend/oszillierend und rotierend/oszillierende elektrische Zahnbürste

Bei den Untersuchungen, in denen rotierend/oszillierende Zahnbürsten bezüglich der Plaque- und Gingivitisreduktion untereinander verglichen wurden, konnten unterschiedliche Ergebnisse festgestellt werden. Van der Weijden et al. (1995) verglichen die oszillierende Braun D 7 mit der oszillierenden Philips HP 500 an 35 Studenten. Hinsichtlich der Plaqueentfernung schnitt die Braun D7 besser ab als die Philips HP 500.

Heasman et al. (1998) führten an 75 Studenten eine sechswöchige Studie durch. Dabei fand man keine Unterschiede bezüglich der Plaqueentfernung zwischen den elektrischen oszillierenden Zahnbürsten Philips Jordan HP 735 und der Braun D7. Jedoch belegten die Ergebnisse signifikante Verbesserungen bei den Blutungswerten für die Philips Jordan HP 735.

Timmerman et al. (2001) verglichen die Braun Oral-B 3D Exel (D17) mit der Philips Sensiflex. Die Braun Oral B erwies sich in Bezug auf die Gingivitisreduktion als überlegen.

Putt et al. (2001) stellten in einer 3-monatigen Untersuchung die Braun Oral-B der Colgate Actibrush gegenüber. Hier erwiesen sich beide Produkte gleichwertig in der Gingivitisreduktion. Hinsichtlich der Plaquereduktion erzielte die Braun Oral-B signifikant bessere Werte.

2.5.5.4 Vibrierende (schallaktive) Zahnbürsten

Platt et al. (2002) verglichen in einer zweiwöchigen klinischen Untersuchung an 45 Probanden die Wirksamkeit zweier schallaktiver Zahnbürste der gleichen Firma, die Sonicare Elite und die Sonicare Advance Zahnbürsten. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl die Sonicare Elite als auch die Sonicare Advance eine effektive Plaqueentfernung und eine sichere Anwendung auf Weichgewebe realisieren. Die Sonicare Elite zeigte sich in der Plaqueentfernung, speziell an schwierig zu reinigenden Stellen (z. B. interdental, lingual, posterior) gegenüber der Sonicare Advance als überlegen.

2.6 Die Auswirkung von nicht adäquatem Putzen

Nicht adäquates Zähneputzen betrifft zum Beispiel die Häufigkeit des Putzvorgangs, falsche Putztechnik oder die Anwendung einer nicht adäquaten Zahnbürste. Die Folgen sind gingivale Irritationen, Zahnfleischrezession oder Zahnhalsabrasionen (Gilette und Van House 1980).

2.6.1 Abrasion von Zahnhartgewebe

Abrasion ist als Zahnhartsubstanzverlust definiert, der durch Fremdkörperabrieb (mechanischer Abrieb) verursacht wird (Eccles 1982).

Die Zahnreinigung ist für die orale Gesundheit unerlässlich, sollte jedoch unter maximaler Schonung von Zähnen und Zahnfleisch erfolgen. Forcierte Anwendungen von Zahnbürsten (elektrisch oder manuell) können zu Hartsubstanzverlust in Form von Abrasionen im Bereich der Zahnhartgewebe führen (Radentz et al. 1976; Sangnes 1976; Khocht et al. 1993; Danser et al. 1998).

Es ist erwiesen, dass die Abrasion der Zahnhartsubstanz mit der Zusammensetzung der Zahnpasta einhergehen kann. Die eingesetzten Abrasionsmittel in Zahnpasten sind die Hauptursache für den Verlust der Zahnhartgewebe. So wurde zum Beispiel in Weißmacher- Zahnpasten (Whitening Zahnpasten), die zur Entfernung starker Verfärbungen angewendet werden, ein hoher Abrasions- und Anrauungswert ermittelt (Imfeld und Sener 1999). In einer weiteren Studie fand Imfeld (2002) an vier von zehn geprüften Sensitiv-Zahnpasten, die bei überempfindlichen Zahnhälsen zur Anwendung kommen, ein hohes Abrasions- und Anrauungspotential. Die Abrasion des Zahnhartgewebes durch die Zahnpasta wurde bereits 1907 von Miller nachgewiesen. Auch durch nachfolgende Untersuchungen von Manly (1944), Manly et al. (1965) und Frostell und Lindstrom (1964) wurde das Potential der Abrasion des Zahnhartgewebes durch die Zahnpaste bestätigt. Internationale Richtlinien für Zahnpasten mit Abrasionslimit wurden erstellt, um eine Standardisierung der Zahnpasten zu erreichen (Baxter et al. 1981; ISO 11609 - International Standard 1995). Mit Hilfe von Messung der Radioaktivität konnte die Radioaktive Dentinabrasivität (RDA)

und die Radioaktive Schmelzabrasivität (REA) nachgewiesen werden. Barbakow et al. (1989) ermittelten die radioaktiven Dentin- (RDA) und die radioaktiven Schmelzwerte (REA) von Zahnpasten, die in der Schweiz im Handel waren. Dem Standardabrasivstoff wurde der Bezugswert 100 für die RDA – und 10 für die REA-Bestimmungen zugeordnet. Die RDA-Werte der 32 getesteten Zahnpasten lagen zwischen 37 (sehr wenig abrasiv) und 203 (stark abrasiv), die REA-Werte befanden sich zwischen 1,0 (sehr wenig abrasiv) und 11,7 (stark abrasiv). Die Hälfte der untersuchten Zahnpasten hatten einen RDA-Wert unter 100. Die meisten Zahnpasten hatten sehr niedrige relative Schmelzabrasivitätswerte (REA-Wert). Baxter et al. (1981) bestätigten im Vergleich zu Schmelz den höheren Abrasionseffekt der Zahnpasten auf das Dentin. Hunter et al. (2002), Van der Weijden et al. (1998) und Van der Velden et al. (1997) zeigten bei in-vitro Studien, dass die Anwendung von Zahnpasten mit unterschiedlichen relativen Schmelzabrasivitätswerten über die gesamte Lebensdauer der Zähne nur zu kleinen oder zu keinem Abrasionseffekt am Zahnschmelz führt. Hinsichtlich des Dentins wurde auch eine ähnliche Untersuchung durch Addy et al. (2002) durchgeführt. Bei Anwendung von Zahnpasten mit unterschiedlichen relativen Dentinabrasivitätswerten beläuft sich die Abrasion auf ungefähr 1 mm über die gesamte Lebensdauer der Zähne (Addy et al. 2002; Hunter et al. 2002). Ähnliche Ergebnisse bezüglich des Dentins wurden in weiteren Studien gefunden (Phaneuf et al. 1962; Imfeld et al. 1998; Imfeld et al. 1999; Imfeld und Sener 1999; Dyer et al. 2000; Imfeld 2002). Lediglich ein kleiner Anteil der Schädigung der Zahnhartgewebe ist auf die Zahnbürste allein zurückzuführen (Manly 1944; Mannerberg 1960; Manly et al. 1965; Bjorn und Lindhe 1966; Absi et al. 1992). Neben der Abrasivität der Zahnpasta (Radentz et al. 1976; Sangnes 1976; Davis und Winter 1980; Dyer et al. 2000) sind noch folgende Faktoren bei der Abrasion der Zahnhartgewebe beteiligt: Kraftanwendung beim Zähneputzen (Harte und Manly 1975; Davis und Winter 1980; Gillette und van House 1980; Van der Weijden et al. 1996b; Van der Weijden et al. 1998; Hunter und West 2002), Putztechnik (Bergstrom und Lavstedt 1979; Gillette und van House 1980; Bergstrom und Eliasson 1988; Van der Weijden et al. 1998; Hunter und West 2002), Häufigkeit des Zähneputzens (Sangnes und Gjermeo 1976; Davis und Winter 1980; Van der Weijden et al. 1998; Hunter und West 2000), Härte der

Borstenfilamente (Harte und Manley 1975; Davis und Winter 1980) und Borstenart (Naturborsten und Kunststoffborsten; Fischman 1997).

Über die Abrasion des Dentins durch die Handzahnbürste als auch durch die elektrische Zahnbürste sind einige wissenschaftliche Daten vorhanden. In einer in-vitro Untersuchung wurde die relative Dentinabrasivität beurteilt. Die Modellvorrichtung dieser Untersuchung wurde bereits zur Beurteilung der Abrasivität von Zahnpasta angewandt (Hefferren 1976, Schemehorn et al. 1993). Dabei wurden mit einem standardisierten Schleifschlamm und festgelegtem Anpressdruck die radioaktiven Dentinproben gebürstet. Die Strahlung des Schleifschlammes wurde nach einer bestimmten Bürstzeit gemessen. Die Resultate dokumentierten, dass elektrische Zahnbürsten hinsichtlich der Dentinabrasion schonender waren als Handzahnbürsten (Van der Velden et al 1993; Wilson et al. 1993; Schemehorn und Zwart 1996; McLey et al. 1997). Zu einem ähnlichen Resultat kamen auch Van der Weijden et al. (1996). Sie waren der Ansicht, dass die mögliche Ursache dafür, die angewendete geringere Kraft der elektrischen Zahnbürsten sei.

2.6.2 Abrasion von Weichgewebe

Bereits 1943 beschrieben Epstein und Tainter, dass Zähneputzen eine Abrasion des Zahnfleisches verursacht. Insbesondere der Kraftaufwand, Borstentyp, die Härte und die Form der Borstefilamente sind mögliche ätiologische Faktoren der Gingivaverletzung (Hirschfeld 1931, Lange 1977). Personen, die eine intensive Zahnpflege betreiben, neigen häufiger zu traumatischen Gingivaläsionen, die zu einer Gingivarezession führen kann (Joshi-pura et al. 1994; Serino et al. 1994).

Borstenenden von Zahnbürsten sind ein entscheidender Faktor hinsichtlich des Verletzungspotentials in Bezug auf die Gingiva. Dies wurde zum erstenmal von Bass (1948) untersucht. In einer experimentellen Untersuchung putzten mehrere Probanden entweder mit Zahnbürsten, die nur abgeschnittene, kantige Borsten aufwiesen oder mit Bürsten, deren Borsten abgerundet waren. Anschließend spülten die Teilnehmer den Mund aus. Nachdem die Spüllösung zentrifugiert wurde, erfolgte die mikroskopische Untersuchung. Dabei wurden nach Anwendung

der scharfkantigen Borsten eine große Anzahl von Blutzellen gefunden, die einer Zahnfleischverletzung entsprachen.

Das gewebsschädigende Potential nicht abgerundeter Borstenenden wurde in vielen Tierversuchen bewiesen. Dabei stellte Storsberg (1955) nach Anwendung scharfkantiger Nylonborsten entzündliche Läsionen des marginalen Parodontiums von Hunden mit nachfolgenden Atrophien fest. Auch Löbbe (1956) und Pückoff (1956) bestätigten diese Ergebnisse. Pückoff (1956) führte einen ähnlichen Versuch mit Zahnbürsten durch, die abgerundete Nylonborsten enthielten, wobei hier nach klinischen, röntgenologischen und histologischen Auswertungen pathologische Veränderungen ausgeschlossen wurden.

Beim Vergleich zweier Zahnbürstentypen, bei dem ein Typ mit einem planem Putzfeld und abgerundeten Borstenden, der andere mit gezahntem Putzfeld und nicht bearbeiteten Borsten ausgestattet war, erwies sich die Bürste ohne Borstenabrundung hinsichtlich der Wirkung auf die Gingiva am aggressivsten. Sie verursachte tiefe Läsionen, die sogar bis ins Bindegewebe reichten, während der andere Bürstentyp nur oberflächliche Epitheldefekte hervorrief und das Stratum corneum nicht überschritt (Goldkamp 1977).

Bei der Anwendung von Zahnbürsten mit gezahntem Putzfeld und schlecht abgerundeten Borstenenden konnten Plagmann et al. (1978) Weichgewebsläsionen beobachten, die auch das submuköse Gewebe betreffen. Imfeld et al. (2000) bewiesen oberflächliche sowie transepitheliale Weichgewebsverletzungen, die auf scharfkantige Borstenenden zurückzuführen waren. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch die Untersuchungen von Danser et al. (1998) und Egelberg und Claffey (1998). Bürsten mit abgerundeten Borstenenden erwiesen sich auch in Untersuchungen von Anneroth und Poppelmann (1975), Lange (1977), Breitenmoser et al. (1978), Mulry et al. (1992) sowie Dellerman et al. (1994) als schonend.

Alexander et al. (1977) untersuchten den Zusammenhang zwischen Borstenbearbeitung, Anpresskraft beim Putzen und Zahnpaste auf die Gingivaabrasion an Hamstern. Hinsichtlich der Abrasion wurde das durch den Putzvorgang freigesetzte Protein als Messwert genommen. Bei der Anwendung scharfkantiger Kunststoffborsten wurde im Vergleich zu abgerundeten Borsten eine um 29 bis 54 % größere Proteinfreisetzung gemessen. Eine Verdoppelung der Anpresskraft erhöhte die Abrasion nur um 12 bis 26 %, und die Anwendung

einer Zahnpasta zeigte hierbei keine Veränderung. Die Borstenbearbeitung hat somit den größten Einfluss auf die Gingivaabrasion. Auch De Trey (1983) bestätigte den geringen Einfluss der angewendeten Putzkraft auf die Integrität des Zahnfleisches. De Trey untersuchte die Zusammenhänge zwischen Borstenlänge beziehungsweise Borstensteifheit, Kraftausübung und Gingivaverletzungspotential. 16 Probanden bürsteten die bukkale rechte Eckzahn-/ Prämolarenregion des Oberkiefers an verschiedenen Versuchstagen mit je einer harten und weichen Bürste. Die während des Zähneputzens ausgeübte Kraft war bei beiden Zahnbürsten gleich groß. Die härtere Bürste mit kurzen Borsten verursachte um 50 % mehr (ausgedehntere) gingivale Läsionen als die weichere Bürste mit den langen Borsten. Es konnte keine Korrelation zwischen Kraftausübung und Gingivaläsionsfläche gefunden. Somit hatte die Bürstensteifheit einen größeren Einfluss bei der Traumatisierung der Gingiva als die Kraftausübung.

Niemi et al. (1984); Bergstrom et al. (1988) und Lentz et al. (1991) belegten, dass die Kombination von Zahnpaste und nicht abgerundeten Filamentenden Schädigungen des Weich- und Hartgewebe verursachen kann.

Glass (1989) fand in seiner Untersuchung über viruskontaminierte Zahnbürsten eine höhere Besiedlung an scharfkantigen sowie an gezackten Borstenenden. Die von ihm untersuchten Viren überlebten auf ausgetrockneten Bürsten mindestens 48 Stunden und blieben infektiös. Deswegen war er der Ansicht, dass durch nicht abgerundete Borstenenden Gingivaverletzungen möglich sind, die als Eintrittspforte für Infektionen und Reinfektionen dienen können.

Niemi et al. (1986) verglichen eine elektrische Zahnbürste (Braun Oral-B D3) mit einer Handzahnbürste bezüglich Weichgewebsabrasionen. Die Resultate zeigten, dass nach Anwendung der Handzahnbürste mehr Abrasion verursacht wurde als nach Benutzung der elektrischen Zahnbürste. Walsh (1989) dagegen fand keine Unterschiede zwischen elektrischen und manuellen Bürsten hinsichtlich von Abrasionen des Weichgewebes. Bei der Untersuchung von Danser et al. (1998) erwiesen sich die elektrischen Zahnbürsten (Braun Oral-B D9) und Handzahnbürsten als gleichwertig. Die beiden Produkte zeigten ähnliche Abrasionsschäden am Zahnfleisch. Beim Vergleich zwischen elektrischen und manuellen Zahnbürsten fanden He et al. (2001) an 18 % der 104 Probanden

Weichgewebsläsionen. Auch Egelberg und Claffey (1998) sind der Ansicht, dass Weichgewebsabrasion sowohl durch manuelle als auch durch elektrische Zahnbürsten hervorgerufen werden können.

Engel et al. (1993) untersuchten eine schallaktive Zahnbürste (Sonicare). Nach einer zweimonatigen Studie wurden klinisch und histologisch keine Schäden gefunden.

In zwei Langzeitstudien von Van der Weijden et al. (1994) und Wilson et al. (1993) wurde die Wirkung von elektrischen und manuellen Zahnbürsten auf das gingivale Gewebe überprüft. Dabei verursachten keine der getesteten elektrischen Zahnbürsten mehr gingivale Abrasionen als die Handzahnbürsten. Außerdem haben Wilson et al. (1993) die gingivale Rezession in einer einjährigen Untersuchungsperiode gemessen. Sie konnten weder bei elektrischen, noch bei manuellen Zahnbürsten signifikante Veränderungen hinsichtlich der gingivalen Rezession feststellen.

2.6.3 Abrundungsqualität der Borstenenden

Um Schädigungen zu vermeiden, sollten die Borstenenden von Zahnbürsten abgerundet sein. Bereits 1950 forderte Bass als erster die Herstellung abgerundeter Borsten, um die Gingivaverletzung zu reduzieren (Bass 1950). Leimgruber stellte 1951 fest: „Einzig und allein die Borstenspitze entscheidet darüber, ob eine Bürste die Zähne reinigen wird, ohne die Hartsubstanzen oder die Gingiva zu lädieren, oder ob durch deren Gebrauch mehr Schäden als Vorteile erwachsen werden“.

Schließlich wurde auch in DIN-Norm 13917 (1988) die Forderung nach abgerundeten Borstenenden erhoben.

Untersuchungen bezüglich der Qualität der Borstenabrundungen von Erwachsenenzahnbürsten, Kinderzahnbürsten und Interdentalzahnbürsten liegen in großer Zahl vor.

Koçkapan und Wetzel (1987) beurteilten die Borstenenden von 10 verschiedenen Kinderzahnbürsten mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes. Die Beschaffenheit der Borsten konnte bei 6 Produkten als geeignet, bei 2 als bedingt geeignet und bei 2 als nicht geeignet für die Gebisspflege bei Kindern bewertet werden.

Die Auswertung der Studie von Silverstone & Featherstone (1988) ergab, dass im Gesamtdurchschnitt von insgesamt 1200 bewerteten Borsten 50 % eine akzeptable Endabrundung aufwiesen. Es zeigten sich jedoch von Fabrikat zu Fabrikat Schwankungen zwischen 22 % und 88 % akzeptabler Borstenabrundungen.

Althaus et al. (1990) beurteilten die Borstenabrundungen von 8 Kinderzahnbürsten. Der Anteil akzeptabel abgerundeter Borstenenden variierte zwischen 14,3 % und 90,2 %.

Die Untersuchung von Reiter und Wetzel (1991) an Borstenenden von 14 auf dem deutschen und schweizerischen Markt erhältlichen Interdentalbürsten ergaben unzureichende Bearbeitungen bei allen Produkten. 10 von 14 Interdentalbürsten wiesen keine akzeptabel abgerundeten Borstenenden auf. Bei 3 Produkten lag der Anteil akzeptabler Abrundungen zwischen 0,5 und 1,3 %. Lediglich ein Produkt wies 17,3 % akzeptabel abgerundete Borstenenden auf.

Müller et al. (1992) untersuchten die Borstenenden von 8 Erwachsenenzahnbürsten des deutschen und schweizerischen Marktes. Für 4 Produkte lag der Anteil akzeptabler Abrundungen bei über 75 %, für 2 Produkte bei 55 - 56 % und für die restlichen beiden unter 40 %.

Mulry et al. (1992) verglichen 4 Erwachsenenzahnbürsten hinsichtlich der Borstenbearbeitung mittels stereomikroskopischer Aufnahmen. Zwei Produkte wiesen 89 % und die anderen beiden Bürsten jeweils 53 und 51 % akzeptable Borstenenden auf.

Dellermann und Burkett (1994) fanden an vier getesteten Produkten akzeptable Borstenenden von 96,5 %, 34,3 %, 16,1 % und 14 %.

In der Studie von Bienengraber et al. (1995) lag der Anteil akzeptabler Borstenenden von 5 Sorten von Zahnbürsten bis auf eine Ausnahme (70,8 %) zwischen 92,5 % und 95,7 %.

Jung (1995) untersuchte 4 Zahnbürsten, von denen drei Produkte zwischen 97 % und 76 % abgerundete Borstenenden besaßen; beim vierten Produkt waren nur 32 % der Borstenenden akzeptabel geformt.

Jung et al. (1996) verglichen 6 Wechselkopfzahnbürsten mittels rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen. Die Quote akzeptabler Formen lag zwischen 9,1 % und 78 %.

Checchi et al. (2001) untersuchten mit dem Stereomikroskop Borstenenden von 31 unterschiedlichen Zahnbürsten des italienischen Marktes. In 4 von 31 getesteten

Marken erschienen mehr als 50 % der Filamenten gerundet, bei 19 von ihnen zwischen 11,9 % und 40,5 % und bei 8 Marken zwischen 0 % und 7 %.

In einer weiteren Studie von Jung et al. (2003) wurde die Borstenbearbeitung von 15 verschiedenen Zahnbürstenmarken (davon 3 Kinderzahnbürsten für 0 - 4 jährige, 8 Kinderzahnbürsten für 5 - 14 jährige und 4 für Jugendliche und Erwachsene) beurteilt. Sie fanden akzeptable Anteile zwischen 65,2 - 99 %.

Schließlich untersuchten Checchi et al. (2004) Borstenenden von 12 verschiedenen elektrischen Zahnbürsten des italienischen Verbrauchermarktes in einer stereomikroskopischer Studie. Nur 4 von 12 getesteten elektrischen Zahnbürsten wiesen akzeptable Borstenabrundung von mehr als 50 % auf.

Die Ergebnisse der vorrausgegangenen Studien zeigen beträchtliche Unterschiede zwischen den Produkten. Dies bestätigt, dass die technischen Vorraussetzungen für eine gute Borstenabrundung durchaus vorhanden sind, aber nicht von allen Herstellern genutzt werden (Schweitzer-Hirt 1979; Massassati und Frank 1982; Adriaens et al. 1985; Koçkapan und Wetzal 1987; Althaus et al. 1990).

2.7 Material und Methodik der Untersuchungen von Borstenenden

Zur Darstellung von Borstenenden werden verschiedene mikroskopische Verfahren genutzt. Im Vordergrund stehen dabei das Stereomikroskop und das Rasterelektronenmikroskop.

Das Stereomikroskop ist ein verhältnismäßig einfaches Verfahren, welches von einigen Untersuchern angewendet wird, wie zum Beispiel Mulry et al. (1992); Bienengräber et al. (1995) und Checchi et al. (2001, 2004). Zu den Vorteilen von Stereomikroskopen gehören, dass ein geringer apparativer Aufwand und kein Sputtern (Goldbeschichtung der Probe nach dem Sputterverfahren) benötigt wird. Die Nachteile von Stereomikroskopen sind, dass sie eine geringe Tiefenschärfe haben. Außerdem benötigen sie eine zusätzliche Lichtquelle. Die meisten Stereomikroskope sind nur für Betrachtungen mit relativ geringer Vergrößerung geeignet.

Das Rasterelektronenmikroskop wird bei der Mehrzahl der Studien zur Untersuchung der Borstenenden bevorzugt (Klima und Rossiwal 1976; Henschke 1978; Schweizer-Hirt 1979; Adriaens 1985; Koçkapan und Wetzal 1987;

Silverstone und Featherstone 1988; Müller et al. 1992; Rawls et al. 1993; Bienengräber et al. 1995 und Jung et al. 2003). Dabei tastet ein im Hochvakuum erzeugter und gebündelter Primärelektronenstrahl die Proben zeilenförmig ab. Während des Ab tastens entstehen auf der Probe unter anderem Sekundärelektronen. Die Sekundärelektronen ergeben ein oberflächentopographisches Bild. Dabei erhält man eine große Tiefenschärfe und Bilder mit guter räumlicher Darstellung. Zu den Nachteilen des Rasterelektronenmikroskops gehören ein großer apparativer und präparativer Aufwand. Außerdem ist eine elektrisch leitende Probenoberfläche notwendig. Dies muss gegebenenfalls durch das Besputtern der Probe gewährleistet werden. Bei dem Sputtervorgang, oder auch Kalkathodenzerstäubung genannt, erzeugt man in einer Vakuumapparatur eine dünne Goldschicht auf der Probe.

Grundsätzlich erfolgt die Auswertung der Borstenenden nach morphologischen Kriterien.

Dabei erfolgt ein Vergleich der Borstenenden mit bestimmten Formvorgaben wie zum Beispiel

z.B.: nach Chong (1983)

z.B. nach Adrians (Adriaens et al. 1985)

z.B. nach Silverstone & Featherstone (1988)

z.B. nach der modifizierte Silverstone & Featherstone Skala durch die
Untersucher Reiter und Wetzel (1991), Mulry et al. (1992)

Eine andere Möglichkeit ist die Berechnung des Formfaktors nach Digitalisierung. Dabei wird zum Beispiel die Methode nach Rawls angewendet (Rawls, Smith und Lentz et al. 1993; Rawls, van Gelder und Smith et al. 1993).

Der erste Versuch die Borstenenden zu klassifizieren erfolgte nach der Doppelmasken Vergleichstechnik durch Chong (1983). Dabei wurden die Borstenenden bei der Bewertung zwischen zwei abgegrenzten Schablonen (Masken) mit einem definierten Radius gelegt. Die zwei Schablonen (Masken) repräsentierten die akzeptable Abrundung. Wenn ein Borstenende über diese Schablone (Maske) hinausragte, so erhielt diese eine nichtakzeptable Bewertung.

Adriaens et al. (1985) hatten zur Bewertung sieben Klassifizierungstypen angewendet. Diese waren akzeptable Borstenenden mit hemisphärischer Form und Filamente mit erhaltenem kleinem zentralem Plateau, wobei die Kanten abgerundet waren. Nichtakzeptable Formen waren gekennzeichnet durch rechtwinklige scharfkantige flache Filamentenden, pfahlartige spitze Formen, flache Enden mit scharfwinkligen Kanten, einseitig schräg abgeschnittene Enden sowie pilzartig verdickte Typen.

Bei der Klassifizierung nach Silverstone & Featherstone (1988) wurden die Borstenabrundungen in akzeptable und nichtakzeptable Gruppen unterteilt. Die akzeptabel abgerundeten Borstenenden wurden in drei und die nichtakzeptabel abgerundeten Filamentenden in sieben Abrundungstypen zusammengefasst.

Reiter und Wetzel (1991) unterteilten zusätzlich die gemäß Silverstone & Featherstone (1988) als nichtakzeptabel bewerteten Borstenenden noch nach den jeweils vorgefundenen Bearbeitungstypen eins bis sieben.

Mulry et al. (1992) unterteilten ebenso die Borstenden, nach dem Abrundungsgrad, in akzeptable und nichtakzeptable Gruppen. Die Abrundungstypen 1-3 und 7-10 wurden als nichtakzeptable und die Typen 4-6 als akzeptable Formen zusammengefasst. Diese Nummerierung ist nach dem Abrundungswinkel der Borstenenden entstanden. Angeordnet sind die Abrundungstypen in den Reihenfolgen rechtwinklig, hemisphärisch und pfahlartig/spitz. Bei den nichtakzeptablen Abrundungstypen 1-3 sind die Borstenenden rechtwinklig bis rechtwinklig zerklüftet. Zu den akzeptablen Borstenenden 4-6 gehören hemisphärische Formen ohne scharfe und zerklüftete Enden. Die nichtakzeptablen Typen 7-10 weisen einseitig schräg abgeschnittene bis pfahlartig spitze Formen.

Rawls, van Gelder und Smith et al. (1993) fertigten von den Borsten rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen an. Nach Digitalisierung erfolgte mit Hilfe eines geeigneten Bildverarbeitungsprogramms die computergestützte Bewertung der Qualität der Borstenenden. Die Berechnung der Fläche (A) erfolgte nach Umfahren des Umfanges des Borstenendes (U) und Einzeichnen des Durchmessers (D) computergestützt. Über die Formfaktoranalyse (FF), mit der Formel $FF = \sqrt{A/U}$, war eine zweidimensionale Darstellung des Grades der Endabrundung der Borsten möglich. Rawls, van Gelder und Smith et al. (1993) zeigten somit, dass eine hemisphärische Abrundung einen durchschnittlichen Wert von 0,282 (FF) hatte. Eine gerade Linie dagegen hatte einen Formfaktor von null.

Borsten mit flach abgeschnittenen, unebenen oder spitz zulaufenden Enden hatten somit einen niedrigen Formfaktor. Bei einem rechteckigen Borstenende betrug der Formfaktor etwa 0,24, bei einem dreieckigen dagegen etwa 0,25. Der Formfaktor konnte auch als prozentualer Wert ausgedrückt werden. Dabei wurde er als prozentualer Anteil von der maximal zu erreichenden Rundung (R) dargestellt ($R[\%]=100 \times FF / 0,282$). Zur Vereinfachung der Darstellung wurden die Grenzwerte der Rundung (R) festgelegt. Borsten mit einem R-Wert über 96 % wurden demnach als qualitativ ausreichend abgerundet bewertet; Borsten mit einem R-Wert unter 89 % wurden hingegen als besonders schädigend eingeordnet.

Meyer-Lueckel et al. (2004) werteten die untersuchten Borstenenden sowohl nach der Klassifizierung nach Silverstone & Featherstone (1988), als auch mittels der Berechnung des Formfaktors nach Digitalisierung nach Rawls, Smith und Lentz et al. (1993) und Rawls, van Gelder und Smith et al. (1993) aus. Dabei wurden mit beiden Methoden eine ähnliche prozentuale Verteilung zwischen den untersuchten Marken evaluiert.

3. Material und Methoden

3.1 Wechselköpfe elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten

Untersucht wurden acht gängige Produkte (1-8) von Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten, die uns von den jeweiligen Vertriebsfirmen ausdrücklich auf unsere schriftliche Anforderung für wissenschaftliche Überprüfung zur Verfügung gestellt worden waren (Abb. 1, 2).

Bei den Produkten handelte es sich um:

Produkt 1: Braun Oral-B Plak Control FlexiSoft EB 15-2

Art.-Nr.: 4705164

Hersteller: Braun GmbH, Frankfurt/Main, Germany

Produkt 2: Colgate Actibrush RB 06

Art.-Nr.: 1206718

Hersteller: Colgate-Palmolive GmbH, Hamburg, Germany

Produkt 3: Krups, Biocare Family

Art.-Nr.: 0640-01

Hersteller: Moulinex S.A., Sourcing Produits Finis, Cormelles, Le-Royal Cedex, France

Produkt 4: Philips, Jordan Sensiflex 2000, HX 2002/L

Art.-Nr.: 487.2002

Hersteller: Philips GmbH, Hamburg, Germany

Produkt 5: Rowenta, rotaclip medium, ZH 910

Hersteller: Rowenta Werke GmbH, Offenbach/Main, Germany

Produkt 6: Severin, EB 9030

Hersteller: Severin Elektrogeräte GmbH, Sudern, Germany

Produkt 7: Sonicare „Compact“ Size CH-2

Art.-Nr.: HRI:8490-3013-01

Hersteller: Optiva, Washington, USA

Produkt 8: Water Pik, SRB 2E, Intersanté

Art.-Nr.: PN 35067-61

Hersteller: Intersanté GmbH, Bensheim, Germany



Abb. 1 Frontale Ansicht der untersuchten Wechselköpfe (Produkt 1-8)



Abb. 2 Seitliche Ansicht der untersuchten Wechselköpfe (Produkt 1-8)

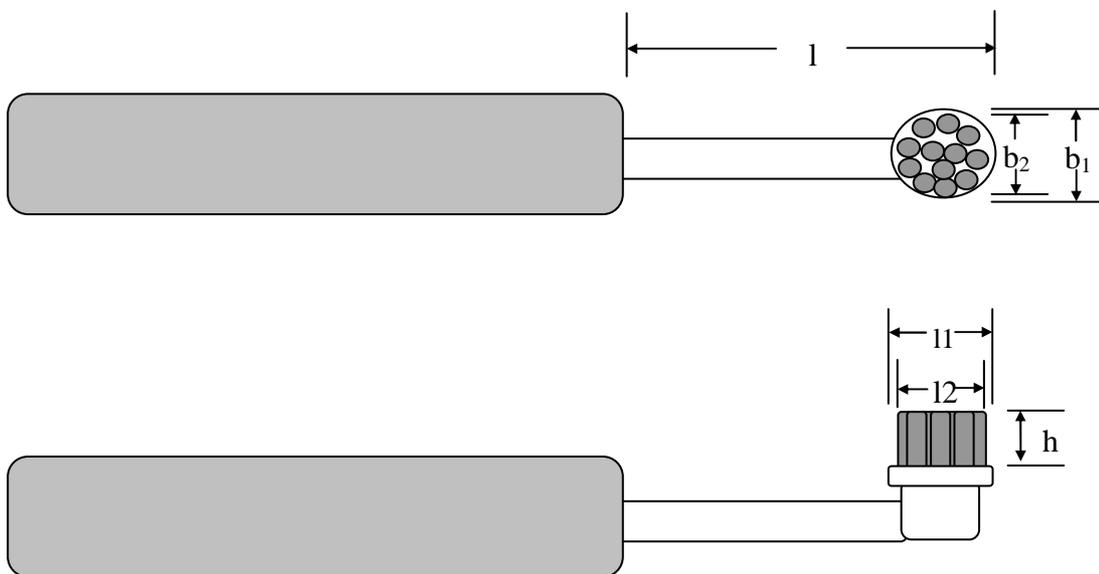
Alle Wechselköpfe hatten eine mittlere Borstenhärte und besaßen Kunststoffborsten (Filamente) in paralleler, dem multi-tufted Prinzip entsprechender Anordnung. Aus den mindestens zehn originalverpackten Exemplaren suchten wir jeweils fünf Exemplare für die REM-Untersuchung nach

dem Zufallsprinzip aus. Zur Vermessung und zur makroskopischen Begutachtung wurde jeweils ein weiteres Exemplar jeden Types entnommen.

3.2 Makroskopische Kriterien

Die Ermittlung der numerischen makroskopischen Eigenschaften wurde mit einer Schieblehre (Beerendonk Modell, Seitz & Haag) durchgeführt. Zu den makroskopischen Eigenschaften gehören Wechselkopflänge (l), Länge (l_1) und Breite (b_1) des Bürstenkopfes, Länge (l_2) und Breite des Borstenfeldes (b_2), Durchmesser des Bürstenkopfes (d_1) und des Borstenfeldes (d_2) sowie die Höhe der Besteckung (h ; Abb. 3). Der Filamentdurchmesser (\varnothing) wurde mit Hilfe einer digitalen Mikrometerschraube (Mitutoyo; Tokio, Japan) an fünf Einzelborsten gemessen. Bei farblich unterschiedlicher Besteckung der Wechselköpfe wurden für jeden Borstentyp getrennt fünf Einzelmessungen durchgeführt.

Abb. 3 Schemazeichnungen der Aufsteckbürsten zu der Vermessungstabelle II.



l = Wechselkopflänge

bei nicht runder/rechteckiger Form
des Bürstenkopfes:

l_1/ b_1 = Länge und Breite des Bürstenkopfes

l_2/ b_2 = Länge und Breite des Borstenfeldes

d_1 =Durchmesser des Bürstekopfes

d_2 = Durchmesser des Borstenfeldes

h = Höhe der Besteckung

3.3 Probenvorbereitung für die REM- Untersuchung

Von jedem der acht verschiedenen Produkten wurden nach dem Zufallsprinzip 5 Bürstenköpfe ausgewählt.

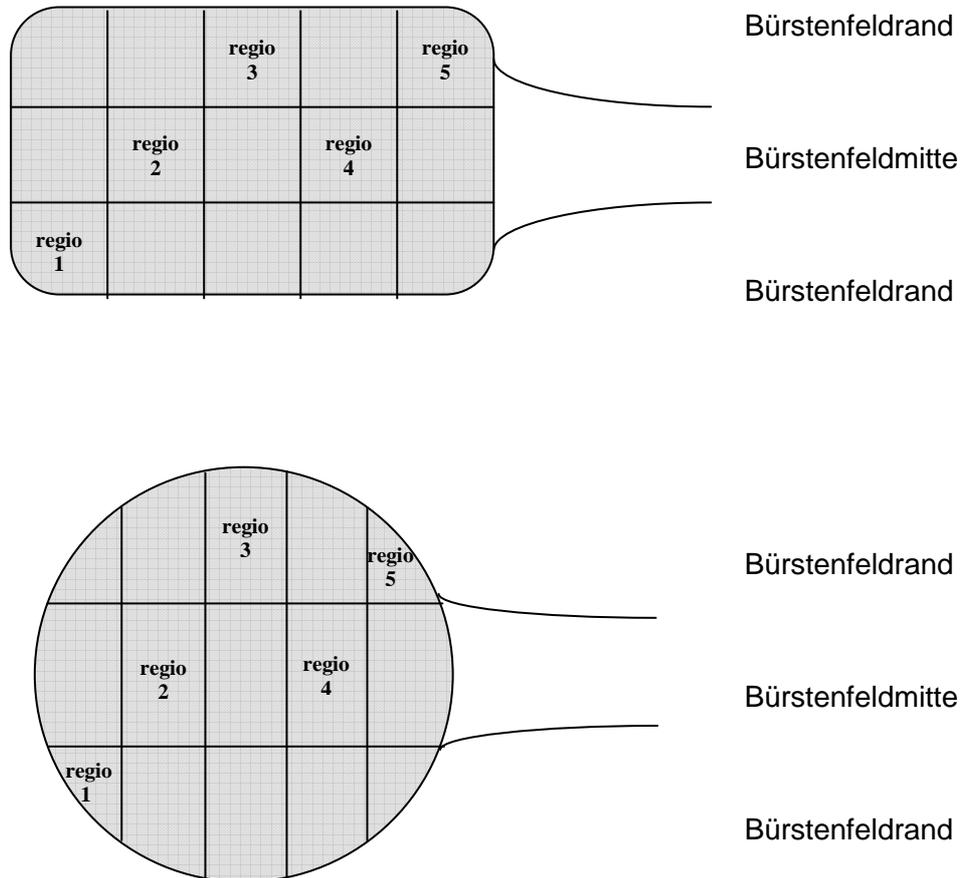


Abb. 4 Schema der untersuchten Bürstenregionen

Jede Probe wurde in fünf Regionen beurteilt werden, nämlich am Bürstenfeldrand (Regionen 1, 3 und 5) und in der Bürstenfeldmitte (Regionen 2 und 4). Die Lokalisation der Regionen 1-5 in Abhängigkeit von der Form des Bürstenkopfes zeigt Abbildung 4.

Aus den fünf Regionen wurden jeweils 7 Borsten entnommen und in dieser Reihenfolge auf einem Klebestreifen befestigt (Abb. 5).

Insgesamt wurden pro Exemplar 35 Borsten entnommen. Diese unterteilten sich in 21 Borsten aus der peripheren Region (Region 1, 3, 5) und 14 Borsten aus der

zentralen Region (Region 2, 4). Demnach wurden pro Produkt 175 Borsten ausgewertet.

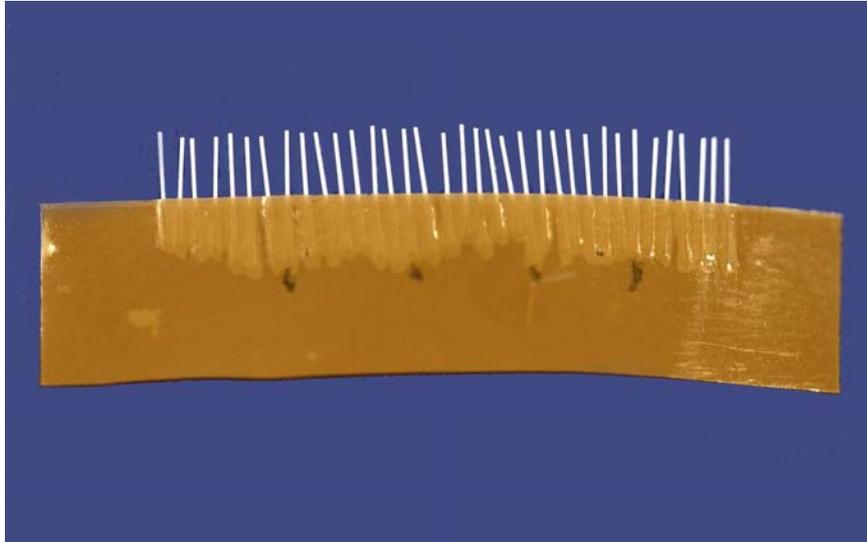


Abb. 5 Befestigte Borsten auf einem Klebestreifen

Die Proben wurden mit Leit C (Neubauer Chemikalien, Münster) auf Probenteller geklebt. Vor der REM-Darstellung der Proben war es notwendig, diese mit einer dünnen elektrisch leitfähigen Schicht zu überziehen, um die Sekundärelektronenausbeute zu erhöhen, vor allem aber, um die Aufladungen der Proben zu vermeiden, die die Qualität der REM-Bilder beeinträchtigen würden.

Die Verblindung der Proben erfolgte durch eine unabhängige Person, welche die Proben in einer zufälligen Reihenfolge von 1-40 durchnummerierte.

Danach wurde die Goldbedampfung bei einer Stromstärke von 20 mA in einer Schicht von 100-150 nm durchgeführt (Sputter- Anlage SCD 040, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein; Abb. 6, 7). Damit die Goldbeschichtung gleichmäßig erfolgte, wurden die Präparate auf einer schiefen Ebene während der Bedampfung bei 4,5 U/min rotiert. Die Sputterzeit betrug einheitlich 5 Minuten. An die Goldbedampfung schloss sich stets unmittelbar die REM-Darstellung an.



Abb. 6 Sputter-Anlage SCD040



Abb. 7 Seitliche Ansicht der goldbedampften Probe auf dem REM-Träger

3.4 REM-Darstellung

Die REM-Untersuchungen wurden mit dem Rasterelektronenmikroskop PSEM 500 der Firma Philips (Eindhoven, Niederlande) vorgenommen (Abb. 8). Die Betriebsspannung betrug 25 kV. Es wurde mit einer Blende von 400 μm gearbeitet. Emission (2 mA), Spot Size (0,125 μm) und Line Time (16 ms) wurden für alle Proben konstant gehalten.

Danach wurden von jedem Exemplar alle 35 Borstenenden bei 80facher Vergrößerung aufgenommen. Dabei wurden die Borstenenden jeweils schräg von der Seite (ca. 45° zur Borstenlängstachse) dargestellt. Für die REM-Fotos verwendeten wir Filme der Marke Kodak (TMAX 100, USA). Die verwendeten Vergrößerungen waren bei allen Aufnahmen identisch.



Abb. 8 Rasterelektronenmikroskop PSEM 500

3.5 Bewertung der Borstenendgeometrien

Um die gewünschte qualitative und quantitative Auswertung nach „akzeptabel“ und „nichtakzeptabel“ abgerundeten Borstenenden vornehmen zu können, erfolgte zunächst die Zuordnung der Einzelbearbeitung jedes Borstenendens nach einem

Schema, das sich an den Vorschlägen von Silverstone & Featherstone (1988) sowie Reiter & Wetzel (1991) orientierte.

Aufgrund der Ähnlichkeit einzelner Borstenendenmorphologie bei der ursprünglichen Klassifikation wurden die akzeptabel abgerundeten Borstenenden in zwei Typen (A1 und A2) und die nichtakzeptablen abgerundeten Borstenenden in fünf Typen (N1, N2, N3, N4 und N5) zusammengefasst (Abb. 9).

akzeptabel		nicht akzeptabel				
A1	A 2	N1	N 2	N3	N4	N5
						

Abb. 9 Klassifizierung der Borstenendgeometrie in Anlehnung nach Silverstone & Featherstone (1988) sowie Reiter & Wetzel (1991); modifiziertes Schema.

Beurteilt wurden insgesamt 1400 Borstenenden. Deren Auswertung wurde verblindet durchgeführt. Erst nach Abschluss der Auswertung wurden die Proben wieder dem betreffenden Produkt zugeordnet.

3.6 Kalibrierung des Untersuchers

Mit Hilfe einer Auswahl verschiedener REM-Bilder mit insgesamt 135 Borsten, die alle Kategorien akzeptabler und nichtakzeptabler Borstenenden beinhalteten, erfolgte zunächst eine Kalibrierung des Untersuchers. Die Ergebnisse des Untersuchers wurden mit den Resultaten eines erfahrenen Untersuchers verglichen, der den Gold-Standard darstellte. Tabelle I stellt die Kalibrierungs-Auswertung dar. Ausschlaggebend für die Beurteilung war das Verhältnis der Anzahl der als akzeptabel (1) und nichtakzeptabel (2) beurteilten Borstenenden.

Der Kappa-Wert als Maß der Übereinstimmung betrug 0,806. Er entsprach demnach einer guten Übereinstimmung.

	UNTERSUCHER		Gesamt
	1	2	
STANDARD 1 (Erfahrener Untersucher)	67	5	72
2	8	55	63
Gesamt	75	60	135

Tabelle I Auswertung der Übereinstimmung bei der Kalibrierung
(1=akzeptable Borstenenden, 2= nichtakzeptable Borstenenden)

3.7 Statistik

Die ausgewerteten Ergebnisse wurden in Microsoft Excel erfasst und mit dem Programm SPSS Version 6.1.3 für Windows statistisch ausgewertet.

Zum Vergleich zwischen Bürstenfeldrand (peripher) gegen Bürstenfeldmitte (zentral) wurde der nichtparametrische Wilcoxon Test durchgeführt. Mehrfachvergleiche unter den Gruppen wurden mit ANOVA und dem Anschlussstest nach Scheffé durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1 Makroskopische Merkmale

Produkt 1: Braun Oral-B Plak Control FlexiSoft EB 15-2

Bei dem Produkt (Abb. 10) handelt es sich um eine Aufsteckbürste, mit einer rotierend/oszillierenden Arbeitsbewegung. Dieses Produkt weist einen runden Bürstenkopf mit einem Durchmesser von 13 mm auf. Die 26 Borstenbüschel sind in drei Reihen zirkulär angeordnet. Die äußere Reihe enthält 14 Büschel, die mittlere Reihe 10 und die innere Reihe 2. Der Bürstenkopf besitzt kein planes Putzfeld. Am Kopfanfang und am Kopfende haben jeweils 3 Büschel eine Länge von 8 mm. Die restlichen Büschel sind 7 mm lang. Der Durchmesser der Filamente schwankt zwischen 0,14 - 0,15 mm. Eine Rotation des Bürstenkopfes um ca. 45° nach beiden Seiten ist möglich.

Produkt 2: Colgate Actibrush RB 06

Bei der Colgate Actibrush (Abb. 11) handelt es sich um eine Aufsteckbürste mit oszillierender Arbeitsbewegung. Der runde Wechselkopf trägt insgesamt 23 Borstenbüschel. Das Borstenfeld mit dem Durchmesser von 11,5 mm ist durch eine niedrige innere Reihe mit 8 Büschel (Borstenlänge 7,5 mm) und durch eine äußere hohe Borstenreihe mit 15 Büschel (Borstenlänge 8,5 mm) nicht plan. Die Durchmesser der Filamente liegen bei ca. 0,14 - 0,15 mm. Eine Rotation des Bürstenkopfes um ca. 45° ist ebenfalls möglich.

Produkt 3: Krups Biocare Family

Krups Biocare Family (Abb. 12) ist eine Aufsteckbürste mit schallaktiver Arbeitsbewegung. Die Aufsteckbürste besitzt einen runden Bürstenkopf. Das Borstenfeld mit dem Durchmesser von 12 mm weist drei Reihen auf, die zirkulär angeordnet sind. Das nicht-plane Putzfeld besitzt in der äußeren Borstenreihe 8 Büschel mit der Länge von 9,5 mm und wiederum 8 Büschel mit der Länge von 8,5 mm, die abwechselnd angeordnet sind. Die mittlere Reihe enthält auch 8 Büschel (Borstenlänge 8,5 mm), die innere Reihe vier Büschel (Borstenlänge 9,5 mm). Der Durchmesser der Einzelfilamente liegt bei ca. 0,15 mm.

Produkt 4: Philips Jordan Sensiflex 2000 HX 2000/L

Bei dem Produkt (Abb. 13) handelt es sich um eine Wechselkopfbürste mit rotierender Arbeitsbewegung. Die Aufsteckbürste enthält neben einem runden Bürstenkopf zusätzlich eine Interdentalbürste. Das Borstenfeld der Interdentalbürste besteht aus zwei Reihen. Dabei befinden sich außen 3 Büschel und innen 4 Büschel. Der runde Bürstenkopf besitzt 28 Büschel, die in drei Reihen zirkulär angeordnet sind. Die farbig markierten Büschel sind mit 0,12 mm im Durchmesser etwas dünner als die weißen Filamente (Durchmesser 0,15 mm). Das runde Putzfeld ist nicht ganz plan, sondern weist eine leichte konkave Wölbung mit dem tiefstem Punkt im Bereich der Mitte des runden Borstenfeldes. Die Schnitthöhe der Borsten differiert zwischen 6 - 9,5 mm.

Produkt 5: Rowenta rotaclip medium ZH 910

Die Rowenta rotaclip medium ZH 910 (Abb. 14) ist eine Wechselkopfbürste mit einer vibrierend/oszillierenden Arbeitsbewegung. Der ovale Bürstenkopf (15 mm lang und 13 mm breit) besteht aus drei zirkulären Reihen mit außen 16, in der Mitte 10 und innen 2 Büscheln. Die 10 mm hohen farbigen Büschel befinden sich hauptsächlich in der äußeren und mittleren Reihe. In einem bestimmten Muster sind die weißen 7,5 mm langen Büschel so verteilt, dass ein treppenartiges, nicht-planes Putzfeld zustande kommt. Der Durchmesser der Filamente beträgt etwa 0,17 mm.

Produkt 6: Severin EB 9030

Die Severin EB 9030 (Abb. 15) ist eine Aufsteckbürste mit einer rotierend/oszillierenden Arbeitsbewegung. Der Bürstenkopf hat einen Durchmesser von 13 mm. Das runde plane Putzfeld weist drei zirkulär angeordnete Reihen auf (außen 15 Büschel, in der Mitte 8 Büschel und innen 1 Büschel). Die Schnitthöhe der Filamente beträgt 8 mm mit einem Durchmesser von 0,14 mm.

Produkt 7: Sonicare „Compact“ Size CH-2

Die Sonicare Compact (Abb. 16) ist eine Aufsteckbürste mit einer schallaktiven Arbeitsbewegung. Dieses Produkt trägt ein 20 mm langes und 7 mm breites Borstenfeld, dessen 24 Büschel in drei Reihen parallel angeordnet sind. Der Bürstenkopf ist rechteckig mit mäßig gut abgerundeten Kanten und deutlich

größer, als es die Besteckungsfläche erfordert. Durch eine ab- und zunehmende Länge der Einzelborsten kommt sowohl ein Wellenprofil als auch ein Treppenprofil zustande (Borstenlänge von 6,5 mm bis 10,0 mm). Die Einzelfilamente weisen einen Durchmesser von 0,14 mm auf.

Produkt 8: Water Pik SRB 2E Intersanté

Bei der Water Pik SRB 2E Intersanté (Abb. 17) handelt es sich um eine Aufsteckbürste mit einer schallaktiven Arbeitsbewegung. Das Borstenfeld ist in der Tendenz oval-elliptisch geformt, wobei die Funktionsfläche von vorne ausgehend erst nach etwa zwei Drittel der Länge die größte Breite erreicht und danach im letzten Drittel wieder schmaler wird. Das nicht-plane Putzfeld mit 26 Borstenbüschel ist durch ein Wellenprofil gekennzeichnet (6,5 - 10,5 mm Borstenlänge). Der Borstendurchmesser beträgt 0,17 mm.



Abb. 10 **Produkt 1** (Braun Oral-B Plak Control FlexiSoft EB 15-2)



Abb. 11 **Produkt 2** (Colgate Actibrush RB 06)



Abb. 12 **Produkt 3** (Krups, Biocare Family)



Abb. 13 **Produkt 4** (Philips Jordan Sensiflex 2000 HX 2000/L)



Abb. 14 **Produkt 5** (Rowenta rotaclip medium ZH 710)



Abb. 15 **Produkt 6** (Severin EB 9030)



Abb. 16 **Produkt 7** (Sonicare „Compact“ Size CH-2)



Abb. 17 **Produkt 8** (Water Pik BRB 4E Intersanté)

Zum Vergleich der makroskopischen Merkmale wurden die Abmessungen und numerischen Details der acht Wechselkopf-Produkte in Tabelle II zusammengefasst.

Produkt Nr.	Wechselkopflänge (l1) (mm)	Borstenprofil	Bürstenkopf		Borstenfeld		Borstenbüschel Anzahl	Monofil/Büschel Anzahl	Monofile	
			Länge (l2) (mm)	Breite (b1) (mm)	Durchmesser (d1) (mm)	Länge (l3) (mm)			Breite (b2) (mm)	Durchmesser (d2) (mm)
1	72	frontal/approximal hoch			13		26	50	7 - 8	0,14 / 0,15
2	92	zirkulär hoch			13,5		23	54	7,5 - 8,5	0,14 / 0,15
3	80	gewellt			13,5		28	50	8,5 - 9,5	0,15
4	81	konkav	19	14		17,5	35	48 u. 75	6 - 9,5	0,12 / 0,15
5	92	gewellt	15	13		12,5	28	35	7,5 - 10	0,17
6	80	plan	19	10,5	13		24	59	8	0,14
7	129	gewellt	25	12		20	24	66	6,5 - 10	0,14
8	89	gewellt	25	13		21,5	26	45	6,5 - 10	0,17

Tabelle II: Abmessungen der Wechselköpfe elektrischer Zahnbürsten

4.2 Deskriptive Auswertung der REM- Aufnahmen

Produkt 1: Braun Oral B Plak Control FlexiSoft EB 15-2

Nach den REM-Befunden der untersuchten fünf Exemplare lagen am Bürstenfeldrand sowie in der Bürstenfeldmitte ein hoher Anteil akzeptabel abgerundeter Borstenenden vor. Dabei wurde überwiegend die als ideal angesehene hemisphärische Form (Typ A2) erreicht (Abb. 18). Ebenfalls waren auch gelungene Borstenabrundungen mit erhaltenem kleinem zentralem Plateau (Typ A1) zu finden.

Daneben waren als Ausdruck nicht akzeptabler Abrundungen einzelne schräg abgeschnittene Filamente (Typ N2) zu erkennen (Abb. 19). Bei einem Exemplar fanden sich eine größere Anzahl einflächig schräg abgeschnittener Borsten.

Überschüssige Kunststoffspäne traten vereinzelt bei zwei Exemplaren sowohl an Bürstenfeldrand und –mitte auf. Häufig wiesen die in den Aufnahmen abgebildeten Borstenschäfte unterhalb der Kanten bearbeitungsbedingte Rauigkeiten auf (Abb. 20).

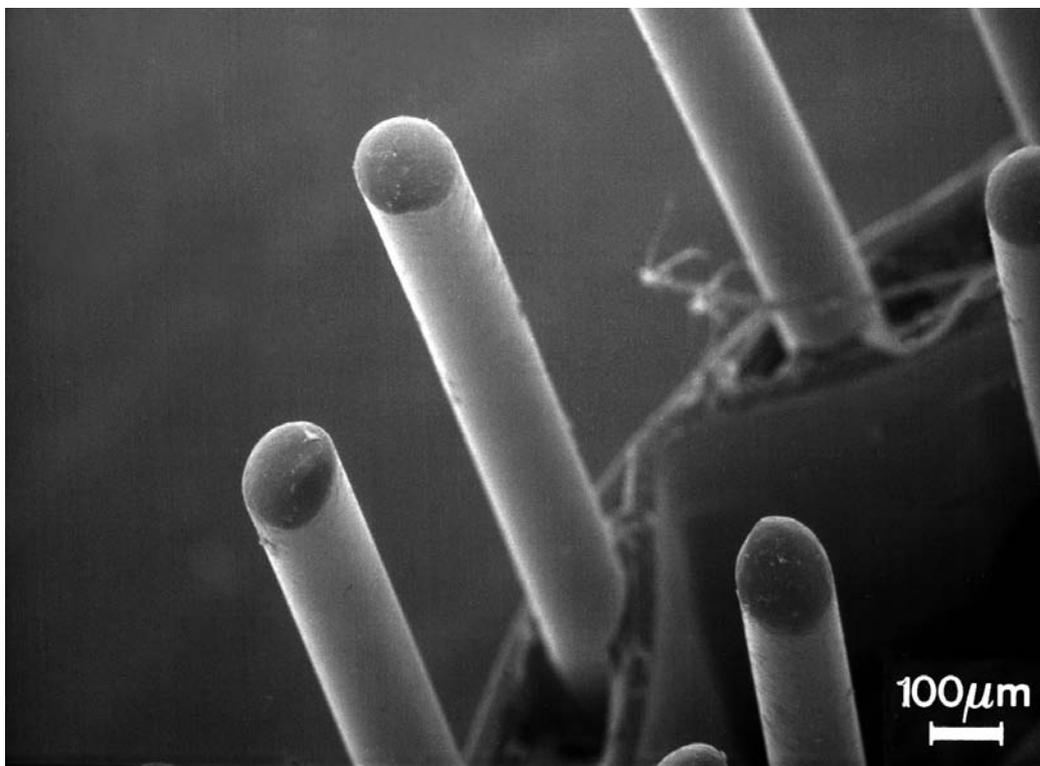


Abb. 18 Akzeptable Borstenabrundung mit einer hemisphärischen Form entsprechend Abrundungstyp A2 (Produkt 1; Braun Oral B Plak Control FlexiSoft EB 15-2)

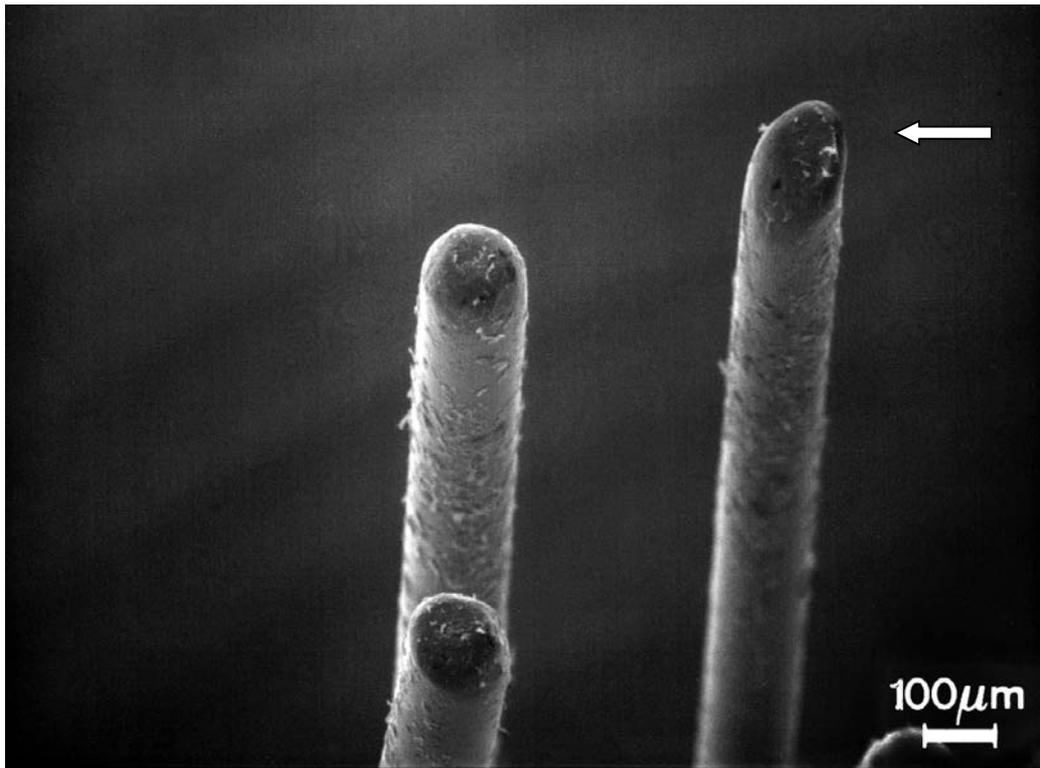


Abb. 19 Schräg angeschnittenes Borstenende (Pfeil) bei Produkt 1 (Braun Oral B Plak Control FlexiSoft EB 15-2)

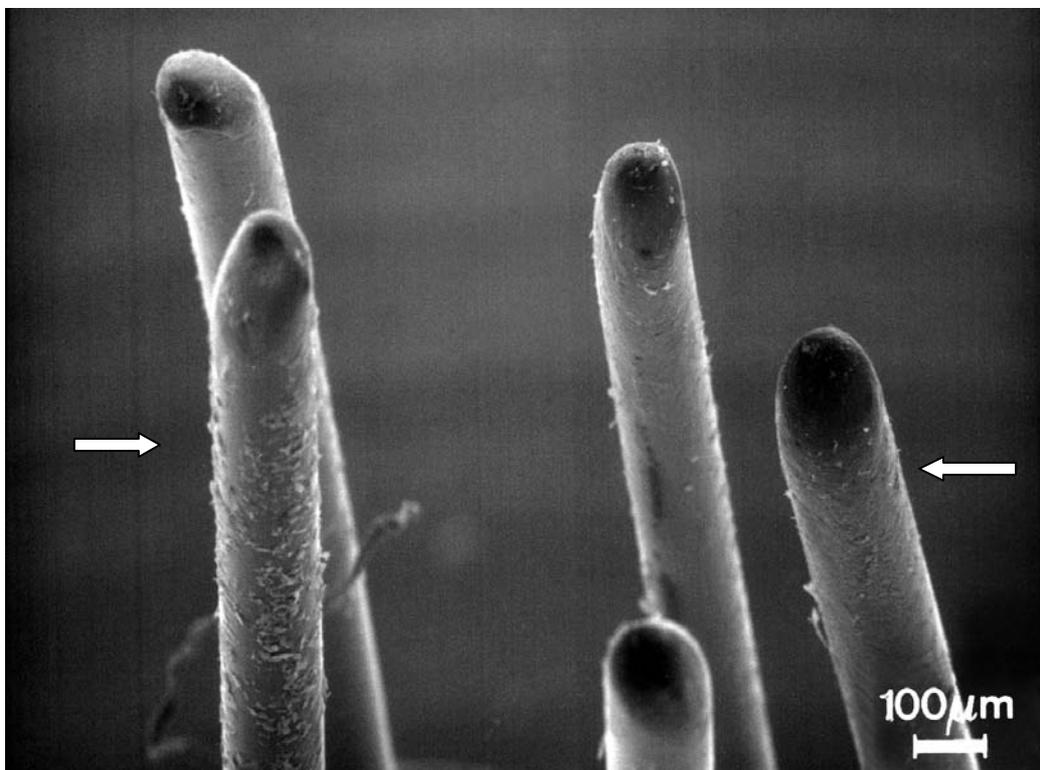


Abb. 20 Borstenschäfte mit bearbeitungsbedingten Rauigkeiten (Pfeile; Produkt 1; Braun Oral B Plak Control FlexiSoft EB 15-2)

Produkt 2: Colgate Actibrush RB 06

Die Filamente der Aufsteckbürsten dieses Produktes wiesen überwiegend akzeptable Bearbeitungsgeometrien auf, wobei der Anteil der halbkugeligen Abrundungen der Borstenenden überwog. In Abbildung 21 sind drei Filamente dargestellt, von denen die zwei äußeren vom Rand des Bürstenfeldes entnommen wurden. Die drei dargestellten Borstenenden wurden dem akzeptablen Abrundungstyp A2 zugeordnet wurden.

Daneben lagen auch nicht akzeptable Formen durch einflächig schräg abgeschnittene Borsten vor (Abb. 22).

Die Schlussäuberung war gut, nur selten waren Kunststoffspäne zu beobachten (Abb. 23). Auch riefen- und rillenartig eingekerbte Borstenschäfte waren vereinzelt erkennbar.

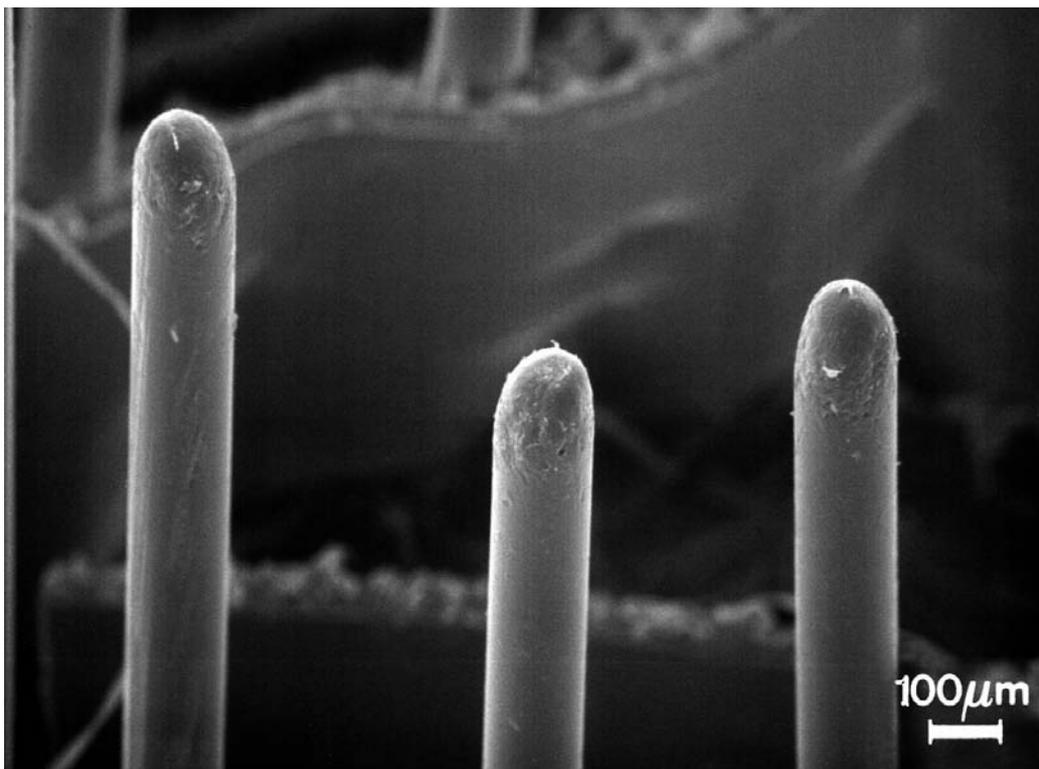


Abb. 21 Borstenendgeometrien mit halbkugeligen Abrundungen entsprechend Abrundungstyp A2 bei Produkt 2 (Colgate Actibrush RB 06)

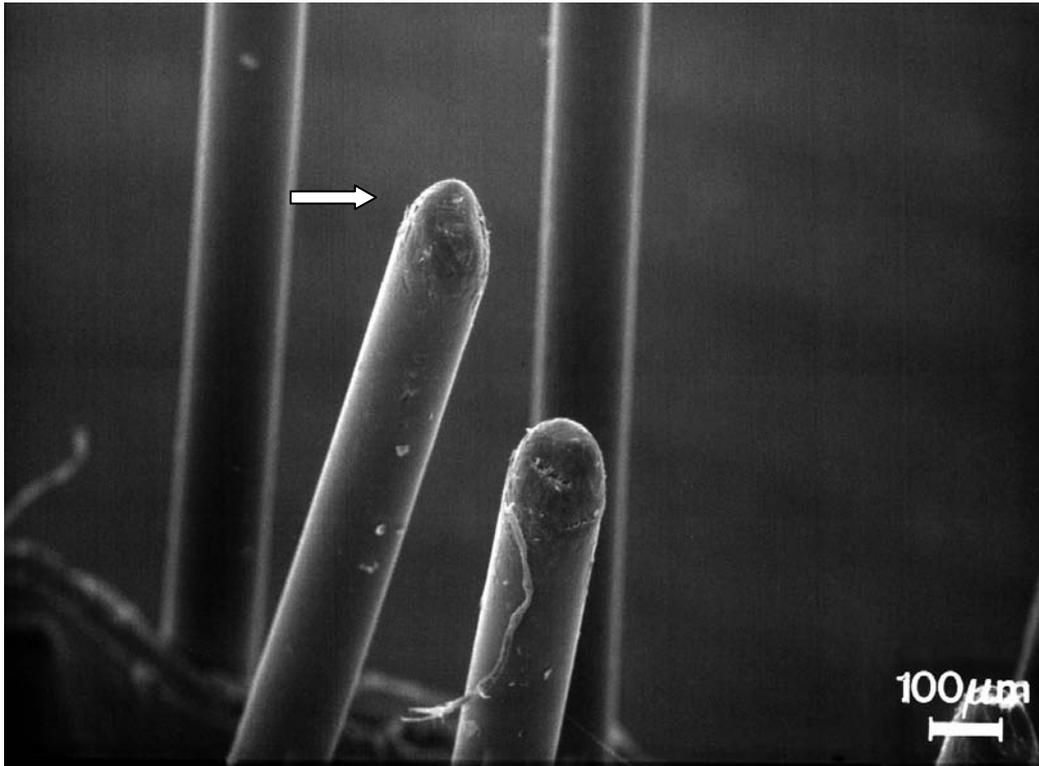


Abb. 22 Schräg angeschnittenes Filament entsprechend Abrundungstyp N2 (Pfeil) bei Produkt 2 (Colgate Actibrush RB 06)

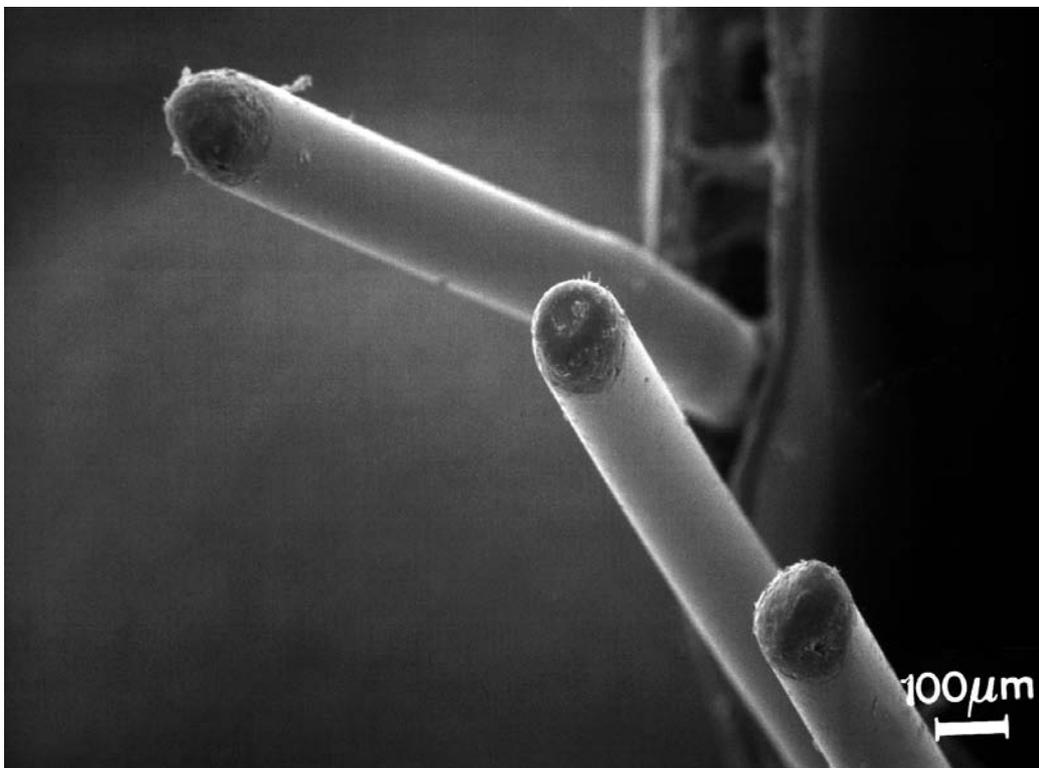


Abb. 23 Gute Schlussäuberung der Borsten (Produkt 2; Colgate Actibrush RB 06)

Produkt 3: Krups Biocare Family

Die fünf untersuchten Wechselköpfe wiesen sowohl am Rand, als auch aus der Mitte des Bürstenfeldes eine sehr gute homogene Verarbeitung der Borstenenden auf. Dabei ließen sich gelungene hemisphärische Formen der Abrundung (Typ A2) feststellen (Abb. 24).

Neben solchen gut bearbeiteten Borsten fanden sich vereinzelt negativ zu bewertende schlecht abgerundete Formen. Zu finden waren dabei einseitig schräg angeschnittene Filamente (Abrundungstyp N2; Abb. 25). Bei einem Exemplar traten gehäuft unzureichend abgerundete Borstenenden in Form von einseitig schrägen Varianten auf.

Zu erkennen waren auch bearbeitungsbedingte Rauigkeiten mit Kunststoffspänen im Bereich der Borstenschäfte, die wiederum vier Exemplare betrafen (Abb. 26).

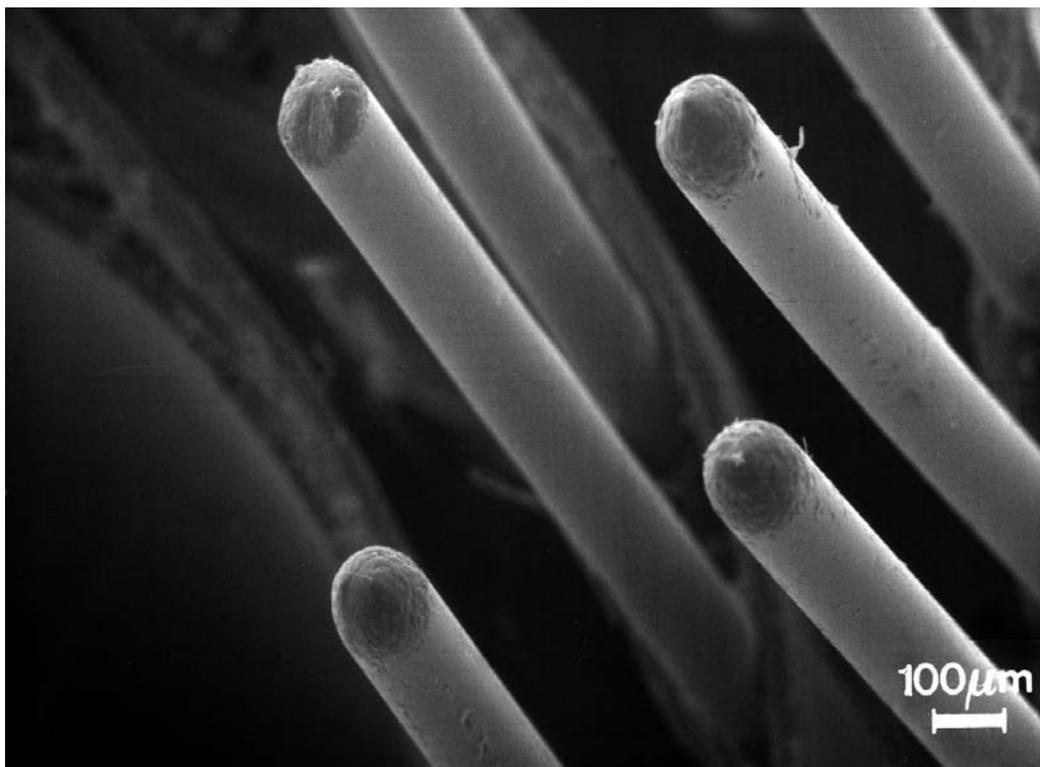


Abb. 24 Durchgehend akzeptabel abgerundete Borstenenden (Produkt 3; Krups Biocare Family)

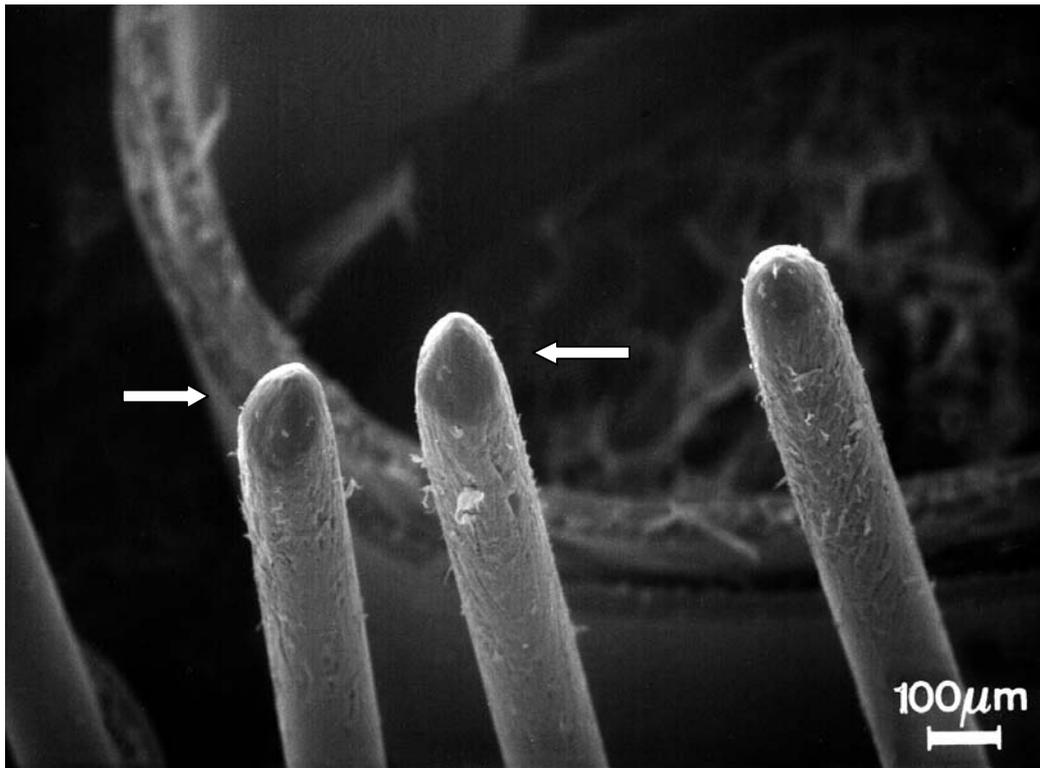


Abb. 25 Schräg geschnittene Borstenenden entsprechend Abrundungstyp N2 (Pfeile) bei Produkt 3 (Krupps Biocare Family)

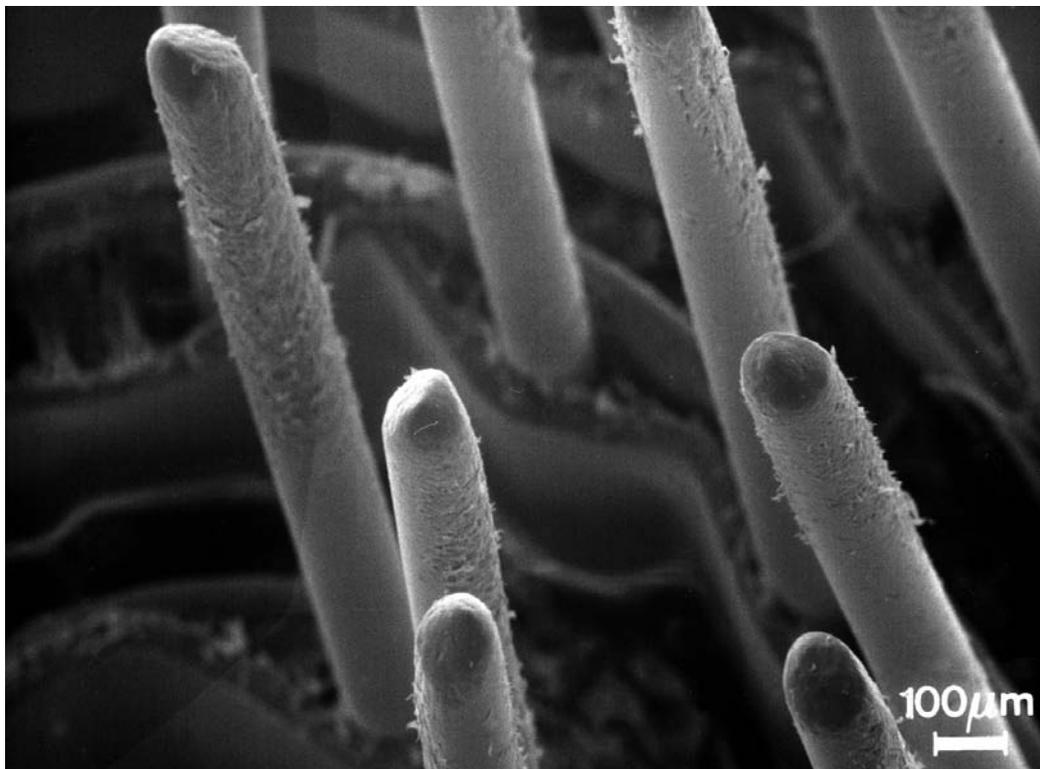


Abb. 26 Bearbeitungsbedingte Rauigkeiten mit Kunststoffspänen im Bereich der Borstenschäfte (Produkt 3; Krups Biocare Family)

Produkt 4: Philips Jordan Sensiflex 2000 HX 2002/L

Die untersuchten Exemplare wiesen eine inhomogene Bearbeitungsqualität der Borstenenden auf. Diese zeigten uneinheitliche Schnittflächen und viele Borsten waren schräg angeschnitten. Darüber hinaus lagen vereinzelt Filamentenden in Form knopfartig überhängender Typen vor, die dem Abrundungstyp N4 zugeordnet wurden (Abb. 27). Neben solchen schlecht bearbeiteten Borsten fanden sich auch positiv zu bewertende gut abgerundete Formen. Auffallend waren hierbei die hemisphärisch abgerundeten Filamente (Abrundungstyp A2). Ein Beispiel dafür stellt die Abbildung 28 mit zwei Filamenten mit eindeutig halbkugelig abgerundeter Form dar.

Die abschließende Säuberung war zufriedenstellend, es kamen selten anhaftende Kunststoffspäne vor (Abb. 29).

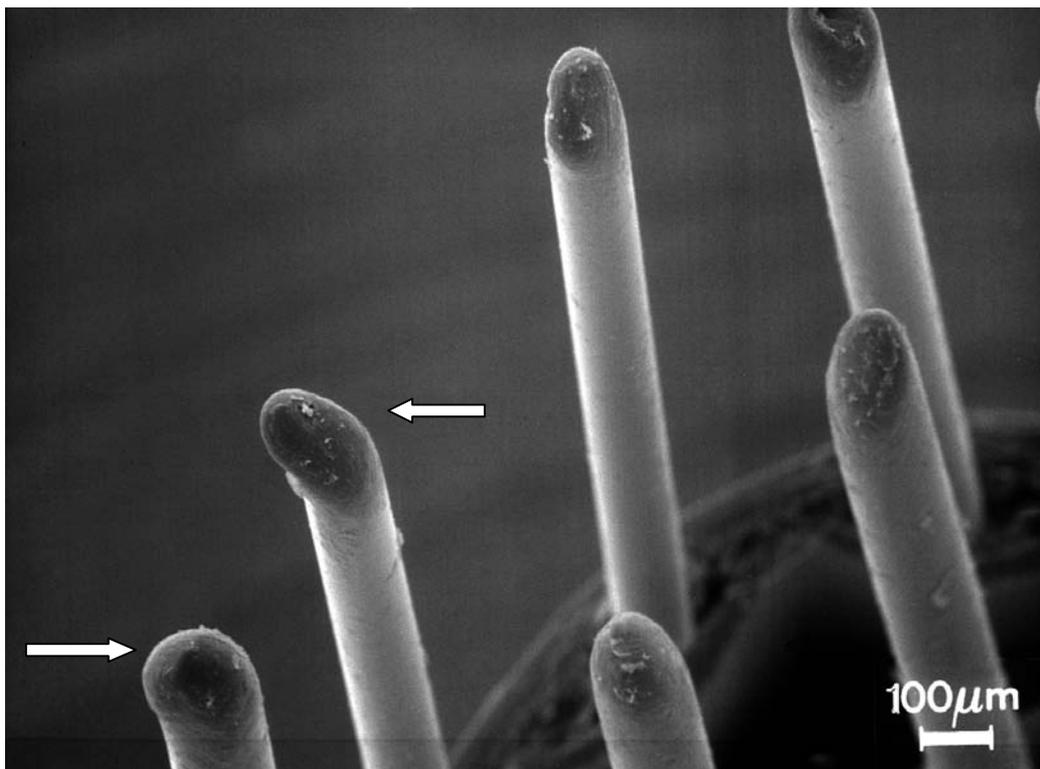


Abb. 27 Knopfartig verdickte Borstenenden entsprechend Abrundungstyp N4 (Pfeile) bei Produkt 4 (Philips Jordan Sensiflex 2000 HX 2002/L)

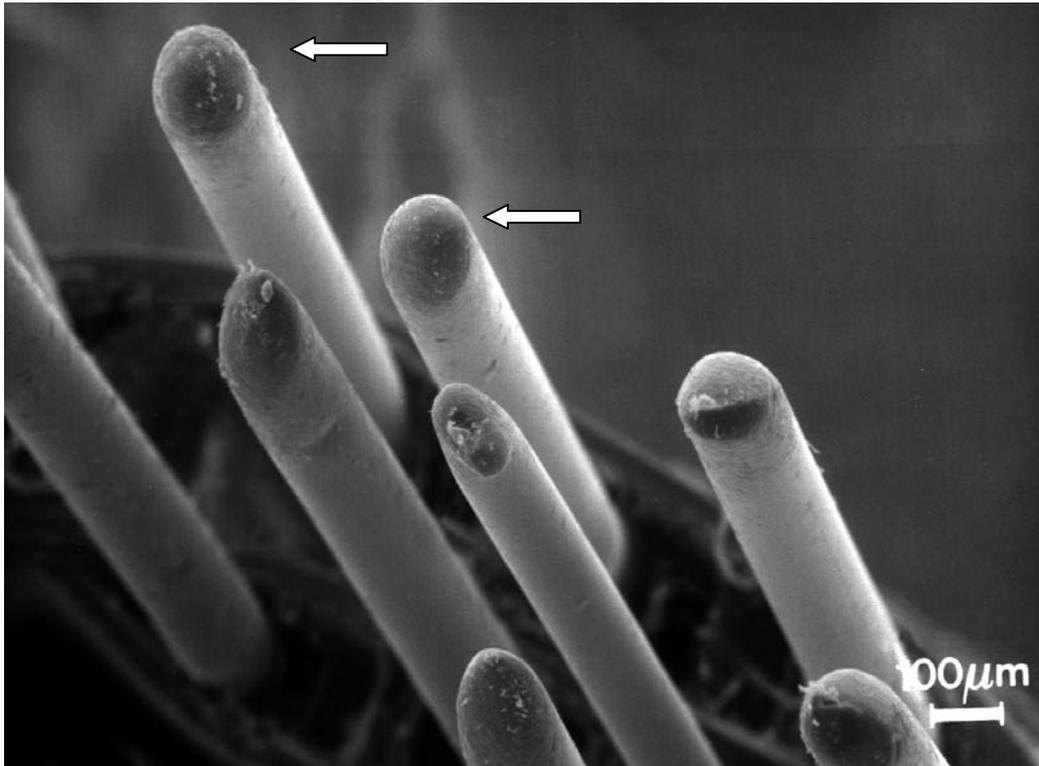


Abb. 28 Hemisphärisch abgerundete Formen (Pfeile; Produkt 4; Philips Jordan Sensiflex 2000 HX 2002/L)

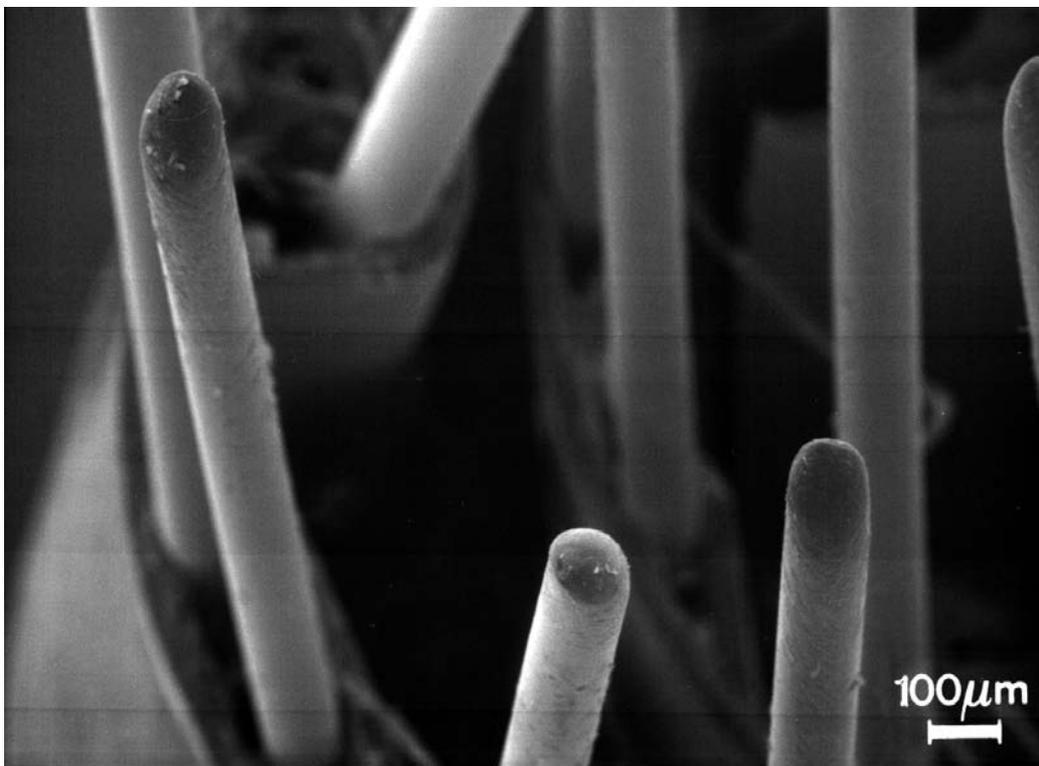


Abb. 29 Gute Schlussäuberung der Borsten (Produkt 4; Philips Jordan Sensiflex 2000 HX 2002/L)

Produkt 5: Rowenta rotaclip medium ZH 710

Vier der fünf untersuchten Exemplare der Rowenta wiesen eine gute Abrundung mit erhaltenem Plateau auf, die der Kategorie A1 zugeordnet werden konnten (Abb. 30). Vereinzelt waren misslungene schräg angeschnittene Filamente und Borsten mit flachen Abschnittsflächen und randüberhängigen Kunststoffanteilen (Abrundungstyp N4) zu erkennen (Abb. 31).

Sowohl am Bürstenfeldrand, als auch in der Borstenfeldmitte zeigten die Schnittflächen vereinzelt leichte Riefen, die auf Schnitt- und Bearbeitungsspuren hindeuten (Abb. 31). In der Abbildung 32 ist auch die befriedigende Säuberung der Oberfläche von anhaftendem Kunststoffmaterial ersichtlich.

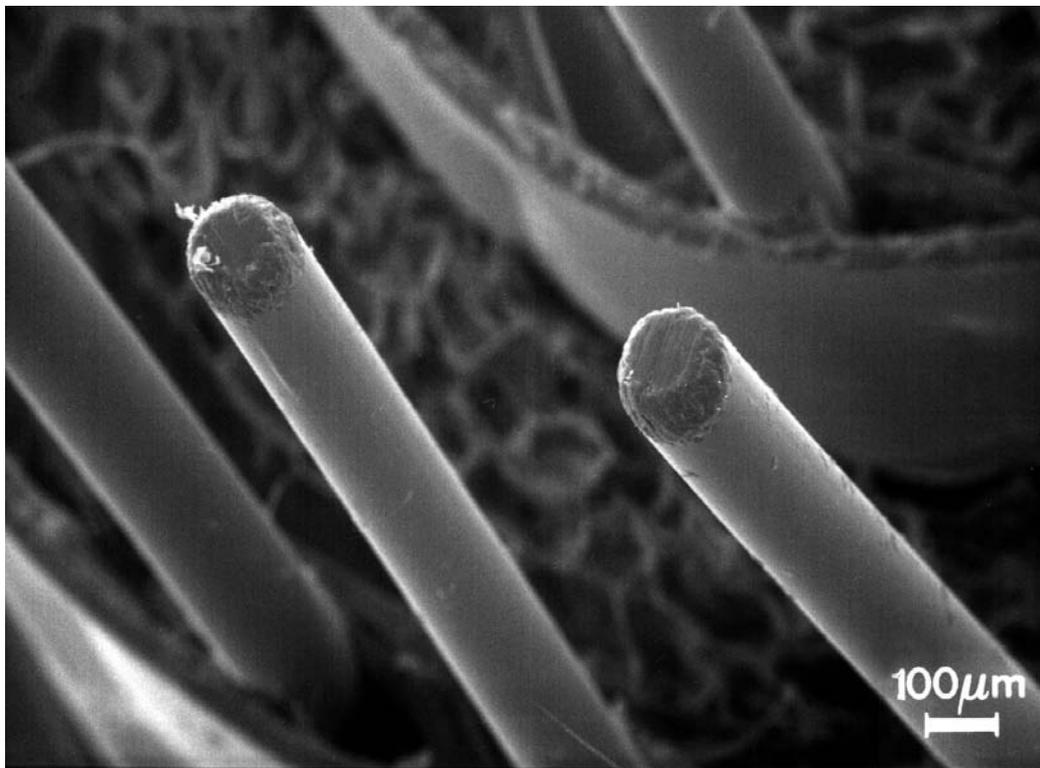


Abb. 30 Gelungene Abrundungen mit erhaltenem zentralem Plateau (Abrundungstyp A1) bei Produkt 5 (Rowenta rotaclip medium ZH 710)

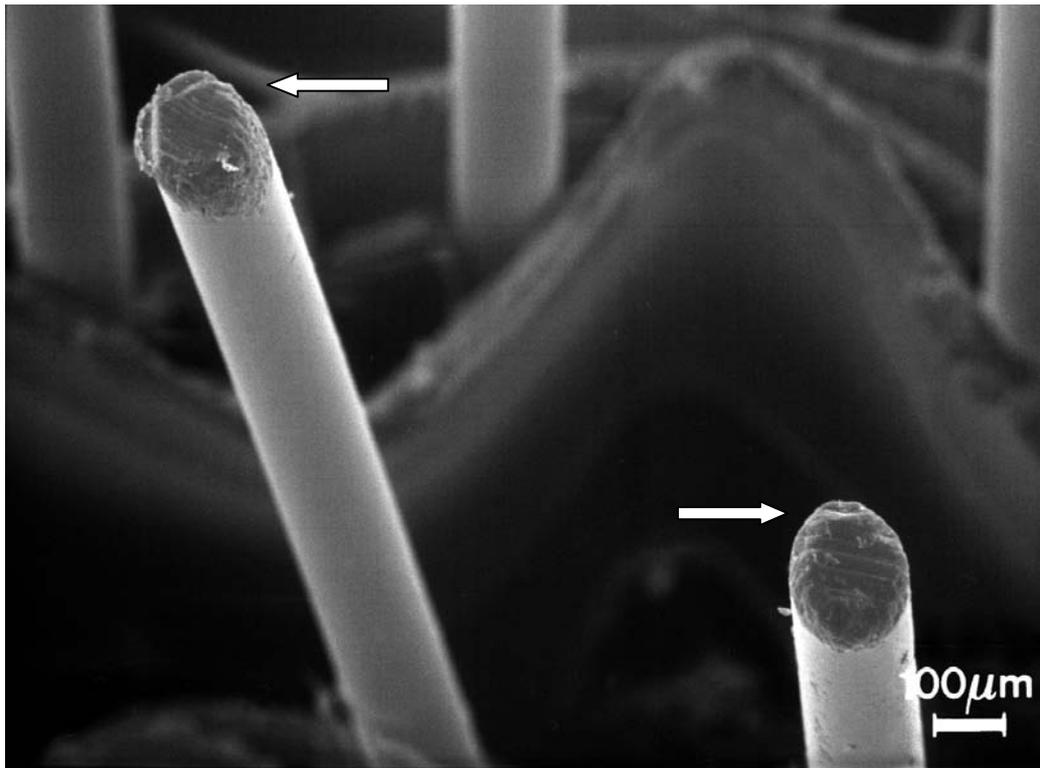


Abb. 31 Nicht akzeptable Borsten mit flachen Abschnittsflächen mit randüberhängigen Kunststoffanteilen entsprechend Abrundungstyp N4 (Pfeile; Produkt 5; Rowenta rotaclip medium ZH 710)

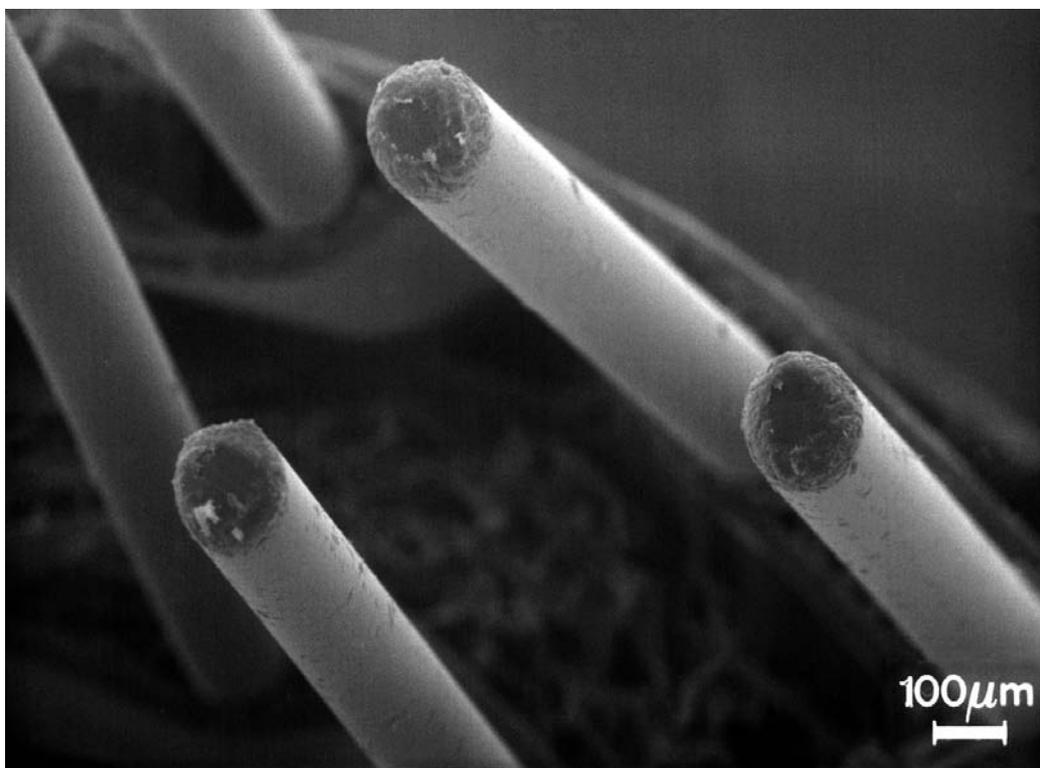


Abb. 32 Borsten mit befriedigender Schlussäuberung (Produkt 5; Rowenta rotaclip medium ZH 710)

Produkt 6: Severin EB 9030

Die fünf untersuchten Wechselköpfe vermittelten sowohl am Bürstenfeldrand als auch in der Bürstenfeldmitte überwiegend eine homogene Verarbeitungsqualität, wobei halbkugelig gelungene Abrundungsgeometrien (Typ A2) sowie auch Abrundungen mit verbliebenem zentralem Plateau (Typ A1) imponierten (Abb. 33). Nicht alle Borsten waren akzeptabel bearbeitet. Vereinzelt lagen auch inakzeptable Formen wie in Abbildung 34 durch randüberhängige Kunststoffreste (Typ N4) und Schräganschnitte (Typ N2) vor.

Unsauberkeiten in Form von Kunststoffspänen ließen sich nur sehr selten beobachten (Abb. 35).

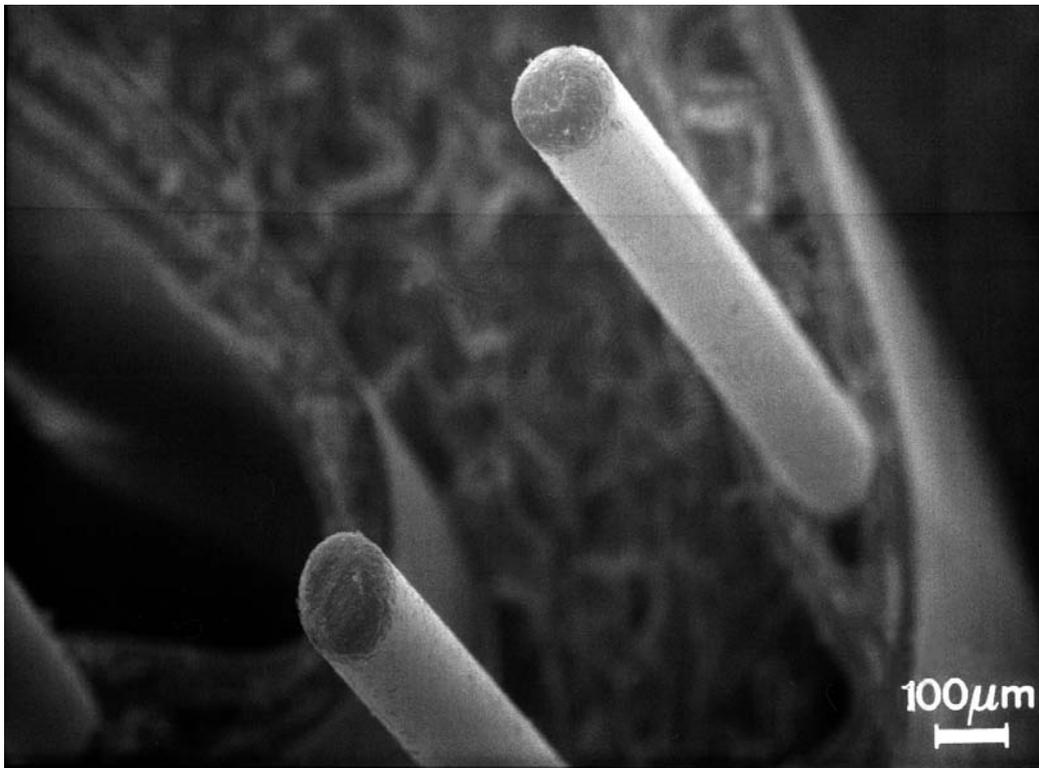


Abb. 33 Gelungene Abrundungen mit zentralem Plateau entsprechend Abrundungstyp A1 bei Produkt 6 (Severin EB 9030)

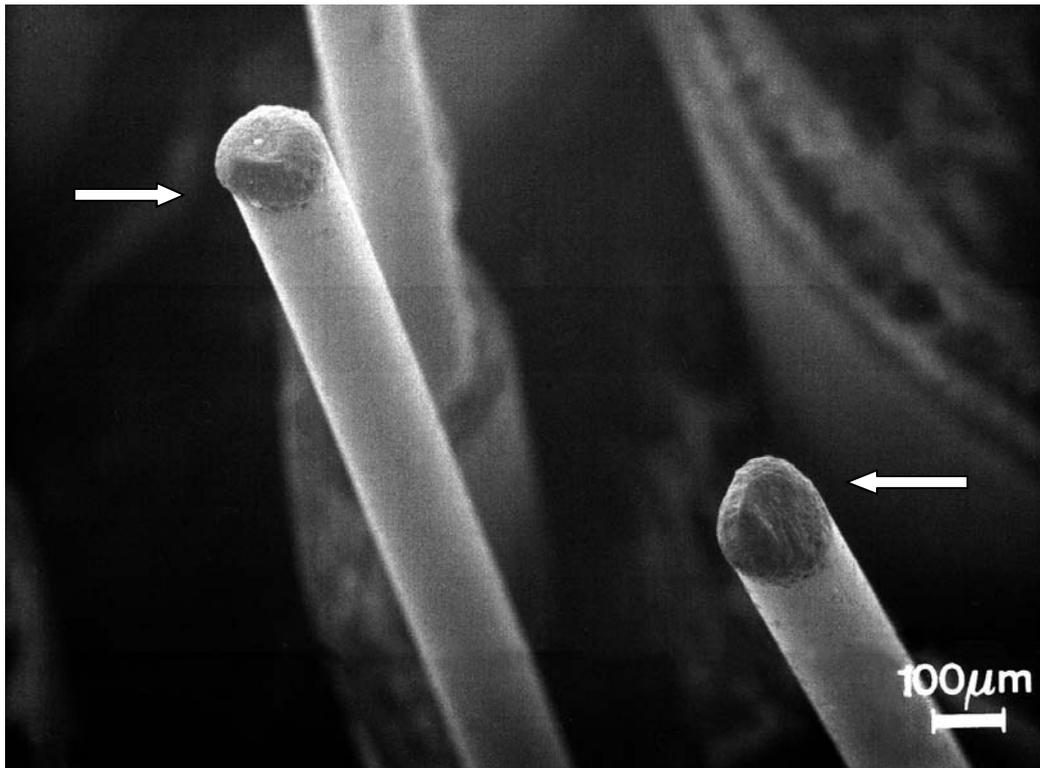


Abb. 34 Borsten mit randüberhängigen Kunststoffresten (Typ N4) und Schräganschnitten (Typ N2; Pfeile) bei Produkt 6 (Severin EB 9030)

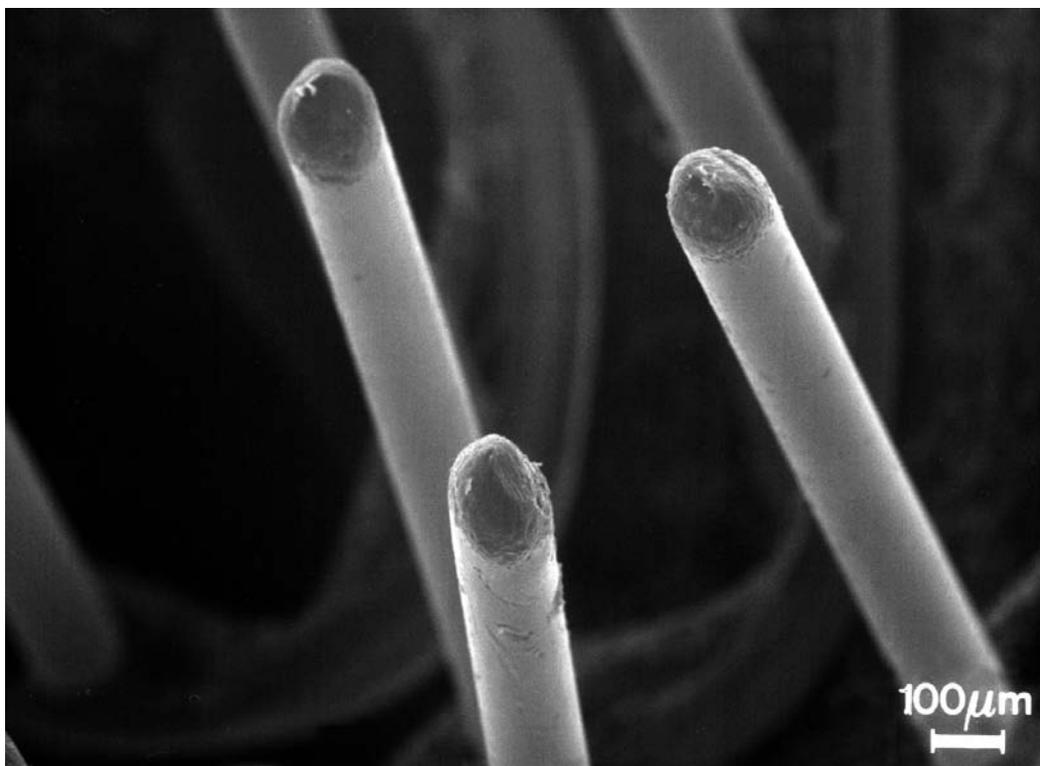


Abb. 35 Gute Schluss säuberung der Borsten bei Produkt 6 (Severin EB 9030)

Produkt 7: Sonicare „Compact“ Size CH-2

Die Filamente des Bürstenfeldrandes wiesen sowohl akzeptable als auch nichtakzeptable Schnittflächen auf. Diesbezüglich fielen akzeptable Abrundungen mit verbliebenem Plateau (Typ A1) und halbkugelig gelungene Filamentenden (Typ A2) auf (Abb. 36). Daneben fanden sich auch negativ zu bewertende schlecht abgerundete Formen. Neben einseitig angeschrägten Enden (Typ N2) fielen wenige konkave Schnittflächen auf. Andere Borsten wiesen randüberständige Kunststoffteile (Typ N4) auf, die auch Spalten und Kerben enthielten. Seltener kamen gesplissene Enden (Typ N5) vor (Abb. 36).

Die Filamente der Bürstenfeldmitte waren teilweise nicht akzeptabel. Den weitaus größten Anteil bildeten Abrundungsgeometrien, wovon die in Abbildung 37 dargestellten Varianten den Eindruck vermitteln, als sei es bei der Bearbeitung zu Quetschungen der Borstenenden gekommen. Nur so ließen sich zumindest die teilweise zu erkennenden waagrechten Risse in der Kunststoffsubstanz erklären. In Abbildung 37 werden Borstenenden mit polymorphförmig überhängenden Kunststoffrändern (Typ N5) dargestellt. Daneben fanden sich auch schräg abgeschnittene Filamentenden. Neben solchen schlecht bearbeiteten Borsten fanden sich sehr vereinzelt positiv zu bewertende gut abgerundete Formen und Borstenenden mit verbliebenem Plateau.

Vereinzelt zeigten sich wie in Abbildung 38 Borstenschäfte mit bearbeitungsbedingten Rauigkeiten. Auch traten zum Teil überschüssige Kunststoffspäne auf.

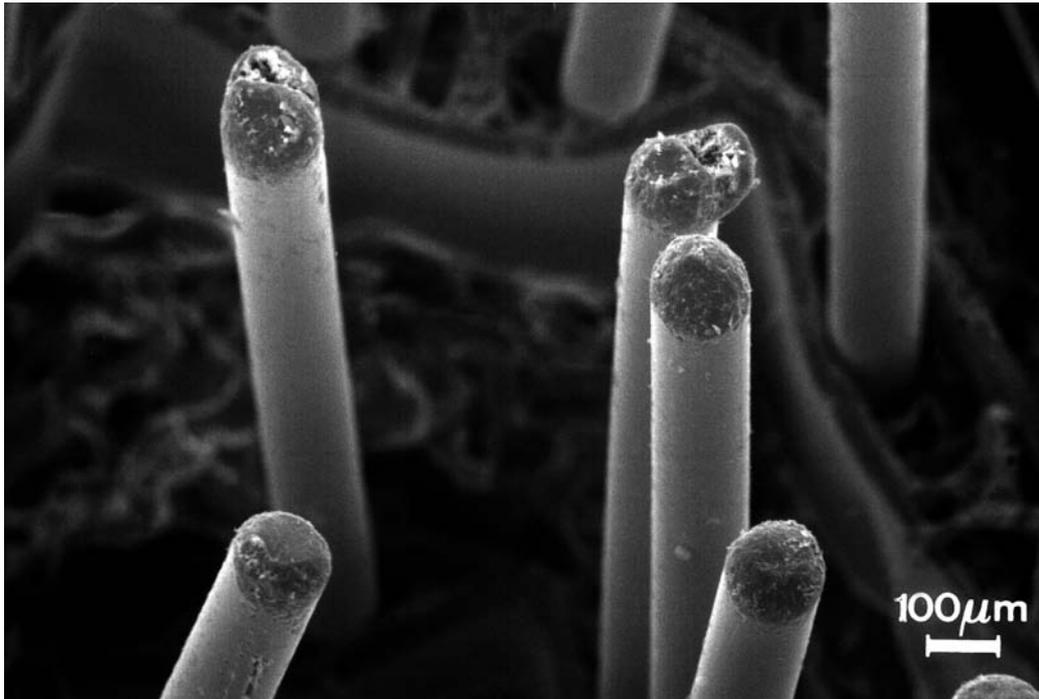


Abb. 36 Vereinzelt akzeptable Abrundungen, neben missglückten Abrundungen mit überhängenden Borstenrändern (Produkt 7; Sonicare „Compact“ Size CH-2)

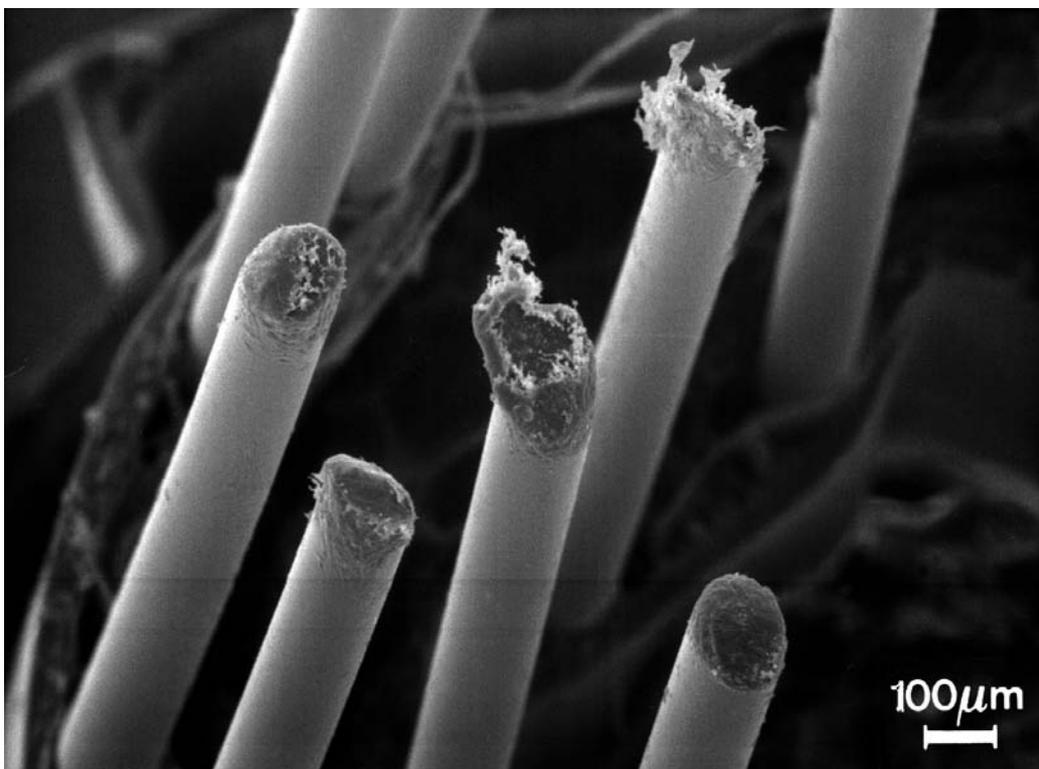


Abb. 37 Polymorph verzogene Borstenenden mit überhängigen Kunststoffresten (Abrundungstyp N5) bei Produkt 7 (Sonicare „Compact“ Size CH-2)

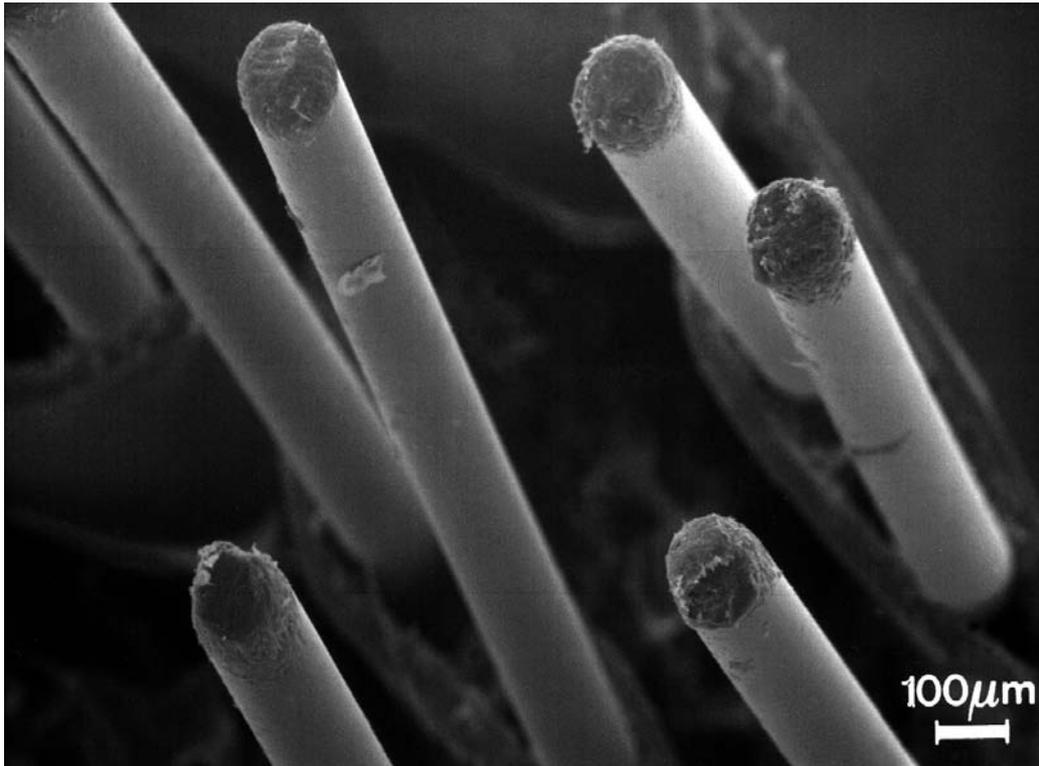


Abb. 38 Vereinzelt bearbeitungsbedingte Rauigkeiten im Bereich der Borstenschäfte (Produkt 7; Sonicare „Compact“ Size CH-2)

Produkt 8: Water Pik BRB 4E Intersanté

Die untersuchten fünf Exemplare wiesen im Borstenfeldrand sowie in der Borstenfeldmitte überwiegend nicht-akzeptable Bearbeitungsgeometrien der Borstenenden auf. In der Abbildung 39 sind Borsten mit Schräganschnitt und mit zurückgebliebenen Kunststoffresten zu erkennen. Bei einem Exemplar waren überwiegend mehr seitlich angeschrägte Enden zu finden, die scharfe Kanten (Abrundungskategorie N2) aufwiesen (Abb. 39 und 40). Auch andere Formen von missratenen Abrundungen waren häufig zu erkennen, wie überhängende Borstenränder, zerklüftete Borstenenden und polymorphe Kunststoffüberstände (Abrundungskategorie N5). Besser bearbeitete Filamente waren eindeutig in der Unterzahl (Abb. 41).

Zum Teil fielen unebene Oberflächen auf. So erkennt man häufig grobe Kratzspuren auf den Borstenschäften, andere Borsten wiesen Kerben auf. Auch hier sind geringe zurückgebliebene Kunststoffreste zu erkennen, bei einem Exemplar waren diese gehäuft anzutreffen (Abb. 39).

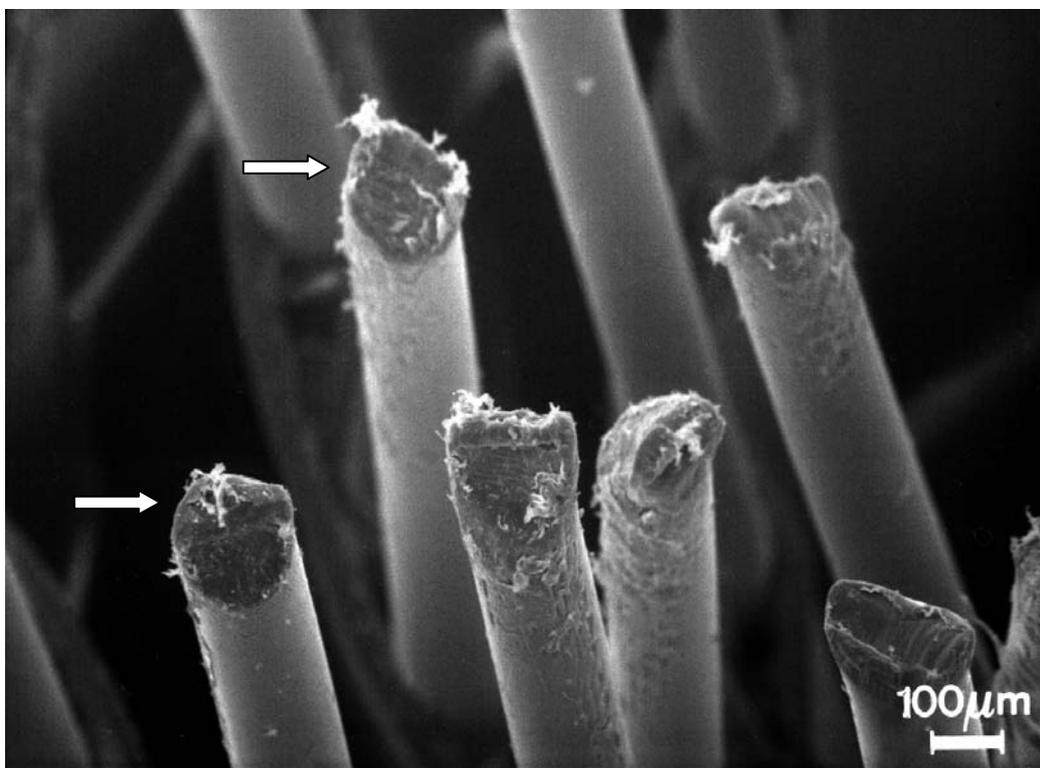


Abb. 39 Schräg abgeschnittene Formen mit Kunststoffresten (Pfeile; Produkt 8; Water Pik BRB 4E Intersanté)

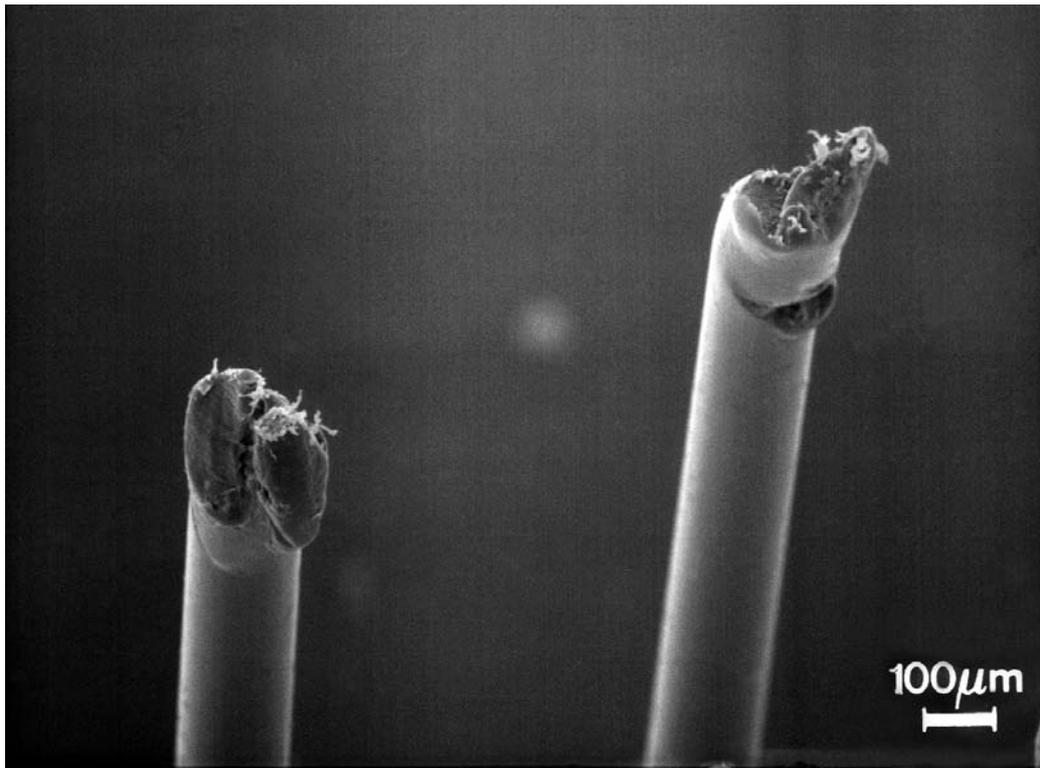


Abb. 40 Einseitige Schräganschnitte mit zerklüfteten Borstenenden (Pfeile; Produkt 8 Water Pik BRB 4E Intersanté)

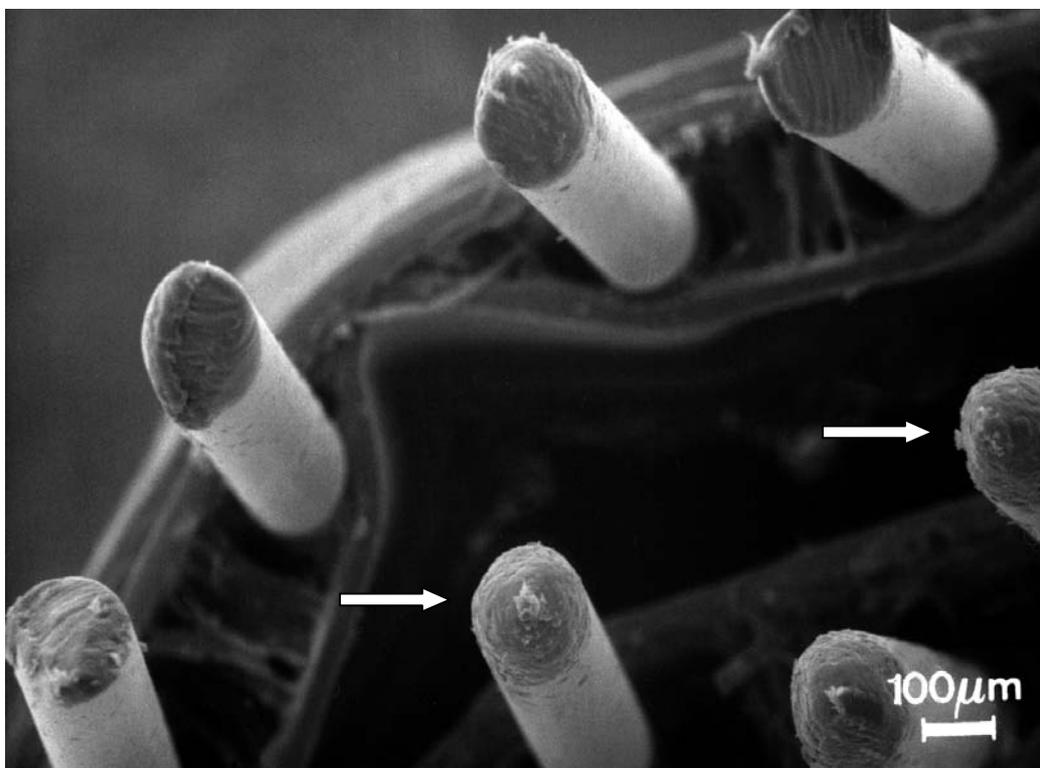


Abb. 41 Vereinzelte gelungene Abrundungen (Pfeile) neben nicht akzeptablen Borstenenden (Produkt 8; Water Pik BRB 4E Intersanté)

Zusammenfassend kann man feststellen, dass alle untersuchten Produkte sowohl akzeptabel als auch nichtakzeptabel abgerundete Borstenenden aufwiesen. Die beiden Formen akzeptabler Abrundungsgeometrien traten häufig bei den einzelnen Produkten nebeneinander auf. Verschiedene nichtakzeptable Abrundungsformen waren ebenfalls häufig bei den einzelnen Produkten vertreten. Nichtakzeptable Abrundungsgeometrien waren meist Schräganschnitte oder seitlich überhängende Kunststoffpartien sowie unregelmäßig ausgefranste Borstenenden. Geradkantige Borstenenden (Typ N1) und dachfirstförmige Geometrien (Typ N3) wurden bei keinem der Produkte festgestellt.

4. 3 Quantitative Auswertung der REM- Aufnahmen

4.3.1 Vergleiche zwischen den Produkten

Die Bewertung der Bearbeitung der Borstenenden von acht untersuchten Aufsteckbürsten elektrischer Zahnbürsten wird in Tabelle III ersichtlich. Der Anteil der akzeptabel abgerundeten Borstenenden unterscheidet sich beim Vergleich der getesteten Produkte beträchtlich.

Er liegt bei dem Produkt 3 mit 82,3 % am höchsten. Die Produkte 6, 1 und 5 wiesen über 70 % akzeptabler Abrundungen auf. Für das Produkt 2 lag der Anteil akzeptabler Filamentenden bei 68 %.

Sehr uneinheitlich ist die Abrundung der Borsten bei dem Produkt 4, wenngleich immerhin noch 55,4 % in die Rubrik „akzeptabel“ fallen.

Für das Produkt 7 konnten nur noch 41,1 % der bearbeiteten Borstenenden positiv bewertet werden, für das Produkt 8 waren dies 21,7 %.

Produkt	Produktnamen	Akzeptabel		Nichtakzeptabel		Rang
		Anzahl	%	Anzahl	%	
1	Braun Oral-B EB 15-2	127	72,60	48	27,40	3
2	Colgate Actibrush RB 06	119	68,00	56	32,00	5
3	Krups Biocare Family	144	82,30	31	17,70	1
4	Philips Sensiflex 2000	97	55,40	78	44,60	6
5	Rowenta medium ZH 710	124	70,60	51	29,10	4
6	Severin EB 9030	132	75,40	43	24,60	2
7	Sonicare Compact Size	72	41,10	103	58,90	7
8	Waterpik SRB 2E	38	21,70	137	78,30	8

Tabelle III: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von acht Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten

Was nun die nähere Aufschlüsselung der Verteilung der gefundenen Formtypen sowohl bei den akzeptablen als auch bei den nicht-akzeptablen Bearbeitungen der Borsten angeht, so ist auf Tabelle IV zu verweisen.

Ergebnisse

Dabei wird deutlich, dass bei Produkt 1 mit 74 Borsten die ideale Form der halbkugeligen Abrundung entsprechend Abrundungstyp A2, am häufigsten zu finden war. Bei den als nicht-akzeptabel bewerteten Borstenfilamenten dieser Aufsteckbürste konnte ein hoher Anteil (n= 35) der Konturenform N2, der einseitig schräg abgeschnittenen Form, zugeordnet werden.

Auch bei den Produkten 2, 3 und 4 dominierten mit 82, 123 und 85 Filamenten die als ideal angesehene hemisphärische Konturenform A2. Bei der Untersuchung von Produkt 5 wurden mit 120 Filamentenden die Kategorie A1, die Form mit erhaltenem Plateau, und bei Produkt 6 wurden 73 Borsten der akzeptablen Konturenform A1 zugeordnet. Bei Produkt 7 und 8 waren mit 44 und 89 Borstenenden schließlich die Kategorie N2 (einseitig schräg abgeschnittene Form) am häufigsten zu finden.

Produkt	Akzeptabel		Nicht akzeptabel				
	A1	A2	N1	N2	N3	N4	N5
							
1	53	74	0	35	0	11	2
2	37	82	0	44	0	12	0
3	21	123	0	29	0	2	0
4	12	85	0	61	0	12	5
5	120	4	2	29	0	19	1
6	73	59	1	30	0	11	1
7	41	31	7	44	0	20	32
8	3	35	0	89	0	17	31

Tabelle IV: Verteilung der Formtypen bei den akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden

Im Hinblick auf die Qualität der Borstenabrundung waren zwischen den Produkten signifikante Unterschiede ($p= 0,0001$) vorhanden. Danach wiesen die Produkte 7 (58,9 % nicht akzeptable Borstenenden) und 8 (78,30 % nicht akzeptable

Borstenenden) im Vergleich zu den Produkten 1-6 einen signifikant höheren Anteil nichtakzeptabel abgerundeter Borstenenden auf (Tabelle V).

Produkt (Nr.)	Anteil nicht akzeptabler Borstenenden (%)	Produkt (Nr.)							
		3	6	1	5	2	4	7	8
Krups Biocare Family (3)	17,7								
Severin EB 9030 (6)	24,6								
Braun Oral-B EB 15-2 (1)	27,4								
Rowenta medium ZH 910 (5)	29,1								
Colgate Actibrush RB 15-4 (2)	32,0								
Philips Sensiflex 2000 (4)	44,6	x							
Sonicare Compact Size (7)	58,9	x	x	x	x	x			
Waterpik SRB 2E (8)	78,3	x	x	x	x	x	x		

Tabelle V: Anteil nicht akzeptabler Borstenenden von acht Aufsteckbürsten elektrischer Zahnbürsten und signifikante Unterschiede (x) zwischen den Produkten (Einfache Varianzanalyse und Scheffé post-hoc Test; $p < 0.05$)

4.3.2 Vergleiche zwischen den Lokalisationen am Rand und in der Mitte

Die Darstellung der Verteilung akzeptabel bearbeiteter Borstenenden in den Regionen Bürstenfeldrand und Bürstenfeldmitte erfolgt in der Tabelle VI.

Mit dem nichtparametrischen Wilcoxon- Vorzeichen Rangtest konnte zwischen den Abrundungsqualitäten der Borstenenden vom Bürstenfeldrand und von der Bürstenfeldmitte kein signifikanter Unterschied ($p=0,124$) festgestellt werden. Das bedeutet, dass über alle Produkte gemittelt keine Tendenz für eine bessere Bearbeitung der Filamentenden in einem der beiden Lokalisationen erkennbar war. Die Varianzanalyse wies jedoch bezüglich der Anzahl akzeptabler Borstenenden und ihrer Lokalisation eine signifikante Wechselwirkung zwischen den einzelnen Produkten ($p=0,001$) auf.

Hinsichtlich der Verteilung der akzeptabel bearbeiteten Borstenenden wird deutlich, dass bei Produkt 1 die Verteilung am Bürstenfeldrand (40,6 % akzeptable Borstenenden) und in der Bürstenfeldmitte (32,0 % akzeptable Borstenenden) nahezu gleich war. Bei den Produkten 2, 3, 4, 5 und 6 kann in der Borstenverarbeitung am Bürstenfeldrand und –mitte tendenziell eine ähnliche Verteilung festgestellt werden. Dabei kann eine Variationsbreite von 1,4 (bei

Produkt 5 mit 41,1 % zu 29,7 % akzeptable Borstenenden in Bürstenfeldrand und –mitte) sowie 1,7 (bei Produkt 3 mit 52,0 % zu 30,3 % akzeptabler Borstenenden am Rand und Mitte) errechnet werden. Bei den Produkten 7 und 8 zeigt sich eine große Diskrepanz (7-fach bei Produkt 7 und 3-fach bei Produkt 8) hinsichtlich der Verarbeitung der akzeptablen Borstenenden zwischen den Lokalisationen Rand und Mitte.

Produkt	Rand [% akzeptabel]	Mitte [% akzeptabel]
1	40,6	32,0
2	42,9	25,1
3	52,0	30,3
4	32,6	22,9
5	41,1	29,7
6	45,7	29,7
7	36,0	5,1
8	15,4	6,3

Tabelle VI: Verteilung akzeptabler Borstenenden in den Bürstenfeldregionen Rand und Mitte

4.3.3 Vergleiche zwischen den einzelnen Exemplaren der jeweiligen Produkte untereinander

Die Bewertung der fünf Exemplare eines jeweiligen Produktes wird in der Tabelle VII sowie in detaillierter Weise im Anhang in den Tabellen VIII bis XV dargestellt.

Produkt	Mittelwert %	Standardabweichung	Minimum %	Maximum %
1	72,56	± 6,54	62,90	77,10
2	68,00	± 12,98	54,30	85,70
3	82,30	± 8,89	68,60	91,40
4	55,42	± 7,15	48,60	65,70
5	70,84	± 7,09	60,00	77,10
6	75,42	± 8,21	62,90	85,70
7	41,12	± 4,35	37,10	45,70
8	21,72	± 13,92	2,90	40,00

Tabelle VII: Variabilität zwischen Exemplaren der jeweiligen Produkte bezüglich akzeptabler Borstenenden (Minimum: Exemplar mit dem niedrigsten Anteil akzeptabler Borstenenden; Maximum: Exemplar mit dem höchsten Anteil akzeptabler Borstenenden)

Die Tabelle VII verdeutlicht die Variabilität zwischen den untersuchten Exemplaren. Dabei kann bei Produkt 7 eine niedrige Standardabweichung ($\pm 4,35$) hinsichtlich akzeptabler Borstenenden festgestellt werden. Die Produkte 1, 3, 4, 5 und 6 besitzen eine mäßig hohe Standardabweichung. Hingegen besitzen die Produkte 2 und 8 im Vergleich zu anderen Produkten die größte Standardabweichung ($\pm 12,98$ bzw. $\pm 13,92$).

Die Differenz zwischen dem Exemplar mit dem höchsten und mit dem niedrigsten Anteil akzeptabler Borstenenden bei Produkt 7 ist mit 8,6 % gering. Bei den Produkten 1, 3, 4, 5 und 6 kann eine Variationsbreite von 14,2 % bis 22,8 % festgestellt werden. Zwischen den Exemplaren der Produkte 2 und 8 zeigen sich große Diskrepanzen (37,4 % bei Produkt 2 und 37,1 % bei Produkt 8) bezüglich des Anteils akzeptabler Filamentenden.

5. Diskussion

Bürsten mit nicht oder nur unzureichend abgerundeten Filamenten stellen eine potentielle Verletzungsgefahr für das Weichgewebe der Mundhöhle dar, die in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten belegt wurde (Bass 1948; Storsberg 1955; Löbbe 1956; Anneroth und Poppelmann 1975; Plagman et al. 1978; Alexander et al. 1977; Breitenmoser 1979; Sandholm et al. 1982; Smukler und Landberg 1984). Auch aktuelle Studien bestätigen diese Aussage. Rawls et al. (1993) berichteten in ihrer Untersuchung von Beschwerden und Schmerzempfindlichkeit an der Gingiva nach Anwendung von Borsten mit mangelhaften Abrundungen. Danser et al. (1998) fanden heraus, dass nicht akzeptabel abgerundete Borsten einen Einfluss auf die Entstehung und Ausprägung von Zahnfleischabrasionen hatten. In einer Studie von Imfeld et al. (2000) wurde mangelhafte Borstenendqualität von Zahnbürstenfilamenten als eine mögliche Ursache einer Zahnfleischverletzung ermittelt. Ebenfalls können nicht oder nur unzureichend bearbeitete Borstenenden das orale Hartgewebe verletzen (Niemi et al. 1984, Bergstrom et al. 1988, Lentz et al. 1991). Untersuchungen bezüglich der Borstenabrundung von Zahnbürsten zeigten beträchtliche Unterschiede zwischen den Produkten auf (Koçkapan und Wetzell 1987; Silverstone & Featherstone 1988; Althaus et al. 1990; Müller et al. 1992; Mulry et al. 1992; Dellermann und Burkett 1994; Jung et al. 1996; Checchi et al. 2001; Jung et al. 2003; Meyer-Lueckel et al. 2004). So fanden zum Beispiel Jung et al. (1996) an sechs Wechselkopfzahnbürsten einen Anteil akzeptabel bearbeiteter Borsten zwischen 9,1 % und 78,6 %. Kürzlich ermittelten Checchi et al. (2004) an Borstenenden von 12 verschiedenen Zahnbürsten akzeptable Abrundungen zwischen 5,8 und 58,1 %.

Entscheidend für das Erzielen einer bestimmten Borstenendqualität ist die Anwendung eines geeigneten Abrundungsverfahrens. Je nach Produkt-Hersteller sind verschiedene Abrundungsverfahren von Borsten etabliert. Im folgenden werden vier unterschiedliche, häufig angewendete Verfahren dargestellt.

Bei einem Abrundungsverfahren werden die Bürsten zunächst dem Fräsaggregat bzw. der Schneidstation zugeführt. Die gewünschte Schnittform der Borsten wird mit einem Fräser mit spezieller Geometrie und Gegenmesser aus Schnellschnittstahl, der über dem Borstenfeld hin und her bewegt wird, hergestellt. Unter dem Mikroskop betrachtet sind die einzelnen Filamente jetzt scharfkantig abgetrennt (Schnitt zur Fläche 90°). Mit dem Abrunden erfolgt der wichtigste Teil der Borsten-Endbearbeitung. Die nach wie vor in dem Bearbeitungshalter geklemmten Bürsten werden über die sogenannten Taumelschleifer mit einer konstanten Geschwindigkeit geführt. Durch eine Taumelbewegung werden die Filamente rotatorisch bewegt und durch kontinuierliche Zuordnung wird an jedem Filamentende eine Abrundung erzeugt. Es sind, je nach Bürstenprofil, vier bis zehn Schleifer pro Maschine montiert, wobei die Bürsten zwischen zwei bis vier Sekunden über den Schleifern verharren und bearbeitet werden. Unterschieden werden zwischen Schleifer und Polierer, wobei die Schleifscheiben mit feinen (Durchmesser ca. 0,064 mm) Diamantsplittern und die Polierscheiben mit einer dünnen Keramikschiicht belegt sind.

Bei einem anderen Abrundungsverfahren haben die Borsten nach dem Schneiden der gewünschten Schnittform am Borstenende ebenfalls eine rechtwinklige Ausgangsfläche. Die in dem Bearbeitungshalter eingeklemmten Bürstenkörper werden in die Abrundungsstation weiter transportiert. Hier erfolgt nun die Abrundung mit Hilfe mehrerer exzentrisch rotierender Schleifscheiben aus Aluminiumoxid. Jede Schleifstation hat unterschiedliche Eintauchtiefen in die Borstenfelder, wobei die Filamente je nach Eintauchtiefe unterschiedlich in verschiedene Richtungen durchgebogen werden. Bei der ersten Schleifstation mit einer konstanten Schleifgeschwindigkeit und Schleifweg dringt die Schleifscheibe am tiefsten in die Borstenfelder ein. Dabei werden die Borsten am stärksten durchgebogen. Die Eintauchtiefe der Schleifstationen sowie die Durchbiegung der Filamente nimmt nach weiteren Stationen ab. Bei der letzten Schleifstation werden die Filamente durch die niedrige Eintauchtiefe der Schleifscheibe kaum durchgebogen. Das Ziel bei diesem Abrundungsverfahren ist, dass die Borstenkanten Stück für Stück abgerundet werden (von kantig bis wenig kantig zu rund). Zuletzt erfolgt die Politur mit einer Politurscheibe aus Diamantkörnern.

Anschließend wird mit Hilfe eines Druckluftgerätes der restliche Staub von den Borsten entfernt.

Bei der Abrundungsmethode nach Boucherie stellen bis zu fünf Fräs-/Schneidstationen den jeweiligen Schnitt einer Bürste her. Die Drehrichtungen der Frässtationen um die vertikale Achse ist immer entgegengesetzt (links/rechts, rechts/links, links/rechts usw.). Die Frässtationen laufen mit der gleichen Geschwindigkeit. Zur Abrundung der Borsten werden fünf Trommelschleifer verwendet, welche sich mit einer hohen Geschwindigkeit wie eine Trommel drehen. Diese Schleifer drehen sich um die vertikale Achse. Weiterhin sind diese Schleifstationen auf einem Schlitten angeordnet, welcher sich mit einer definierten Geschwindigkeit bewegt. Auch hier sind die Drehrichtungen der Schleifstationen um die vertikale Achse entgegengesetzt. Die Schleifstationen sind auf den ersten beiden Schleifern mit gröberem Diamant-Belag und auf den anderen drei Schleifstationen mit einem feineren Polier-Belag ausgestattet. Diese verschiedenen Stationen tauchen in das Borstenfeld je nach Art des Bürstenprofils eine bestimmte Tiefe. Im Vergleich zu den Frässtationen liegt die Geschwindigkeit der Schleifer um das 10-fache höher. Je nach zu verarbeitendem Härtegrad einer Bürste (Durchmesser der Filamente) muss die Drehzahl der Schleifstationen angepasst werden, um eine gute Qualität herzustellen. Je dicker die Filamente werden, um so langsamer wird die Geschwindigkeit der Schleifstationen eingestellt.

Bei einem weiteren Verfahren werden zum Schneiden der Borsten 8 Fräs-/Schneidstationen angewendet. Die Drehrichtung der Frässtationen um die vertikale Achse ist immer entgegengesetzt (recht/links, links/rechts, rechts/links usw.). Zur Bearbeitung der Borstenenden verwendet dieser Hersteller acht Taumelschleifer, welche sich mit einer hohen Geschwindigkeit drehen. Dieser Schleifer dreht sich auch seitlich abgewinkelt auf einer Umlaufbahn um die vertikale Achse, um die Borsten auf den Scheiben umzulenken und von allen Seiten zu erreichen. Die fünf Schleifstationen sind mit Saphir-Belag und die anderen drei Schleifstationen mit einem feineren Keramik-Belag ausgestattet. Die Drehzahl der Schleifstationen wird je nach Härtegrad einer Bürste eingestellt, das

bedeutet je dicker die Borsten, um so langsamer ist die Geschwindigkeit der Taumelschleifer.

Welches Abrundungsverfahren bei den von uns untersuchten Produkten zur Anwendung kam, lässt sich nicht feststellen. Jung (1995) stellte in einer Untersuchung fest, dass verschiedene Produkte eines Herstellers unterschiedliche Qualitäten aufweisen können. Ebenso traten innerhalb eines Produktes zwischen den Chargen unterschiedliche Qualitäten auf. Auch unterschiedlich gestaltete Borstenfelder können zu variierenden Abrundungsqualitäten führen. Die sehr heterogenen Abrundungsqualitäten zwischen und innerhalb verschiedener Zahnbürstenprodukte geben Anlass zu der Vermutung, dass entweder nicht jedes der angewendeten Verfahren in gleichem Maße geeignet ist zum Erzielen der konstant guten Qualität oder aber dass bei der Anwendung der Abrundungsverfahren durch die Hersteller Fehler auftreten, die nicht kontrolliert und korrigiert wurden.

Zur Methodik der vorliegenden Untersuchung lässt sich anmerken, dass der direkte Kontakt zu den Herstellern beziehungsweise Vertreibern der Produkte gewählt wurde, um die jeweils neuesten Produktionschargen auszuwerten. So ließ sich vermeiden, dass zufällig Restbestände älterer Chargen erfasst wurden.

Die Rasterelektronenmikroskopie dient häufig als Untersuchungsmethode zur Beurteilung von Borstenenden, da sie plastische Bilder von der Oberfläche der Borstenenden liefert. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeichnen sich durch eine große Tiefenschärfe aus. Sie eignen sich deshalb besonders zur exakten, deskriptiven Beurteilung von Oberflächengeometrien.

Das Rasterelektronenmikroskop wurde deswegen von vielen Untersuchern wie Klima und Rosiwall (1976), Henschke (1978), Schweitzer- Hirt (1979), Adriaens et al. (1985), Koçkapan und Wetzel (1987), Silverstone und Featherstone (1988), Dellermann und Burkett (1994), Jung 1995 und Jung et al. (1996, 2003) bei der Beurteilung von Borstenenden bevorzugt. Andererseits konnte in der Studie von Franchi und Checchi (1995) gezeigt werden, dass sich die ursprüngliche Form der Borstenspitzen bei dem zur Vorbereitung der Untersuchung im

Rasterelektronenmikroskop notwendigen Arbeitsgang des Sputterns verändern kann. Während der 2 Minuten dauernden Bedampfung mit der Gold-Palladiumlegierung wurden im Sputter-Coater bei einer Stromstärke von 150 A unterschiedliche Temperaturen gemessen. Die Temperaturen an der horizontal platzierten Borstenspitzenenebene betrug etwa 38°C und an der vertikal platzierten 59°C. Die REM-Analyse der Präparate zeigte, dass bei 59°C die Borstenspitzen abgerundet waren, und bei 38°C nicht akzeptable irreguläre Borsten vorlagen. In unserer Studie erfolgte die Goldbedampfung in der Sputter-Anlage mit einer niedrigen Stromstärke von 20 mA, um Temperatureinflüsse auf die Form der Borstenenden zu vermeiden. Ebenso wurde die Präparatplattform während des Sputtervorgangs gekühlt.

Hinsichtlich der Auswahl und der Beurteilung der Borstenenden ist noch keine einheitliche Methode etabliert.

Klima und Rossiwall (1976) untersuchten jeweils 10 einzelne Borsten aus verschiedenen Abschnitten des Besteckungsfeldes mehrerer Bürsten. Auch Henschke (1978) unterzog nur jeweils einzelne Borsten aus drei Regionen des Borstenfeldes der rasterelektronenmikroskopischen Analyse. Schweizer-Hirt (1979) fertigte mittels Silikonabformung Replikas von Filamentborsten an, die er der REM-Untersuchung zuführte. Umfangreicher war die Arbeit von Silverstone und Featherstone (1988), die von 30 Exemplaren jedes Produktes je fünf Borsten von je fünf Büschel nach einem definierten Zufallsprinzip auswählten, so dass von jedem Produkt insgesamt 750 Einzelborsten mit einem Stereomikroskop betrachtet wurden. Dellermann und Burkett (1994) sowie Imfeld et al. (2000) untersuchten ebenso fünf Borsten aus zufällig ausgewählten Borstenbüscheln je Bürstenkopf.

Adriaens et al. (1985) prüften jeweils ein Borstenbüschel von je einer Zahnbürste jeden Produktes, die sie einer REM-Untersuchung unterzogen. Eine ähnliche Studie wurde von Checchi et al. (2001) durchgeführt, indem sie jeweils ein Büschel von der gleichen Region des Zahnbürstenkopfes entfernten und alle Filamente auf einen Objektträger klebten. Die Borstenenden wurden mit einem Stereomikroskop dargestellt.

Dagegen verwendeten Jung (1995) und Jung et al. (1996) für die Beurteilung der Abrundung der Borstenenden erstmals eine andere Technik. Dabei wurde der Bürstenkopf vom Handgriff abgetrennt. Die Borstenfelder wurden in 15

geometrische Flächen unterteilt und sechs daraus ausgewiesene Regionen zur Beurteilung herangezogen. Ausgewertet wurden dabei die Borstenenden am Bürstenfeldrand, in der Mitte und am Ende des Bürstenfeldes. Bei der Studie von Jung (1995) waren pro Produkt mit je drei Exemplaren ca. 500 bis 750 Borstenenden zu evaluieren. Jung et al. (1996) bewerteten ca. 920 bis 1280 Filamente pro Produkt. So war es möglich, eine große Anzahl von Borsten an unterschiedlichen Lokalisationen des Bürstenkopfes zu beurteilen.

Jung et al. (2003) untersuchten fünf ausgewiesene Regionen, wobei drei Regionen den Bürstenfeldrand und zwei Regionen die Bürstenfeldmitte darstellten. Auch hierbei wurden eine Menge von Borsten, 240 bis 1000 Filamentenden pro Produkt mit einem Rasterelektronenmikroskop beurteilt.

Koçkapan und Wetzels (1987), Althaus et al. (1990), Müller et al. (1992) und Bienengräber et al. (1995) verwendeten eine andere Methode. Dazu wurden die Bürstenköpfe vorher in toto mittels Diamantscheibe vom Handgriff abgetrennt und auf dem Probenhalter fixiert. Danach untersuchten Koçkapan und Wetzels (1987) die Borstenenden von Zahnbürsten rein qualitativ anhand von rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen. Althaus et al. (1990) beurteilten die Borsten eines Büschels der untersuchten Zahnbürsten im REM-Bild bei 80facher Vergrößerung. Die Auswertung erfolgte dabei quantitativ. Müller et al. (1992) zogen zur quantitativen Beurteilung der Borsten jedes Produktes zehn zufällig ausgewählte Bilder vom Rasterelektronenmikroskop in 80facher Vergrößerung heran. Die Anzahl der dazu erfassten Einzelborsten lag zwischen 160 und 167. Bei der Auswertung der Filamentenden durch Bienengräber et al. (1995) wurden pro Bürstenkopf jeweils acht Felder, vier aus dem Zentrum und vier aus der Peripherie des Bürstenfeldes ausgewählt.

Wir übernahmen die Methode von Jung (1995), indem wir die Putzflächen der Wechselköpfe elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten in 15 geometrische Flächen unterteilten. Zur besseren Darstellung und besseren Beurteilung der einzelnen Borstenenden unter dem Rasterelektronenmikroskop, entnahmen wir nach dem Zufallsprinzip aus den fünf ermittelten Regionen jeweils 7 Borsten. Somit wurden die Proben gesondert an zwei Stellen beurteilt, nämlich am Bürstenfeldrand (peripher; Regionen 1, 3, 5) und in der Bürstenfeldmitte (zentral; Regionen 2, 4).

Die Untersuchung und Auswertung der Produkte erfolgte nach Verblindung, um dadurch einen aus der Produktkenntnis resultierenden Einfluss auf die Ergebnisse zu verhindern.

Die quantitative Bewertung der Borstenenden-Geometrie erfolgte in Anlehnung an Silverstone und Featherstone (1988) in akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundete Borstenenden. Dieser Beurteilungsmaßstab ist allgemein anerkannt und wurde in verschiedenen Studien angewendet (Mulry et al. 1992; Dellerman und Burkett 1994; Checchi et al. 2001). Die Bewertungsskala von Silverstone und Featherstone (1988) wurde durch Reiter und Wetzel (1991) modifiziert, indem sie zusätzlich zur Kategorie „akzeptabel/ nicht akzeptabel“ die nicht akzeptabel angeordneten Borsten noch nach den jeweils vorgefundenen Bearbeitungstypen eins bis sieben unterteilten.

Für keine Klassifikation liegen bislang Daten zur Reproduzierbarkeit vor. Auch für die Klassifikation von Silverstone und Featherstone (1988), insbesondere mit deren Modifikation durch Reiter & Wetzel (1991) sind keine weiteren Daten bezüglich der Reproduzierbarkeit verfügbar. Aus diesem Grund überprüften Jung et al. (2003) die Reproduzierbarkeit der Borstenendklassifikation nach der durch Reiter & Wetzel (1991) modifizierten Bewertungsskala von Silverstone und Featherstone (1988). Mit mehr als 90 % intra- und interindividueller Reproduzierbarkeit in Bezug auf akzeptable und nicht akzeptable Abrundungen konnte die Validität der Methode beschrieben werden. Aber es zeigten sich auch Probleme bezüglich der Unterscheidung zwischen zwei ähnlichen Borstenendmorphologien. Dabei handelte es sich um die morphologisch ähnlichen Kategorien A2 und A3 sowie die nicht akzeptablen Kategorien N2 und N5. Bei den Kategorien A2 und A3 handelt es sich um halbkugelig abgerundete Formen. Die Kategorien N2 und N5 sind durch unterschiedlich geneigte schiefe Ebenen charakterisiert. Aufgrund Zuordnungsschwierigkeiten empfahlen Jung et al. (2003) diese beiden jeweils ähnlichen Abrundungsgeometrien in Zukunft durch je eine Kategorie darzustellen.

Als Idealform wurden hemisphärische Borstenenden sowie stumpfwinkelige oder abgerundete Konturen angesehen. Ungünstig erwiesen sich dagegen angespitzte, einseitig angeschrägte, nur halb geschnittene Borstenenden, deren Kanten nicht gerundet sind, so dass ein hohes Verletzungspotential für das Weichteilgewebe

besteht. Ebenso negativ wurden gesplissene oder nur geschnittene Borstenenden bewertet.

In unserer Studie lag der Anteil akzeptabel abgerundeter Filamentenden zwischen 21,7 % und 82,3 %. Dabei schnitt Produkt 3 mit 82,3 % akzeptabel beurteilten Borstenenden am besten ab. Produkt 6 enthielt 75,6 % akzeptable Filamentenden. Danach folgten die Produkte 1, 5 und 2 mit 72,6 %, 70,6 % und 68,0 % akzeptabler Abrundungen. Das Produkt 4 wies 55,4 % akzeptabler Borsten auf. Bei zwei Produkten wurden lediglich 41,1 % (Produkt 7) und 21,7 % (Produkt 8) akzeptable Borstenenden gefunden.

Produkt 3 (Krups Biocare Family) erzielte trotz unterschiedlicher Borstenhöhe das günstigste Ergebnis mit 82,3 % akzeptabler Abrundungen. Im Vergleich zu den anderen Produkten dominierten bei Produkt 3 mit 123 Borsten die als ideal angesehene hemisphärische Konturenform A2.

Müller et al. (1992) schlugen einen Anteil von 75 % akzeptabel abgerundeter Borstenenden vor, um das jeweilige Bearbeitungsverfahren aus zahnmedizinischer Sicht als gelungen bezeichnen zu können. Legt man diesen Maßstab zugrunde, so konnten von den getesteten Bürsten nur die Produkte 3 und 6 ihn erfüllen.

Wechselköpfe mit stark gewellten Borstenprofil stellen, mit Ausnahme von Produkt 3 (82,3 % akzeptable Abrundung) und Produkt 5 (70,6 % akzeptable Abrundung), bezüglich der Abrundung ungünstige Ergebnisse dar. Bei Produkt 7 (Sonicare Compact Size) wurden nicht akzeptable einseitig schräg abgeschnittene Filamentenden (Typ N2), Borsten mit gequetschten (Typ N5) sowie knopfartig verdickte (Typ N4) Formen gefunden. Bei diesem Produkt konnten nur noch 41,1 % der Borstenenden als akzeptabel bewertet werden.

Produkt 8 (Waterpik SRB 2E) wies mit 21,7 % akzeptabler Abrundungen das ungünstigste Resultat der untersuchten Produkte auf. Bei der Bearbeitung wurde der größte Teil der Filamente schräg abgeschnitten (Abrundungstyp N2). Auffällig waren auch zerklüftete Borstenenden und polymorphe Kunststoffüberstände (Abrundungstyp N5). Derartig zerklüftete Borstenbereiche stellen Retentionsstellen für Mikroorganismen dar (Tonn, 1954). Glass (1989) stellte in mikroskopischen Untersuchungen fest, dass besonders gezackte und kantige Borstenenden mit Mikroorganismen besiedelt waren, obwohl auch glatte Oberflächen Anlagerungen aufwiesen. Bezüglich des Produktes 8 muss die Bearbeitung der Borstenenden

zweifelsfrei verbessert werden. In unserer Untersuchung wiesen die Wechselköpfe mit unterschiedlichen Schnitthöhen häufiger Mängel wie überhängende Borstenränder, zerklüftete und einseitig angeschrägte Borstenenden auf. Dies trifft auf die Produkte 7 und 8 mit 58,9 % und 75,8 % nicht akzeptabler Borstenenden zu. Im Gegensatz dazu zeigen die Produkte 1, 2, 3 und 5 mit unterschiedlichen Schnitthöhen mit 27,4 %, 32,0 %, 17,7 % und 29,1 % nicht akzeptabler Filamentenden günstige Ergebnisse.

Bei einigen Exemplaren der Produkte 1, 5, 7 und 8 waren häufige bearbeitungsbedingte Rauigkeiten mit Kunststoffspänen im Bereich der Borstenenden zu beanstanden. Klima und Rossiwall (1976) halten gewisse Rauigkeiten im Hinblick auf Gewebsverletzungen für nicht bedeutsam. Goldkamp (1977) dagegen hält die Rauigkeiten sogar für hilfreich, wenn die Borsten eine reinigende Wirkung haben sollen.

Vereinzelt wiesen die Exemplare der Produkte 1, 2, 3, 7 und 8 im Schaftbereich der Borsten bearbeitungsbedingte Rauigkeiten, in Form von riefen- und rillenartigen Einkerbungen. Diese Borstenbereiche bieten einen Nährboden für Mikroorganismen (Tonn 1954).

Zwischen den Exemplaren der einzelnen Produkte wurden hinsichtlich der Bearbeitungsqualität der Borstenenden erkennbare Differenzen gefunden. So war die Differenz zwischen dem Exemplar mit dem höchsten und mit dem niedrigsten Anteil akzeptabler Borstenenden bei Produkt 8 mit 37,1 % am größten. Diesem folgte das Produkt 2 bezüglich des Anteils akzeptabler Filamentenden mit einer Diskrepanz von 31,4 %. Die Produkte 2 und 8 besitzen im Vergleich zu den anderen Produkten auch die größte Standardabweichung ($\pm 12,98$ bzw. $\pm 13,92$). Somit wird belegt, dass nicht alle Exemplare eines Produktes die gleiche Qualität der Borstenenden aufweisen. Diesen Qualitätsunterschied bestätigte auch Jung (1995) in seiner Untersuchung an Handzahnbürsten.

Während des Zähneputzens wird mit der manuellen Zahnbürste mehr Kraft ausgeübt als mit einer elektrischen Zahnbürste (Van der Weijden et al. 1996). Dennoch muss auch der Abrundungsqualität von Borsten elektrischer Zahnbürsten besondere Aufmerksamkeit gezeigt werden, weil erhöhte Druckanwendung beim

Zähneputzen nicht mit der Inzidenz einer Gingivaabrasion korreliert (Danser et al. 1998).

Lange Zeit herrschten bei den handelsüblichen Zahnbürsten nur abgeschnittene, scharfkantige Abrundungstypen von Borsten vor (Preuner 1957; Sauerwein 1962; Henkel 1966; Mess 1971). Klima und Rosswall (1976) führten REM-Untersuchungen durch und zeigten ebenfalls, dass eine optimale Rundung der Borstenenden nicht uneingeschränkt erwartet werden dürfte. Ähnliche Resultate erzielte auch Henschke (1978) bei der Untersuchung von zwei Zahnbürsten, deren Kunststoffborsten scharfkantig, teils zugespitzte, lanzenförmig oder wulstige Borsten aufwiesen. Häufig hafteten auch Partikel an der Oberfläche. Neben abgerundeten Borsten fanden Massassati und Frank (1982) auch geschnittene und gespaltene sowie deformierte Borstenenden. Schweizer-Hirt (1979) stellte fest, dass von 15 unterschiedlichen Zahnbürsten nur eine einzige akzeptable hemisphärisch abgerundete Borstenenden aufwies. Bei den anderen 14 Zahnbürsten wurden nicht akzeptable Filamentenden ermittelt. Diese waren gerade, schräg und dachfirstartig abgeschnitten, pilzförmig verzogen und scharfkantig. Auch unter den 58 Produkten, die Adriaens et al. (1985) untersuchten, waren nur bei fünf Produkten über 50 % der Borsten abgerundet.

Hinsichtlich der Abrundung von Borstenenden verglichen Drisko et al. (1995) 8 Studien, die in den Jahren 1982 und 1994 durchgeführt wurden. Dabei wurden nur bei zwei Zahnbürsten mehr als 90 % akzeptable Borstenenden gefunden. Dem gegenüber wiesen in den nachfolgenden Studien von Bienengräber et al. (1995), Imfeld et al. (2000) und Jung et al. (2003) die meisten der untersuchten Zahnbürsten eine um mehr als 90 % akzeptable Abrundung der Borstenenden auf. Drei von fünf durch Bienengräber et al. (1995) und 14 von 22 durch Imfeld et al. (2000) untersuchten Produkte enthielten mehr als 90 % akzeptable Filamente. Jung et al. (2003) fanden unter 15 Zahnbürsten 8 Produkte bei denen über 90 % der Borstenenden akzeptabel abgerundet waren.

In unserer Studie fand sich unter den acht untersuchten Wechselköpfe elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten ein Produkt mit 82,3 % akzeptabler Borstenenden. Verglichen mit den Untersuchungen über Handzahnbürsten, zeigten die von uns untersuchten elektrischen Zahnbürsten somit eine moderate Qualität in der Verarbeitung der Borstenenden.

Checchi et al. (2004) verglichen schließlich 12 elektrische Zahnbürsten des italienischen Verbrauchermarktes und fanden nur bei 4 Produkten akzeptable Borstenabrundungen von mehr als 50 %. Die Werte dieser vier Produkte variierten zwischen 53,2 % und 65,6 %.

Im Vergleich dazu wiesen 6 von 8 untersuchten elektrischen Zahnbürsten mehr als 50 % akzeptable Abrundungen auf. Dabei lag der Anteil akzeptabler Abrundungen zwischen 55,4 % - 82,3 %.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können sowohl für den durchschnittlichen Anwender elektrischer Zahnbürsten aber auch insbesondere für spezielle Patientengruppen von großer Bedeutung sein. Dabei handelt es sich um ältere Patienten (Martin et al. 1987; Kambhu und Lexy 1993) und Behinderte (Cancro und Fishman 1995) mit limitierter manueller Geschicklichkeit, bei denen die Anwendung der elektrischen Zahnbürste Vorteile gegenüber manuellen Produkten haben kann.

Unsere Untersuchungen belegen, dass die zweifelsfrei vorhandenen technischen Möglichkeiten einer sinnvollen Borstenabrundung noch nicht von allen Herstellern der überprüften Wechselkopfbürsten genutzt wurden. Der Anteil akzeptabel bearbeiteter Borstenenden differierte erheblich von Produkt zu Produkt.

Die Produkte 3 und 6 mit 82,3 % bzw. 75,6 % akzeptabler Borstenenden sind zu empfehlen. Verbesserungen hinsichtlich der Abrundungen sollten bei den Produkten 1, 5, 2 und 4 mit 72,6 %, 70,6 %, 68,0 % und 55,4 % akzeptabler Filamentenden angestrebt werden. Die Produkte 7 und 8 weisen gravierende Mängel auf, insofern sind diese beiden Produkte nicht empfehlenswert.

Da nach unserer Kenntnis bisher keine Daten über die Borstenend-Abrundung von Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten des deutschen Verbrauchermarktes vorliegen, kann diese vorliegende Arbeit als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen.

6. Zusammenfassung

Eine gute Qualität von Borstenabrundung ist hinsichtlich der Sicherheit bei der Anwendung von elektrischen Zahnbürsten sehr wichtig. Die Produkte mit einem hohen Anteil nicht akzeptabler Borstenabrundungen können während ihres Gebrauchs zu Weichgewebsverletzungen führen.

Das Ziel dieser Studie war die Beurteilung der Abrundungsqualität von Borstenenden elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten.

Dazu wurden 8 gängige Produkte von Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten hinsichtlich der Borstenabrundungsqualität beurteilt: 1. Braun Oral-B EB 15-2; 2. Colgate Actibrush RB 06; 3. Krups Biocare Family; 4. Philips Sensiflex 2000; 5. Rowenta medium ZH 710; 6. Severin EB 9030; 7. Sonicare Compact Size; 8. Waterpik SRB 2E. Von jedem der acht Produkte wurden nach dem Zufallsprinzip fünf Exemplare ausgewählt. Pro Exemplar wurden insgesamt 35 Borsten aus definierten Bürstenregionen der Wechselköpfe entnommen. Diese Regionen wurden in Bürstenfeldmitte (zentral) und Bürstenfeldrand (peripher) unterteilt. Insgesamt wurden je Produkt 175 Borsten ausgewählt. Die auf Probetellern angeordneten Borsten wurden rasterelektronenmikroskopisch in 80-facher Monitorvergrößerung dargestellt. Die Beurteilung der Borstenenden erfolgte in Anlehnung an das Schema von Silverstone und Featherstone (1988) sowie Reiter und Wetzel (1991) in akzeptable Kategorien A1 und A2 und in nicht akzeptable Kategorien N1 - N5.

Gut gelungene hemisphärisch abgerundete Form waren überwiegend bei den Produkten 3 (Krups Biocare Family), 4 (Philips Sensiflex 2000), 2 (Colgate Actibrush RB 06) und 1 (Braun Oral-B EB 15-2). Bei den Produkten 6 (Severin EB 9030) und 5 (Rowenta medium ZH 710) imponierten akzeptable Abrundungen mit verbliebenem zentralen Plateau. Daneben waren bei den Produkten 1 - 6 als Ausdruck nicht akzeptabler Abrundungen einzelne angeschrägte Filamentenden zu finden. Die untersuchten Produkte 7 (Sonicare Compact Size) und 8 (Waterpik SRB 2E) wiesen überwiegend nicht akzeptable Bearbeitungsgeometrien auf. Den

weitaus größten Anteil bildeten schräg abgeschnittene Filamente. Auch andere Formen von missratenen Abrundungen, wie zerklüftete Borstenenden und überhängende Borstenränder waren zu erkennen.

Im Bereich der Borstenschäfte war die Oberfläche von einigen Produkten rau. Die abschließende Säuberung an den Borstenenden zur Entfernung der durch den Schleifprozess abgehobelten Kunststoffspäne fiel bei mehreren Produkten zufriedenstellend aus.

Innerhalb der Exemplare eines jeweils untersuchten Produktes traten unterschiedliche Qualitäten auf. Die Differenz unter den Exemplaren des Produktes 8 war mit 37,1 % akzeptabler Borstenenden, hinsichtlich der Bearbeitungsqualität, am größten. Bei den Exemplaren des Produktes 7 waren die Unterschiede mit 8,6 % akzeptabler Borstenenden gering.

Der Anteil akzeptabel abgerundeter Borstenenden schwankte in einem weiten Bereich und lag zwischen den verschiedenen Produkten zwischen 21,7 % und 82,3 %. Das Produkt 3 hatte mit 82,3 % akzeptabel abgerundeten Borstenenden das günstigste Resultat. Für vier weitere Produkte ließen sich Werte zwischen 68,0 % und 75,4 % akzeptabler Endabrundungen festlegen. Das Produkt 4 zeigte 55,4 % akzeptable Filamentenden. Bezüglich der Abrundungen stellten zwei Produkte (Produkt 7 und 8) mit unter 41,1 % akzeptablen Borstenenden die geringsten Anteile akzeptabler Abrundungen dar.

Bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse ließen sich bei globaler Betrachtung keine signifikanten Unterschiede zwischen der Abrundungsqualität der Borsten vom Bürstenfeldrand (peripher) und von der Bürstenfeldmitte (zentral) feststellen ($p= 0,124$). Im Hinblick auf die Qualität der Borstenabrundung waren zwischen den Produkten signifikante Unterschiede ($p= 0,0001$) vorhanden. Demnach wiesen die Produkte 7 und 8 im Vergleich zu den Produkten 1-6 einen signifikant höheren Anteil nicht akzeptabel abgerundeter Borstenenden auf.

Die Produkte 3 und 6 sind aufgrund der günstigen Resultate bezüglich der Borstenabrundung zu empfehlen. Verbesserungen hinsichtlich der Abrundungen

sollten bei den Produkten 1, 2, 4 und 5 angestrebt werden. Die Produkte 7 und 8 wiesen gravierende Mängel auf. Insofern sind diese beiden Produkte nicht empfehlenswert, da Produkte mit einem hohen Anteil nicht akzeptabler Borstenabrundungen Weichgewebsverletzungen verursachen.

7. Summary

A good quality of bristle end rounding is very important with regard to the safety of use of electric toothbrushes. Products with a high factor of non-acceptable bristle end rounding can lead to soft tissue damage during their use.

The target of this study was the assessment of the rounding off quality of bristle ends of electric adult toothbrushes.

For this purpose 8 established products of exchangeable heads for electric toothbrushes, with regard to bristle end rounding quality, were assessed: 1. Braun Oral-B EB 15-2; 2. Colgate Actibrush RB 06; 3. Krups Biocare Family; 4. Philips Sensiflex 2000; 5. Rowenta medium ZH 710; 6. Severin EB 9030; 7. Sonicare Compact Size; 8. Waterpik SRB 2E. Five examples were chosen at random for each of the eight products. A total of 35 bristles were taken per product from a selected bristle region of exchangeable heads. These regions were divided up into bristle midspan (central) and bristle midspan (peripheral). A total of 175 bristles were chosen per product. The bristles arranged on test plates were presented by scanning electron microscopy in 80-fold monitor enlargement. The assessment of the bristle end rounding took place with the support of the Silverstone and Featherstone (1988) procedure as well as Reiter and Wetzel (1991) in acceptable categories A1 and A2 and in non-acceptable categories N1 - N2.

Successful hemispherical rounding off forms were mainly by the products 3 (Krups Biocare Family), 4 (Philips Sensiflex 2000), 2 (Colgate Actibrush RB 06) and 1 (Braun Oral-B EB 15-2). Products 6 (Severin EB 9030) and 5 (Rowenta medium ZH 710) had impressively acceptable rounding off with remaining central plateau. In addition, with products 1 – 6 the expression of non-acceptable rounding off of single slating filaments was evident. The examined products 7 (Sonicare Compact Size) and 8 (Waterpik SRB 2E) predominantly showed non-acceptable production geometry. Slanting formed cut filaments were by far the largest proportion. Also other forms of unsuccessful rounding off, such as jagged bristle ends and nutant bristle borders were recognized.

The surface of some products were rough in the area of bristle stems. The final cleaning of the bristle ends for removing the fine down plastic chipping, due to the grinding process, turned out to be satisfactory in a lot of products.

Diverse quality occurred within the exemplar of each examined product. The deviation between the exemplars of product 8 with acceptable bristle ends of 37,1 % in respect to the production quality was the largest. The differences amongst the exemplars of product 7 with 8,6 % acceptable bristle ends were slight.

The proportion of acceptable bristle ends fluctuated in another area for the various products laid between 21,7 % and 82,3 %. Product 3 with 82,3 % acceptable rounded off bristle ends had the best result. For four further products values between 68,0 % and 75,4 % acceptable end rounding off could be determined. Product 4 showed 55,4 % acceptable filament ends. With regard to rounding off, two products (product 7 and 8), produced acceptable bristle ends with under 41,1 % the slightest proportion of acceptable rounding off.

No significant differences could be depicted by the statistical assessment of the results on global observation between the rounding off quality of the bristles from the bristle midspan (peripheral) and the bristle midspan (central) ($p= 0,124$). In view of the quality of the bristle rounding off significant differences were apparent between the products ($p= 0,0001$). According to this, products 7 and 8 in comparison to products 1 - 6 featured a significantly higher proportion of non-acceptable rounded off bristle ends.

Products 3 and 6 should be recommended due to the advantageous results regarding the bristle rounding off. Improvements with regard to rounding off should be aspired for products 1, 2, 4 and 5. Products 7 and 8 show serious faults. In this respect, these two products cannot be recommended, as products with a high percentage of non-acceptable bristle rounding off can cause soft tissue damage.

8. Literaturverzeichnis

Absi E G, Addy M, Adams D: Dentine hypersensitivity – the effects of toothbrushing and dietary compounds on dentine in vitro: an SEM study. *Journal of Oral Rehabilitation* 1992; 19: 101-110.

Adams H, Winston M T, Heersink J, Buckingham-Meyer K A, Costerton J W, Stoodley P: Entwicklung eines Labormodells, zur Bewertung der Entfernung des interdentalen Biofilms durch elektrische Zahnbürsten. *American Journal of Dentistry* 2002; 15: 11B-17B.

Addy M, Hughes J, Pickles M J et al: Development of a method in situ to study toothpaste abrasion of dentine: comparison of two products. *Journal of Clinical Periodontology* 2002; 29: 896-900.

Addy M, Moran J, Wade W: Chemical plaque control in the prevention of gingivitis and periodontitis. In: Lang N P, Karring T (eds). *Proceedings of the 1st European Workshop on Periodontology* 1993; 244-257.

Adriaens P A, Seynhaeven T M, De Boever J A: A morphologic and SEM investigation of 58 toothbrushes. *Clinical of Preventiv Dentistry* 1985; 7: 8-16.

Ahmad M, Pitt Ford T R, Crum L A: Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *Journal of Endodontics* 1987; 13: 490-499.

Alexander J F, Saffir A J, Gold W: The measurement of the effect of toothbrushes on the soft tissue abrasion. *Journal of Dental Research* 1977; 56: 722-727.

Althaus D, Koçkapan C, Wetzel W E: Borstenabrundung und Besteckung bei Kinderzahnbürsten. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 1990; 100: 159-164.

Anneroth G, Poppelmann A: Histological evaluation of gingival damage by toothbrushing. An experimental study in dog. *Acta Odontologica Scandinavica* 1975; 33: 119-127.

Arai T, Kinoshita S: A comparison of plaque removal by different toothbrushes and toothbrushing methods. *Bulletin of Tokyo Medical and Dentistry University* 1977; 24: 177-188.

Arnold M: Ein Beitrag und Hinweis zu Fragen der konstruktiven Zweckmäßigkeit, Lebensdauer und des sinnvollen Gebrauchs der Zahnbürste. *Deutsche Stomatologie* 1968; 18: 442.

Ash M M Jr: A review of the problems and results of studies on manual and power toothbrushes. *Journal of Periodontology* 1964; 35: 202-213.

Ash M M, Rainy B L, Smith W A: Evaluation of manual and motor-driven toothbrushes. *Journal of the American Dental Association* 1964; 69: 321-325.

Bader H I, Boyd R L: Comparative efficacy of a rotary and a sonic powered toothbrush on improving gingival health in treated adult periodontitis patients. *American Journal of Dentistry* 1999; 12: 143-147.

Baehni P C, Bourgeois D: Epidemiology of dental health and disease. In: *Proceedings of the European Workshop of Mechanical Plaque Control*. Lang, N P, Loe H, Attström R (eds.). Quintessence, Berlin, 1998; 19-34.

Barbakow F, Imfeld T, Lutz F, Stookey G, Schemehorn B: Dentin Abrasion (RDA), Enamel Abrasion (REA) And Polishing Scores Of Dentifrices Sold In Switzerland. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 1989; 99: 408-413.

Bass C C: The optimum characteristic of toothbrushes for personal oral hygiene. *Dentistry. Items* 1948; 70: 697.

Bass C C: Über die optimalen Eigenschaften von Zahnbürsten für die Mundpflege. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1950; 5: 268.

Bastiaan R J: A comparison of the clinical effectiveness of a single and double headed toothbrush. Journal of Clinical Periodontology 1984; 11: 331-339.

Bauch J, Eder-Debye R, Micheelis W: Ausgewählte Ergebnisse zum Zusammenhang sozialwissenschaftlicher und zahnmedizinischer Variablen. In: Mundgesundheitszustand und –verhalten in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse des nationalen IDZ- Survey. Deutscher Ärzteverlag, Köln 1991.

Baxter P M, Davis W B, Jackson J: Toothbrush abrasive requirements to control naturally stained pellicle. The relation of cleaning power to toothbrush abrasivity. Journal of Oral Rehabilitation 1981; 8: 19-26.

Bennick A, Cannon M, Madapallimattam G: Factors involving the adsorption of salivary acidic prolinerich proteins to hydroxyapatit. Caries Research 1981; 15: 9-20.

Bergenholtz A, Gustafsson L B, Segerlund N, Hagberg C, Östby P N: Role of brushing technique and toothbrush design in plaque removal. Scandinavian Journal of Dental Research 1984; 92: 344-351.

Bergstrom J, Eliasson S: An epidemilogic approach to toothbrushing and periodontal health, Scandinavian Journal of Dental Research 1988; 96: 405-411.

Bergstrom J, Lavstedt S: An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. Community Dental and Oral Epidemiology 1979; 7: 54-64.

Bhat M: Periodontal health of 14-to-17-year-old U.S. schoolchildren. Journal of Public Health Dentistry 1991; 51: 5-11.

Bienengräber V, Sponholz H, Hagin J: Abrundungs- und Besteckungsqualität der Borsten fabrikneuer und benutzter Erwachsenen-Zahnbürsten. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1995; 50: 517-524.

Bimstein E, Treasure E T, Williams S M, Denver J G: Alveolar bone loss in 5-year-old New Zealand children: Its prevalence and relationship to caries prevalence, socio-economic status and ethnic origin. Journal of Clinical Periodontology 1994; 21: 447-450.

Birch RH, Mumford JM: Electric toothbrushing. Dental Practitioner and Dental Research 1963; 13: 182.

Bjorn H, Lindhe J: Abrasion of dentine by toothbrush and dentifrice. A methodological study. Odontologisk Revy 1966; 17: 17-27.

Blahut P, Gerber K, Parker W: 1991 Clinical trial of an electric toothbrush in a geriatric population. Compendium of Continuing Education in Dentistry 1993; 16: 606-610.

Blahut P, Gerber K, Parker W: A clinical trial of the Interplak powered toothbrush in a geriatric population. Compendium of Continuum Education in Dentistry 1993; 14: 606-609.

Bos R, van der Mei H C, de Vries J, Busscher H J: The role of physico-chemical and structural surface properties in co-adhesion of microbial pairs in a parallel plate flow chamber. Coll Surf B: Biointerfaces. 1996; 7: 101-112.

Bowden G H, Hardie J M, Slack G L: Microbial variations in approximal dental plaque. Caries Research 1975; 9: 253-257.

Boyd R I: Clinical and laboratoy evaluation of powered electric toothbrushes: Review of the literature. Journal of Clinical Dentistry 1997; 8: 67-71.

Boyd R, Murray P, Robertson P B: Effect of rotary electric toothbrush versus manual toothbrush on periodontal status during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1989b; 96: 342-347.

Boyd R L, Rose C M: Effect of a rotary electric toothbrush vs manual toothbrush on decalcification during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontic and Dentofacial Orthopedy* 1994; 10: 450-456.

Bratel J, Berggren U: Long-term oral effects of manual or electric toothbrushes used by mentally handicapped adults. *Clinical Preventive Dentistry* 1991; 13: 5-7.

Bratel J, Berggren U, Hirsch J M: Electric or manual toothbrush? A comparison of the effects on the oral health of mentallly handicapped adults. *Clinical Preventive Dentistry* 1988; 10: 23-26.

Breitenmoser J, Mörmann W, Mühlemann H R: Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. *Journal of Periodontology* 1978; 50: 212-216.

Brown L, Loe H: Prevalence, extent, severity and progression of periodontal disease. *Periodontology 2000* 1993; 2: 57-71.

Brown L, Oliver R, Loe H: Evaluating periodontal status of US employed adults. *Journal of the American Dental Association* 1990; 121: 226-232.

Budtz-Jorgensen E, Mojon P, Rentsch A, Roehrich N, von der Muehl D, Baehni P: Caries prevalence and associated predisposing conditions in recently hospitalized elderly persons. *Acta Odontologica Scandinavica* 1996; 54: 251-256.

Cancro L P, Fischman S L: The expected effect on oral health of dental plaque control trough mechanical removal. *Periodontology 2000* 1995; 8: 60-74.

Chansens A L, Marcus R W: An evaluation of the comparative efficiency of manual and automatic toothbrushes in maintaining the periodontal patient. *Journal of Periodontolgy* 1968; 39: 156-159.

Checchi L, Daprile G, Gatto M R, Pelliccioni G A: Gingival recession and toothbrushing in an Italian school of dentistry: a pilot study. *Journal of Clinical Periodontology* 1999; 26: 276-280.

Checci L, Farina E, Felice P, Montevecchi M: The electric toothbrush: analysis of filaments under stereomicroscope. *Journal of Clinical Periodontology* 2004; 31: 639-642.

Checci L, Minguzzi S, Franchi M, Forteleoni G: Toothbrush filaments end-rounding: stereomicroscope analysis. *Journal of Clinical Periodontology* 2001; 28: 360-364.

Chilton N W, Didio A, Rothner J T: Comparison of the clinical effectiveness of an electric and a standard toothbrush in normal individuals. *Journal of the American Dental Association* 1962; 64: 777-782.

Chong M P: Characteristics of toothbrushes. *Australian Dental Journal* 1983; 28: 202-211.

Clarkson J J: Role of fluoride in oral health promotion. *International Dental Journal* 2000; 50: 119-128.

Clarkson J E, Ellewood R P, Chandler R E: A comprehensive summary of fluoride dentifrice caries clinical trials. *American Journal of Dentistry* 1993; 6 : 59-106.

Cronin M, Dembling W, Warren P R, King D W: A 3-month clinical investigation comparing the safety and efficacy of a novel electric toothbrush (Braun Oral-B 3D Plaque Remover) with a manual toothbrush. *American Journal of Dentistry* 1998; 11: 17-21.

Cross WG, Forrest OJ, Wade AB: A comparative study of tooth cleansing using conventional and electrically operated toothbrushes. *British Dental Journal* 1962; 113: 19.

Danser M M, Timmerman M F, Ijzerman Y, Bulthuis H, Van der Velden U, Van der Weijden G A: Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *Journal of Clinical Periodontology* 1998; 25: 701-706.

Davis W B, Winter P J: The effect of abrasion on enamel and dentine after exposure to dietary acid. *British Dental Journal* 1980; 148: 253-257.

De Trey E R: Einfluss der Borstenfreiheit von Zahnbürsten auf Kraftausübung, Gingivatraumatisierung und Plaqueentfernung. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde* 1983; 93: 1007-1016.

Deery C, Heanue M, Deacon S, Robinson P G, Walmsley A D, Worthington H, Shaw W, Glenny A M: The effectiveness of manual versus powered toothbrushes for dental health: a systematic review. *Journal of Dentistry* 2004; 32: 197-211.

Dellerman P A, Burkett T A: A comparative evaluation of the percent acceptable end-round bristles: Butler G.U.M, Colgate Plus, Crest Complete, and Reach. *Journal of Clinical Dentistry* 1994; 5: 38-45.

Dentino A, Derderian G, Wolf M, Johnson R, Warren P: Evaluation of Powered vs. manual toothbrushing on plaque, calculus and stain.(abstract). *Journal of Dental Research* 1999; 78 (IADR Abstracts): 413 (abstract 2463).

Dentistry- Toothpaste- Requirements, test methods and marking. ISO 11609, International Organisation for Standardization. Geneva, Switzerland 1995.

Derbyshire J C, Mankodi S M: Cleansing effectiveness of conventional and electric toothbrushes: clinical comparison. *Journal of the American Dental Association* 1964; 69: 317-320.

Dorfer C E, von Bethlenfalvy E R, Pioch T, Galustians H J, Qaqish J, Sharma N C: Clinical evaluation of the efficacy of a battery-powered toothbrush. Results from two independent studies. *American Journal of Dentistry* 2001a; 14: 273-277.

Dorfer C E, von Bethlenfalvy E R, Staehle H J, Pioch T: Comparison of the safety and the efficacy of an oscillating/rotating battery-powered toothbrush and a standard manual toothbrush. *American Journal of Dentistry* 2001b; 14: 25B- 28B.

Dreyfuß S.: Beitrag zur Frage der Zahnbürste. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde* 1955; 65: 1030.

Driesen G M, Warren P R, Hilfinger P: Cleaning efficacy of a new electric toothbrush. *American Journal of Dentistry* 1998; 11: 7-11.

Drisko C, Henderson R, Yancy J: A review of current toothbrush bristle end-rounding studies. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 1995; 16: 694, 696, 698.

Dyer D, Addy M, Newcombe R G: Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *Journal of Clinical Periodontology* 2000; 27: 99-103.

Eccles J: Tooth surface loss from abrasion, attrition and erosion. *Dental Update* 1982; 9: 373-381.

Egelberg J, Claffey N: Role of mechanical dental plaque removal in prevention and therapy of caries and periodontal diseases. In: Lang N P, Attström R ; Loe H (eds). *Proceedings of European Workshop on Mechanical Plaque Control – Status of the Art and Science of Dental Plaque Control*, pp. 169-172. Chicago, Berlin; London; Tokyo; Paris: Quintessence 1998.

Eggen K H, Rölla G: Further information on the composition of the acquired enamel pellicle. In: *Cariology Today, International Congress Zürich*, Karger, Basel, (1984), 109.

Elliott J R: A comparison of the effectiveness of a standard and an electric toothbrush. *Journal of Periodontology* 1963; 34: 375.

Emling R C, Flickinger K C, Cohen D W, Yankell S L: A comparison of estimated versus actual brushing time. *Pharmacology and Therapeutics in Dentistry* 1981; 6: 93-98.

Emling R C, Yankell S L: The application of sonic technology to oral hygiene: The third generation of powered toothbrushes. *Journal of Clinical Dentistry* 1997; 8: 1-3.

Engel D, Nessly M, Morton T, Martin R: Safety of a new electronic toothbrush. *Journal of Periodontology* 1993; 64: 941-946.

Engelberg J und Claffy N: Role of mechanical dental plaque removal in prevention and therapy of caries and periodontal disease. In: Lang N P, Attsröm R & Loe H (eds). *Proceedings of European Workshop on Mechanical Plaque Control – Status of the Art and Science of Dental Plaque Control*, pp. 169-172. Chicago, Berlin, London, Tokyo, Paris: Quintessence.

Epstein S, Tainter M L: The relationship of particle size and other properties of dentifrice ingredients to toothbrush abrasion of enamel. *Journal of Dental Research* 1943; 22: 335-338.

Featherstone J D B: Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. *Community Dentistry and Oral Epidemiology* 1999; 27: 31-40.

Fehr von der F R, Loe H, Theilade E: Experimental caries in man. *Caries Research* 1970; 4: 131-148.

Fischman S L: The history of oral hygiene products: How far have we come in 6000 years? *Periodontology 2000* 1997; 15: 7-14.

Fitzgerald R J, Keyes P H: Demonstration of the etiologic role of streptococci in experimental caries in the hamster. *Journal of the American Dental Association*; 1960; 61: 9-19.

Flynn H G: In Mason Wp (ed). Physical acoustics. New York: Academic press, 1964; 1B: 57-172.

Franchi M, Checci L: Temperature difference of toothbrush bristle morphology. An ultrastructural study. Journal of Clinical Periodontology 1995; 22: 655-658.

Frandsen A: Mechanical oral hygiene practices. In Dental plaque control measures and oral hygiene practices, eds. Løe H & Kleinman D V. Oxford- Washington D C: IRL Press; 1986; 93-116.

Frunz W: Beobachtungen über den Zeitaufwand für persönliche Mundhygiene. Medizinische Dissertation, Zürich 1979.

Frostell G, Lindstrom G: Undersökningar av några av den svenskamarknadens tandkramer Del 1. Odontogiska Foreningens Tidskrift 1964; 28: 211-248.

Fure S, Gahnberg L, Birkhed D: A comparison of four home-care fluoride programs on the caries incidence in the elderly. Gerodontology 1988; 15: 51-60.

Gibson J A, Wade A B: Plaque removal by bass and roll brushing techniques. Journal of Periodontology 1977; 48: 456-459.

Gillette W B, Van House R L: Ill effects of improper oral hygiene procedures. Journal of the American Dental Association 1980; 101: 476-481.

Glass R T: Weitere Befunde bei kontaminierten Zahnbürsten – Das Virusproblem. Quintessenz 1989; 4: 40.

Goldkamp B.: Histologische und Rastelelektronenmikroskopische Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Zahnbürsten auf das Zahnfleischepithel. Versuche an Schweinen. Medizinische Dissertation, Münster 1977.

Greene J C: World Workshop in Periodontics, eds. Ramfjord SP, Kerr DA & Ash MM. Ann Arbor, MI.: American Academy of Periodontology 1966; 399-443.

Grossmann E, Dembling W, Proskin HM: A comparative clinical investigation of the safety and efficacy of an oscillating/rotating electric toothbrush and a sonic toothbrush. *Journal of Clinical Dentistry* 1995; 6: 108-112.

Gülzow H-J: Oralhygiene. *Münchener Medizinische Wochenschrift* 1978; 120: 1637.

Gülzow H-J, Burghardt P, Schiffer U: Karies bei Hamburger Kleingartenkindern 1977-1993. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1996; 51: 354-356.

Gülzow H-J, Farshi H: Die Zahngesundheit Hamburger Kindergartenkinder 1977-1998. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 2000; 55: 770.

Gülzow H J, Hellwig E, Hetzer G: Empfehlungen zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden. *Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*. 2000; 11: 76.

Ha P H, Niederman R: Effectiveness of the Sonicare sonic toothbrush on reducing of plaque, gingivitis, probing pocket depth and subgingival bacteria in adolescent orthodontic patients. *Journal of Clinical Dentistry* 1997; 8: 15-19.

Haffajee A D, Thompson M, Torresyap G, Guerrero D, Socransky S S: Efficacy of manual and powered toothbrushes (I): Effect on clinical parameters. *Journal of Clinical Periodontology* 2001; 28: 937-946.

Hamilton I R: Biochemical effect of fluoride on oral bacteria. *Journal of Dental Research* 1990; 69: 660-667.

Harte D B, Manly R S: Effect of toothbrush variables on wear of dentin produced by four abrasives. *Journal of Dental Research* 1975; 54: 993-998.

Hattab F N, Wei S H Y, Chan D C N: A scanning electron microscopic-study of enamel surfaces treated with topical fluoride agents in vivo. *ASDC Journal of Dentistry for Children* 1988; 55: 205-209.

Hawkins B F; Kohout F J, Laison P A; Heckert A: Duration of toothbrushing for effective plaque control. Quintessence International, Berlin 1986; 17: 361-365.

He T, Carpinello L, Baker R, Knippenberg S, Das A, Winston L, McClanahan S: Safety of three toothbrushes. American Journal of Dentistry 2001; 14: 123-126.

Heanue M, Deacon S A, Deery C, Robinson P G, Walmsley A D, Worthington H V, Shaw W C: Manual versus powered toothbrushing for al oral health (Cochrane Review). In: The Cochrane Library, Issue 1 2003. Oxford.

Heasman P A: Powered toothbrushes. British Dental Journal 1998; 184: 168-169.

Hefferren J J: A laborartory method for assessment of dentifrice abrasivity. Journal Dental Research 1976; 55: 563-573.

Heinrich-Weltzien R, Senkel H, Tietze W, Stösser I: Prevalence and distribution of caries in 12-year-olds in two German areas. Caries Research 1997; 31: 293.

Heintze S D, Jost-Brinkmann P G, Loundos J: Effectiveness of three different types of electric toothbrushes compared with a manual technique in orthodontic patients. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics 1996; 110: 630-638.

Helfenstein U, Steiner M: Fluoride varnishes (Duraphat): A meta-analysis. Community of Dental Oral Epidemiology 1994; 22: 1-5.

Hellstadius K, Asman B, Gustafsson A: Improved maintenance of plaque control by elestrical toothbrushing in periodontitis patients with low compliance. Journal of Clinical Periodontology 1993; 20: 235-237.

Hellwig E: Fluoride- Chemie und Biochemie. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1996; 51: 638.

Henkel G: Betrachtungen über die hand- und motorbetriebene Zahnbürste. Deutsche Stomatologie 1966; 16: 120.

Henschke B: Vergleichende Untersuchungen von Zahnbürsten mit Kunststoff- und Naturborsten (rasteranalytische, transmissionselektronenmikroskopische und röntgenmikroanalytische Studie) Medizinische Dissertation Münster 1978.

Hirschfeld I: Toothbrush trauma recession. A clinical study. Journal of Dental Research 1931; 11: 61-63.

Hotta M, Aono M: A clinical study on the control of dental plaque using an electronic toothbrush with Piezo electric element. Clinical of Preventive Dentistry 1992; 14: 16-18.

Hugoson A, Jordan T: Frequency distribution of individuals aged 20-70 years according to severity of periodontal disease. Community Dentistry and Oral Epidemiology 1982; 10: 187-192.

Hunter M L, Addy M, Pickles MJ et al: The role of toothpaste and toothbrushes in the aetiology of tooth wear. International Dental Journal 2002; 52: 399-405.

Hunter M L, West N X: Mechanical tooth wear: The role of individual toothbrushing variables and toothpaste abrasivity. In: Addy M, Embery G, Edgar W M, Orchardson R (eds). Tooth Wear and Sensivity. pp 161-170. London: Martin Dunitz, 2000.

Imfeld T: In-vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von Sensitive-Zahnpasten des Schweizer Marktes. Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin 2002; 112: 104-108.

Imfeld T, Sener B: In-vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von Whitening-Zahnpasten des Schweizer Marktes. Acta Medicinæ Dentium Helvetica 1999; 4: 195-200.

Imfeld T, Sener B, Kuytz C, Brodowski D: Mechanische und chemische Wirkung einer neuen Zinnfluorid-Zahnpaste auf Dentin. *Acta Medicinae Dentium Helvetica* 1999; 4: 107-114.

Imfeld T, Sener B, Lutz F: Mechanische Wirkung von in der Schweiz marktführenden Zahnpasten auf Dentin. Untersuchung des Reinigungs-, Abrasions- und Anrauhungspotential. *Acta Medicinae Dentium Helvetica* 1998; 3: 54-59.

Imfeld T, Sener B, Simonovic I: In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsübliche Handzahnbürsten. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin Acta Medicinae Dentium Helvetica* 2000; 5: 37-47.

Isaacs R L, Beiswanger B B, Rosenfield S T, Crawford J L, Mau M S, Eckert G J, Warren P R: A crossover clinical investigation of the safety and efficacy of a new oscillating/rotating electric toothbrush and a high frequency electric toothbrush. *American Journal of Dentistry* 1998; 11: 7-12.

Johnson B D, McInnes C: Clinical evaluation of the efficacy and safety of a new sonic toothbrush. *Journal of Periodontology* 1994; 65: 692-697.

Jongenelis A P, Wiedemann W: A comparison of plaque removal effectiveness of an electric versus manual toothbrush in children. *Journal of Dentistry for Children* 1997; 64: 176-182.

Joshi K J, Kent R L, DePaola P F: Gingival recession: Intraoral distribution and associated factors. *Journal of Periodontology* 1994; 65: 864-871.

Jost-Brinkman P G, Heintze S D, Loundos J: Studie zur Wirksamkeit elektrischer Zahnbürsten bei Multiband-Patienten. *Kieferorthopädie* 1994; 8: 235-246.

Jung M: Zur Qualität der Borstenabrundung von vier Erwachsenenzahnbürsten. *Quintessenz* 1995; 46: 491-501.

Jung M, Koçkapan C, Wetzel W E: Wechselkopfbürsten: Borstenabrundung und –Verankerung. *Acta Medicinæ Dentium Helvetica* 1996; 1: 187-194.

Jung M, Koçkapan C, Wetzel W E: Bristle end rounding of manual toothbrushes and reproducibility of end rounding classification. *American Journal of Dentistry* 2003; 16: 299-304.

Kambhu P P, Levy S M: An evaluation of the effectiveness of four mechanical plaque-removal devices when used by a trained care-provider. *Special Care in Dentistry* 1993; 13: 9-14.

Karlson P: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler, Stuttgart: Thieme; 1984.

Kelner M: Comparative analysis of the effects of automatic and conventional toothbrushing in mental retardates. *Pennsylvania Dental Journal* 1963; 30: 102-108.

Khambay B S, Walmsley A D: An in-vitro evaluation of electric toothbrushes. *Quintessence International* 1995; 26: 841-848.

Khocht A, Simon G, Person P, Denepitya J L: Gingival recession in relation to history of hard toothbrush use. *Journal of Periodontology* 1993; 64: 900-905.

Klement D, Siebert G: Quantifizierung von Fluoridwirkungen of *Streptococcus mutans* NCTC 10449. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1985; 40: 1036-1039.

Klima J, Rossiwall B: Zur Gestalt von Zahnbürstenborsten – Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. *Quintessenz* 1976; 27: 113-119.

Kobayashi L Y, Ash M M Jr: A clinical evaluation of an electric toothbrush used by orthodontic patients. *The Angle Orthodontist* 1964; 34: 209-219.

Koçkapan C, Wetzel W.-E.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Borstenenden verschiedener Kinderzahnbürsten. *Oralprophylaxe* 1987; 9: 77-84.

König K G: Role of fluoride toothpastes in a caries-preventive strategy. *Caries Research* 1993; 27: 23-28.

Kolenbrander P E: Coaggregation of human oral bacteria: potential role in the accretion of dental plaque. *The Journal of Applied Bacteriology*. 1993; 74: 79-86.

Kornman K: Antimicrobial agents. State-of –the science review. In: Loe H, Kleinman D (eds). *Dental plaque control measures and oral hygiene practices*. Oxford- Washington DC: IRL, Press, 1986; pp. 121-142.

Lange D E: Über den Einfluß verschiedener Zahnbürstentypen auf die Gingivaoberfläche. *Zahnärztliche Mitteilungen* 1977; 67: 729-736.

Lazarescu D, Boccanala S, Iliescu A und De Boever J A: Efficacy of plaque removal and learning effect of a powered and a manual toothbrush. *Journal of Clinical Periodontology* 2003; 30: 726-731.

Leach S A, Saxton C A: An electron microscopic study of the acquired pellicle and plaque formed on the enamel of human incisors. *Archives of Oral Biology* 1966; 11: 1081-1094.

Leimgruber C.: Etwas über die Zahnbürsten. *Schweizer Monatsschrift für Zahnheilkunde* 1951; 61: 590-602.

Lentz D L, McDaniel M D, Tolbert W E et al: Toothbrush abrasion caused by different dentifrices. *Quintessence* 1991; 22: 985-988.

Lindhe J, Hamp S-E, Loe H: Experimental periodontitis in the Beagle dog. *Journal of Periodontal Research* 1973; 8: 1-10.

Löbbe A: Histologische Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Zahnbürsten in Verbindung mit der Zahnpasta Durodont auf das marginale Parodontium beim Hunde. Medizinische Dissertation, Münster 1956.

Löe H (ed): Chlorhexidine in the prevention and treatment of gingivitis. *Journal of Periodontal Research* 1986; 21: 89.

Löe H, Theilade E, Börglum-Jensen S: Experimental gingivitis in man. *Journal of Periodontology* 1965; 36: 177-187.

Lucente J: Use of an electric toothbrush in severely retarded children. *Journal of Dentistry for Children* 1966; 33: 25-26.

Lundgren M, Emilson C –G, Österberg T, Steen G, Birkhed D, Steen B: Dental caries and related factors in 88- and 92-year-olds. *Acta Odontologica Scandinavia* 1997; 55: 282-291.

Lussi A, Hotz P, Stich H: Die Fissurenkaries. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1995; 50: 629-634.

Macgregor I D and Rugg-Gunn A J: Survey of toothbrushing duration in 85 uninstructed English schoolchildren: *Community Dental and Oral Epidemiology* 1979; 7: 297-298.

Macgregor I D and Rugg-Gunn A J: Toothbrushing duration in 60 uninstructed young adults. *Community Dental and Oral Epidemiology* 1985; 13: 121-122.

Manly R S: Factors influencing tests on the abrasion of dentin by brushing with dentifrice. *Journal of Dental Research* 1944; 23: 59-72.

Manly R S, Wiren J, Manly P J et al: A method for measurement of abrasion of dentin by toothbrush and dentifrice. *Journal of Dental Research* 1965; 44: 533-540.

Mannerberg F: Appearance of tooth surfaces; as observed in shadowed replicas, in various age groups, in long term studies, after, in cases of erosion and after exposure to citrus fruit juice. *Odontologisk Revy* 1960; 11: 7-114.

Mantokoudis D, Joss A, Christensen M M, Meng H X, Suvan J E, Lang N P: Comparison of the clinical effects and gingival abrasion aspects of manual and electric toothbrushes. *Journal of Clinical Periodontology* January 2001; 28: 65-72.

Marquis R: Diminished acid tolerance of plaque bacteria caused by fluoride. *Journal of Dental Research* 1990; 69: 682-683.

Marthaler T M: Cariostatic efficacy of the combined use of fluorides. *Journal of Dental Research* 1990; 69: 797-800.

Marthaler T M, König K G, Mühlemann H R: The effect of a fluoride gel used for supervised toothbrushing 15 or 30 times per year. *Helvetica Odontologica Acta* 1970: 14; 67-77.

Martin W E, Kiger R D, Levy S M, Feller R P: A clinical evaluation of mechanical and conventional toothbrushing by institutionalized elderly patients. *Journal of Dental Research* 1987; 66: 235 (abstract 1020).

Massassati A, Frank R M: Scanning electron microscopy of unused and used manual toothbrushes. *Journal of Clinical Periodontology* 1982; 9: 148-161.

McInnes C, Engel D, Martin R W: Bacterial luminescence: a new tool for investigating the effects of acoustic energy and cavitation. *Journal of the Acoustic Society of America* 1990; 88: 2527-2532.

McInnes C, Engel D, Moncla B N J, Martin R W: Reduction in adherence of *Actinomyces viscosus* after exposure to low-frequency acoustic energy. *Oral Microbiology and Immunology* 1992; 7: 171-176.

McInnes C, Engel D, Martin R W: Fimbria damage and removal of adherent bacteria after exposure to acoustic energy. *Oral Microbiology and Immunology* 1993; 8: 277-282.

McKendrick A J W, Barbenel L M H, McHugh W D: A two year comparison of hand and electric toothbrushes. *Journal of Periodontal Research* 1968; 3: 224-231.

McLey L, Boyd R L, Sarker S: Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: laboratory determination of relative abrasion of three powered toothbrushes. *Journal of Clinical Dentistry* 1997; 8: 76-80.

Merve van der E H, Bischoff J I, Fatti L P, Retief D H, Barbakow F H, Friedman M: Relationships between fluoride in enamel, DMFT index and fluorosis in high- and low- fluoride areas in South Africa. *Community of Dental Oral Epidemiology* 1977; 5: 61-4.

Mess G: Kritische Betrachtungen zu den handelsübliche deutschen Zahnbürsten. Medizinisch Dissertation. Mainz 1971.

Meyer-Lueckel H, Borchert N, Roggensack M, Munz I, Kielbassa A M: Die Qualität der Borstenabrundung von zehn Kinderzahnbürsten. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 2004; 114: 564-572.

Micheelis W, Reich E (Gesamtbearbeitung): Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999.

Miller W D: Experiments and other observation on the wasting of tooth tissue erroneously designated as erosion, abrasion, denudation, etc. *Dental Cosmos* 1907; 49: 677-689.

Mintel T E, Crawford J: The search for a superior toothbrush design technology. *Journal of Clinical Dentistry* 1992; 3: 1-4.

Moran J M, Addy M, Newcombe R G: A comparative study of stain removal with two electric toothbrushes and a manual brush. *Journal of Clinical Dentistry* 1995; 6: 188-193.

Moritis K, Delaurenti M, Johnson M R, Berg J, Boghosian A A: Vergleich der Sonicare Elite mit einer Hand-Zahnbürste hinsichtlich ihrer Reinigungseffizienz. *American Journal of Dentistry* 2002; 15: 23B-25B.

Müller P J, Koçkapan C, Wetzel W: Borstenverankerung und Borstenabrundung bei Erwachsenenzahnbürsten. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 1992; 102: 38-46.

Mulry C A, Dellerman P A, Ludwa R J, White D J: A comparison of the end-rounding of nylon bristles in commercial toothbrushes: Crest Complete and Oral-B. *Journal of Clinical Dentistry* 1992; 3: 47-50.

National Institutes of Health: Consensus development conference statement on dental sealants in the prevention of tooth decay. *Journal of the American Dental Association* 1984; 108: 233-236.

Neumann T, Saekel R: Ursachen verbesserter Zahngesundheit in Deutschland. *Der Hessische Zahnarzt* 1997; 11: 550-557.

Niederman R: Manual versus powered toothbrushes: the Cochrane review. *Journal of the American Dental Association* 2003; 134: 1240-1244.

Niemi M L, Ainamo J, Etemadzadeh H: Gingival abrasion and plaque removal with manual versus electric toothbrushing. *Journal of Clinical Periodontology* 1986; 13: 709-713.

Niemi M L, Sandholm L, Ainamo J: Frequency of gingival lesions after standardized brushing as related to stiffness of toothbrush and abrasiveness of dentifrice. *Journal of Clinical Periodontology* 1984; 11: 254-261.

- Nikiforuk G: Understanding dental caries. Band. 1 und 2. Karger, Basel 1985.
- Noltingk B E, Neppiras E A: Cavitation produced by ultrasonics. Proceeding of Physical Society (London) 1950; 63: 674-685.
- Normenausschuss Dental im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Zahnbürste-Begriffe, Maße, Anforderungen. Deutsche Norm DIN 13917 (1988).
- Nyborg W L: Physical mechanisms for biological effects of ultrasound. HEW Publication (FDA) 1977; 78: 8062.
- O`Beirne G, Johnson R H, Persson G R, Spektor M D: Wirksamkeit einer sonicare auf Entzündung und Probing-Tiefe bei Erwachsenen-Parodontitis. University of Washington. Journal of Periodontology 1996; 67: 900-908.
- Oldenburg T R: The effectiveness of the electric toothbrush in reducing oral debris handicapped children. Journal of North Carolina Dental Society 1966; 49: 39-43.
- Ögaard B: Effects fluoride on caries developed and progression in vivo. Journal of Dental Research 1990; 69: 813-819.
- Ögaard B, Rölla G, Ruben J, Arends J: Relative cariostatic effects of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in situ. Journal of Dental Research 1990; 69: 1505-1507.
- Phaneuf E A, Harrington J H, Ashland A B, Dale P P, Shklar G: Automatic toothbrush: A new reciprocating action. Journal of the American Dental Association 1962; 65: 12-25.
- Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e. V., Bonn 1998.
- Pieper K: Milchzahnkaries in Deutschland. Oralprophylaxe 1999; 21: 18.

Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000, Hrsg. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ), Bonn 2001.

Plagmann H-C, Goldkamp B, Lange D E und Morgenroth K: Über die mechanische Beeinflussung der Alveolarmukosa und der Gingiva durch verschiedene Zahnbürstentypen (rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen). Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1978; 33: 14-20.

Platt K, Moritis K, Johnson M R, Berg J, Dunn J R: Klinische Bewertung der Effektivität der Plaque-Entfernung und der Sicherheit der Sonicare Elite Zahnbürste. American Journal of Dentistry 2002; 15: 18B-22B.

Preuner R, Gedicke K, Baranowski G: Polyurethan, ein neuartiger Kunststoff für Zahnbürsten . Teil I und II. Zahnärztliche Praxis 1957: 22, 6 und 23, 6.

Pückoff L.: Histologische Untersuchungen über den Einfluss von Zahnbürsten mit abgerundeten Borstenenden auf das marginale Parodontium beim Hunde. Medizinische Dissertation, Münster 1956.

Putt M S, Milleman J L, Davidson K R, Cugini M, Warren P R: A 3-month clinical comparison of the safety and efficacy of two battery-operated toothbrushes: The Braun Oral-B Battery Toothbrush and the Colgate Actibrush. American Journal of Dentistry 2001; 14: 13B-17B.

Quigley G A, Hein J W: Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. Journal of the American Dental Association 1962; 65: 26-29.

Quirynen M, Dekeyser C, van Steenberghe D: The influence of gingival inflammation, tooth type, and timing on the rate of plaque formation. Journal of Periodontology 1991; 62: 219-222.

Quirynen M, Vervliet E, Teerlinck J, Darius P, van Steenberghe D: Medium- and long-term effectiveness of a counterrotational electric toothbrush on plaque

removal, gingival bleeding, and probing pocket depth. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry* 1994; 14: 364-377.

Radentz W H, Barnes G P, Cutright D E: A survey of factors possibly associated with cervical abrasion of tooth surfaces. *Journal of Periodontology* 1976; 47: 148-153.

Rawls H R, Smith N K, Lentz D L, Cobb G W, Bailey M S: An electron microscopic comparison of bristle end-rounding of three commercial toothbrushes. *Journal of Clinical Dentistry* 1993; 4: 96-100.

Rawls H R, van Gelder R, Smith N K, et al: Bristle end-rounding in childrens´ toothbrushes: a comparative study. *Journal of Clinical Dentistry* 1993; 4: 61-66.

Reich E: Welche Faktoren führen zu einem hohen Kariesrisiko?. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1995; 50: 769-775.

Reich E, Schmalz G, Bergmann R L, Bergler H, Bergmann E: Kariesbefall von Kindern nach unterschiedlich langer Applikation von Fluoridtabletten. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1992; 47: 232-234.

Reiter C, Wetzel W E: Bearbeitung der Borstenenden bei Interdentälbürsten. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 1991; 101: 431-437.

Renggli H H; Mühlemann H R; Rateitschak K H: *Parodontologie: gesundes Parodont; Epidemiologie, Ätiologie, Diagnostik, Prophylaxe und Therapie Parodontaler Erkrankungen*. Thieme, Stuttgart- New York 1984.

Riethe P: *Die Quintessenz der Mundhygiene*. Quintessenz Verlag, Berlin 1974.

Robinson P M, Maddalozzo D, Breslin S: A six-month clinical comparison of the efficacy of the Sonicare and the Braun Oral B electric toothbrushes on improving periodontal health in adult periodontitis. *Journal of Dental Research* 1997; 8: 4-9 (abstract 1754).

Rölla G: On the role of calcium fluoride in the cariostatic mechanism of fluoride. *Acta Odontologica Scandinavica* 1988; 46: 341-345.

Rugg-Gunn A, MacGregor I, Edgar W, Ferguson M: Toothbrushing behaviour in relation to plaque and gingivitis in adolescent schoolchildren. *Journal of Periodontal Research* 1979; 14: 231-238.

Sandholm L, Niemi M L, Ainamo J: Identification of soft tissue brushing lesions. A clinical and scanning electron microscope study. *Journal of Clinical Periodontology* 1982; 9: 397-401.

Sangnes G: Effectiveness of vertical and horizontal toothbrushing techniques in the removal of plaque. *Journal of Dentistry for Children* 1974; 41: 39-43.

Sangnes G: Traumatization of teeth and gingiva related to habitual tooth cleaning procedures. *Journal of Clinical Periodontology* 1976; 3: 94-103.

Sangnes G, Gjermo P: Prevalence of oral soft and hard tissue lesions related to mechanical tooth-cleansing procedures. *Community Dental and Oral Epidemiology* 1976; 4: 77-83.

Sauerwein E: Traktat über die Zahnbürste. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1962; 17: 121-124.

Savastano G M P: Evaluation of an automatic action toothbrush in children. *Dental Digest* 1962; 68: 19-21.

Saxer U P, Barbakow J, Yankell S J: New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use. *Journal of Clinical Dentistry* 1998; 9: 49-51.

Saxer U P, Yankell S L: Impact of improved toothbrushes on dental diseases. *I.Quintessence International* 1997; 28: 513-525.

Saxer U P, Yankell S L: Impact of improved toothbrushes on dental diseases. II Quintessence International 1997; 28: 573-593.

Schemehorn B R, Ball T, Bloom B: A model to determine the relative abrasiveness to rotary toothbrushes. Journal of Dental Research 1993; 72: 413 (abstract 2480).

Schemehorn B R, Henry G M: A laboratory investigation of stain removal from enamel surface: comparative efficacy of three electric toothbrushes. American Journal of Dentistry 1996; 9: 21-24.

Schemehorn B R, Keil J C: The effect of an oscillating/rotating electric toothbrush and a sonic toothbrush on removal of stain from enamel surfaces. Journal of Clinical Dentistry 1995; 6: 194-197.

Schemehorn B R, Zwart A C: The dentine abrasivity potential of a new electric toothbrush. American Journal of Dentistry 1996; 9: 19-20.

Schiffner U: Mechanische und Chemische Plaquerreduktion. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1995; 50: 860-863.

Schiffner U, Reich E: Karies/Füllungen bei Jugendlichen. In: Micheelis W, Reich E: Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMSIII), S.201. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999.

Schupke S, Guarascio R S, Saxer U P: Vergleich einer neuartigen manuellen und einer neuartigen elektrischen Zahnbürste. Prophylaxe Impuls 2000; 4: 71-78.

Schweizer-Hirt C.: Abgerundete Zahnbürstenborstenenden? Schweizerische Monatschrift für Zahnheilkunde 1979; 89: 69 .

Serino G, Wennström J, Lindhe J, Eneroth L: The prevalence and distribution of gingival recession in subjects with a high standard of oral hygiene. Journal of Clinical Periodontology 1994; 21: 57-63.

Sharma N C, Galustians J, Qaqish J, Cugini M: A comparison of two electric toothbrushes with respect to plaque removal and subject preference. *American Journal of Dentistry* 1998; 11: 29-33.

Silverstone L.M, Featherstone M.J.: A scanning electron microscope study of the end rounding of bristles in eight toothbrush types. *Quintessence International* 1988; 19, 87-107.

Sjödin B, Matsson L: Marginal bone loss in the primary dentition. A survey of 7- to 9-year-old children in Sweden. *Journal of Clinical Periodontology* 1994; 21: 313-319.

Sjödin B, Matsson L, Unell L, Egelberg J: Marginal bone loss in the primary dentition of patients with juvenile periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology* 1993; 20: 32-36.

Smith J F, Blankenship J: Improving oral hygiene in handicapped children by use of an electric toothbrush. *Journal Dentistry in Children* 1964; 31: 198-203.

Smukler H, Landsberg J: The toothbrush and gingival traumatic injury. *Journal of Periodontology* 1984; 55: 713-719.

Stalnacke K, Söderfeldt B, Sjödin B: Compliance in use of electric toothbrushes. *Acta Odontologica Scandinavia* 1995; 53: 17-19.

Stamm J W: Epidemiology of gingivitis. *Journal of Clinical Periodontology* 1986; 13: 360-366.

Stanford C M, Srikantha R; Kirchner H L, et al: Removal of supragingival plaque in an intraoral model by use of the sonicare toothbrush. *Journal of International Academy of Periodontology* 2000; 24: 115-119.

Stanford CM, Srikantha R, Wu CD: Efficacy of the Sonicare toothbrush fluid dynamic action on removal of human supragingival plaque. *Journal of Clinical Dentistry* 1997; 8: 10-14.

Steenackers K, Vijt J, Leroy R, De Vree H, De Boever JA: Short-Term Clinical Study Comparing Supragingival Plaque Removal and Gingival Bleeding Reduction of the Philips Jordan HP735 to a Manual Toothbrush in Periodontal Patients in a Maintenance Program. *Journal of Clinical Dentistry* 2001; 12: 17-20.

Steigenberg S C, Steigenberg A D: Phenytoin-induced gingival overgrowth control in severely retarded children. *Journal of Clinical Periodontology* 1982; 53: 429-433.

Steiner M, Menghini G D, Marthaler T M, Bandi A: Kariesbefall der Schüler der Stadt Zürich im Zeitraum 1970-1993. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 1994; 104: 1210-1218.

Storsberg S.: Histologische Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Zahnbürsten auf das marginale Parodontium beim Hunde. *Medizinische Dissertation Münster* 1955.

Streckfuss J L, Perkins D, Horton I M, Driezen S, Grave L: Fluoride resistance and adherence of selected strains of streptococcus mutans to smooth surface after exposure to fluoride. *Journal of Dental Research* 1980; 59; 151-158.

Suomi J D, Doyle J: Oral hygiene and periodontal disease in adult population in the United States. *Journal of Periodontology* 1972; 43: 677-681.

Ten Cate J M: Review on fluoride, with special emphasis on calcium fluoride mechanisms in caries prevention. *European Journal of Oral Sciences* 1997; 105: 461-465.

Ten Cate J M, Featherstone J D B: Physiochemical aspects of fluoride- enamel interactions. In: Fejerskov D, Ekstrand J, Burt B A: *Fluoride in Dentistry*, Munksgaard. Copenhagen 1996, 252.

Terezhalmay G T, Gagliardi V B, Rybicki L, Kaufman M J: Clinical evaluation of the efficacy and safety of the Ultra Sonex toothbrush: a 30-day study. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 1994; 15: 866-874.

Theilade E, Wright W H, Börglum-Jensen S, Løe H: Experimental gingivitis in man. II. A longitudinal clinical and bacteriological investigation. *Journal of Periodontal Research* 1966; 1: 1-13.

Timmerman M F, van der Weijden G A, Piscoer M, Ijzerman Y, van der Velden U: Braun D17 versus Philips HX 2550: an experimental gingivitis study. *Journal of Dental Research* 2001; 80: 119 (abstract 671).

Tonn H A: Bakteriologische Untersuchungen über anaerobe Keime an Zahnbürsten. Medizinische Dissertation Berlin 1954.

Trimpeneers L M, Wijngaerts I A, Grogard N A, Dermaut L R, Adriaens P A: Effect of electric toothbrushes on removal of plaque and periodontal status during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1997; 11: 492-497.

Tritten C B, Armitage G C: Comparison of a sonic and manual toothbrush for efficacy in supragingival plaque removal and reduction of gingivitis. *Journal of Clinical Periodontology* 1996; 23: 641-648.

Trombello I, Scabbia A, Griselli A, Zangaria F, Calura G: Clinical evaluation of plaque removal by counter-rotational electric toothbrush in orthodontic patients. *Quintessence International* 1995; 26: 199-202.

U.S. Public Health Service: Toward improving the oral health of Americans: An overview of the oral health status, resources, and care delivery. Report of the U.S. Public Health Service Oral Health Coordinating Committee 1993; 2-11.

Van der Velden U, Attstrom R: Consensus report of session III. In : Lang N P, Karring T, Lindhe J (eds) Proceedings of the 2nd European Workshop on Periodontics. pp 265-267. Berlin: Quintessence Verlag, 1997.

Van der Velden U, Timmermann M F, Van der Weijden G A: Abrasie, geen elektrisch probleem! Nederlands Tandartsenblad 1993; 48: 549.

Van der Weijden G A, et al.: Die Wirkung der Sonicare und der Braun D17 auf eine experimentell induzierte Gingivitis. Journal of Dental Research 2001; 80: 119, (abstract 672).

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Danser M M et al: The role of electric toothbrushes: advantages and limitations. In: Lang N P, Attstrom R, Loe H (eds) Proceedings of European Workshop on Mechanical Plaque Control pp 138- 155. Berlin: Quintessence Verlag, 1998.

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Nijboer A, Lie M A, Van der Velden U: A comparative study of electric toothbrushes for effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. Journal of Clinical Periodontology 1993; 20: 476-481.

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Piscaer M, Ijzerman Y, Warren P R, van der Velden U A: A comparison of the efficacy of a novel electric toothbrush and a manual toothbrush in the treatment of gingivitis. American Journal of Dentistry 1998; 11: 23-28.

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Reijerse E, Danser M M, Mantel M S, Nijboer A, Van der Velden U: A longterm effect of an oscillating/rotating toothbrush. An 8-month clinical study. Journal of Clinical Periodontology 1994; 21: 139-145.

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Reijerse E, Snoek C M, van der Velden U: Comparison of 2 electric toothbrushes in plaque-removing ability. Professional and supervised brushing. Journal of Clinical Periodontology 1995; 22: 648-652.

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Reijerse E, Snoek C M, van der Velden U: Toothbrushing force in relation to plaque removal. *Journal of Clinical Periodontology* 1996; 23: 724-729.

Van der Weijden G A, Timmerman M F, Reijerse E, Snoek C M, van der Velden U: Comparison of an oscillating/rotating electric toothbrush and a „sonic“ toothbrush in plaque-removing ability. A professional toothbrushing and supervised brushing study. *Journal of Clinical Periodontology* 1996a; 23: 407-411.

Van der Weijden G A, Timmermann M F, Reijerse E, Snoek C M, van der Velden U: Toothbrushing duration and plaque removing efficacy of electric toothbrushes. *American Journal of Dentistry* 1996b; 9: 31-36.

Van Loveren C: The antimicrobial action of fluoride and its role in caries inhibition. *Journal of Dental Research* 1990; 69: 676-681.

Walmsley A D: The electric toothbrush: a review. *British Dental Journal* 1997; 182: 209-218.

Walmsley A D, Laired W R E, Lumley P J: Ultrasound in dentistry: periodontology and endodontics. *Journal of Dentistry* 1992; 20: 11-17.

Walsh M: Comparison of manual and power toothbrushing, with and without adjunctive oral irrigation, for controlling plaque and gingivitis. *Journal of Clinical Periodontology* 1989; 16: 419-427.

Warren P R, Charter B: The role of electric toothbrush in the control of plaque and gingivitis: a review of 5 years clinical experience with the Braun Oral-B Plaque Remover (D7). *American Journal of Dentistry* 1996; 9: 5-12.

Warren P R, Ray T S, Cugini M, Chater B: A practice –based study of a power toothbrush: Assessment of effectiveness and acceptance. (*JADA*) *Journal of the American Dental Association* 2000; 131: 389-394.

White D J, Nancollas G H: Physical and chemical considerations of the role of firmly and loosely bound fluoride in caries prevention. *Journal of Dental Research* 1990; 69: 587.

WHO (World Health Organisation): Fluorides and Oral Health. WHO Technical Report 1994 Series 846, Geneva, Swiss.

Wilcoxon D B, Ackerman R J, Killoy W J, Love J W, Sakumura J S, Tira D E: The effectiveness of a counterrotational action powered toothbrush on plaque control in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontic and Dentofacial Orthopedics* 1991; 99: 7-14.

Williams A R: *Ultrasound: biological effects and potential hazards*. London Academic Press, 1983.

Williams K, Haun J, Dockter K, Ferrante A, Bartizek R D, Biesbrock A R: Plaque removal efficacy of a prototype power toothbrush compared to a positive control manual toothbrush. *American Journal of Dentistry* 2003; 16: 223-227.

Wilson S, Levine D, Dequincey G, Killoy W J: Effects of two toothbrushes on plaque, gingivitis, gingival abrasion and recession: a 1-year longitudinal study. *Compendium of Dental Education in Dentistry* 1993; 16, 569-579.

Wu-Yuan C D, Anderson R D, McInnes C: Ability of the Sonicare electronic toothbrush to generate dynamic fluid activity that removes bacteria. *Journal of Clinical Dentistry* 1994; 5: 89-93.

Yankell S L, Emling R C, Cohen D W, Vanarsdall R: A four-week evaluation of oral health in orthodontic patients using a new plaque removal device. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 1985; 6: 123-127.

Yankell S L, Shi X, Emling R C, Blatz B, Biesbrock A R: Laboratory evaluations of two battery-powered toothbrushes and a manual toothbrush for efficacy and safety. *Journal of Clinical Dentistry* 2002; 13: 187-90.

Zahradnik R T, Propas D, Moreno E C: Effect of fluoride topical solutions on enamel demineralization by lactate buffers of *Streptococcus mutans* in vitro. *Journal of Dental Research* 1978; 57: 940-946.

Zeeman G G, Veth E O, Dennison D K, Focus on primary care: Periodontal disease: implications for women`s health. *Obstetrical and Gynecological Survey* 2001; 56: 43-49.

Zickert I, Emilson C G, Krasse B: Effect of caries preventive measures in children highly infected with the bacterium *streptococcus mutans*. *Archives of Oral Biology* 1982; 27: 861-868.

Zimmer S, Didner B, Roulet J-F: Clinical study on the plaque-removing ability of a new-triple-headed toothbrush. *Journal of Clinical Periodontology* 1999; 26: 281-285.

9. Anhang

Produkt 1 Braun Oral-B EB 15-2		Akzeptable		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%	
1	27	77,10	8	22,90	
2	27	77,10	8	22,90	
3	24	68,60	11	31,40	
4	22	62,90	13	37,10	
5	27	77,10	8	22,90	

Tabelle VIII: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 1 (Braun Oral-B EB 15-2).

Produkt 2 Colgate Actibrush RB 06		Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%	
1	22	62,90	13	37,10	
2	27	77,10	8	22,90	
3	19	54,30	16	45,70	
4	30	85,70	5	14,30	
5	21	60,00	14	40,00	

Tabelle IX: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 2 (Colgate Actibrush RB 06).

Produkt 3 Krups Biocare Family	Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%
1	24	68,60	11	31,40
2	29	82,90	6	17,10
3	28	80,00	7	20,00
4	32	91,40	3	8,60
5	31	88,60	4	11,40

Tabelle X: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 3 (Krups Biocare Family).

Produkt 4 Philips Sensiflex 2000	Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%
1	20	57,10	15	42,90
2	17	48,60	18	51,40
3	23	65,70	12	34,30
4	17	48,60	18	51,40
5	20	57,10	15	42,90

Tabelle XI: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 4 (Philips Sensiflex 2000).

Produkt 5 Rowenta medium ZH 710	Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%
1	25	71,40	10	28,60
2	21	60,00	14	40,00
3	27	77,10	8	22,90
4	27	77,10	8	22,90
5	24	68,60	11	31,40

Tabelle XII: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 5 (Rowenta medium ZH 710).

Produkt 6 Severin EB 9030	Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%
1	27	77,10	8	22,90
2	22	62,90	13	37,10
3	26	74,30	9	25,70
4	30	85,70	5	14,30
5	27	77,10	8	22,90

Tabelle XIII: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 6 (Severin EB 9030).

Produkt 7 Sonicare Compact Size	Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%
1	16	45,70	19	54,30
2	14	40,00	21	60,00
3	16	45,70	19	54,30
4	13	37,10	22	62,90
5	13	37,10	22	62,90

Tabelle XIV: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von fünf den Exemplaren des Produktes 7 (Sonicare Compact Size).

Produkt 8 Waterpik SRB 2E	Akzeptabel		Nichtakzeptabel	
Exemplar	Anzahl	%	Anzahl	%
1	14	40,00	21	60,00
2	5	14,30	30	85,70
3	9	25,70	26	74,30
4	1	2,90	34	97,10
5	9	25,70	26	74,30

Tabelle XV: Anteil der akzeptabel und nicht akzeptabel abgerundeten Borstenenden von den fünf Exemplaren des Produktes 8 (Waterpik SRB 2E).

10. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Nuran Soydan
Geburtsort: Bad Nauheim
Geburtsdatum: 02.04.1976
Familienstand: ledig
Nationalität: Deutsch (seit 01.11.2005; vorher: Türkisch)

Schulischer Werdegang

8/1982-6/1986: Grundschule in Stadtschule, Butzbach
8/1986-7/1988: Förderstufe in Stadtschule, Butzbach
8/1988-6/1992: Realschule in Stadtschule, Butzbach
8/1992-6/1995: Weidig-Gymnasium, Butzbach
21.06.1995: Abitur

Studium

4/1996: Beginn des Zahnmedizinstudiums an der Justus-Liebig-Universität Giessen
8/1997: Naturwissenschaftliche Vorprüfung
9/1999: Zahnärztliche Vorprüfung
09.12.2002: Staatsexamen, Abschluss des Zahnmedizinstudiums an der Justus-Liebig-Universität Giessen

Beruflicher Werdegang

01.09.2004-07.12.2005: Assistenz Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Burkart-Michel in Friedberg
08.12.2005: Erteilung der Approbation als Zahnärztin
08.12.2005-31.08.2006: Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis Burkart-Michel in Friedberg
01.11.2006-31.10.2007: Vertretung in der Vorbereitungszeit in der Zahnarztpraxis Wohlfart-Zhou in Wetzlar
ab 01.11.2007: Vorbereitungsassistentin in der Gemeinschaftspraxis Wilke, Niemczyk, Dr. Freitag in Frankfurt

11. Danksagung

Herrn Prof. Dr. M. Jung danke ich für die Themenstellung, die Möglichkeit der wissenschaftlichen Mitarbeit in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde sowie der ausgezeichnete und intensive Betreuung während der Doktorarbeit.

Herrn Magdowsky danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen.

Herrn Bethge danke ich für die Entwicklung der REM-Bilder.

Frau Meier danke ich für die Hilfe bei der Probenvorbereitung.

Herrn Papst danke ich für die statistische Auswertung der Ergebnisse.

Herrn Zettl danke ich bei der Graphikerstellung.

Bedanken möchte ich mich bei Dr. Felix Rubbert, meinem geschätzten Kollegen, für seine tatkräftige Unterstützung und Ermunterung diese Arbeit so nicht möglich gewesen wäre.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinen Geschwistern für die stets vorhandene Unterstützung.

Der Dank gilt auch an viele Freunde für die großartige Motivation.

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Giessen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

édition scientifique

VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN 3-8359-5343-5



9 783835 195343 ©