

**Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Tübingen**

**Abteilung Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Propädeutik  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Weber**

Beurteilung der im Gebrauch auftretenden  
Verschleißerscheinungen elektrischer Erwachsenen-  
Zahnbürsten mit Hilfe eines selbst entwickelten Prüfstandes

Inaugural- Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von

Caroline Heipmann

aus

Freilassing

2012

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. J. Geis- Gerstorfer

2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. G. Göz

# Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Einleitung   | 1  |
| 2.    | Literaturrecherche                                   | 3  |
| 2.1   | Entwicklung der Prüfstände                           | 3  |
| 2.2   | Struktureller Aufbau von Borstenenden                | 8  |
| 2.2.1 | Bündel- Stanzbesteckung / Metallplättchenverankerung | 8  |
| 2.2.2 | Bündel- Einspritzbesteckung                          | 8  |
| 2.2.3 | Bündel- Einfügebesteckung                            | 8  |
| 2.3   | Das Borstenfeld                                      | 9  |
| 2.4   | Putzeffizienz elektrischer Zahnbürsten               | 12 |
| 2.5   | Zahnpasta  | 16 |
| 2.6   | Anpressdruck   | 19 |
| 3.    | Material und Methode                                 | 20 |
| 3.1   | Aufbau und technische Daten des Prüfstandes          | 20 |
| 3.1.1 | Grundgestell   | 20 |
| 3.1.2 | Antriebseinheit                                      | 22 |
| 3.1.3 | Schlitten zur Aufnahme der zu prüfenden Zahnbürste   | 23 |
| 3.1.4 | Einheit zur Aufnahme der Zähne                       | 24 |
| 3.2   | Verwendete elektrische Zahnbürsten und Bürstenköpfe  | 29 |
| 3.2.1 | Oral- B Professional Care 1000                       | 30 |
| 3.2.2 | Oral- B Vitality                                     | 32 |
| 3.2.3 | Philips Sonicare                                     | 33 |
| 4.    | Ergebnisse   | 35 |
| 4.1   | Allgemeiner Versuchsablauf                           | 35 |
| 4.2   | Ergebnisse der Einzelversuche                        | 37 |
| 4.2.1 | Oral- B Vitality                                     | 37 |
| 4.2.2 | Oral- B Professional Care                            | 45 |
| 4.2.3 | Philips Sonicare                                     | 55 |
| 4.3   | Bestimmung des Aufspleißdurchmessers                 | 66 |
| 5.    | Putzmedium   | 73 |
| 6.    | Diskussion   | 74 |

|    |                      |    |
|----|----------------------|----|
| 7. | Schlussfolgerung     | 81 |
| 8. | Zusammenfassung      | 83 |
| 9. | Literaturverzeichnis | 85 |

# 1. Einleitung

Die Überlegenheit der elektrischen Zahnbürste gegenüber der Handzahnbürste wurde und wird vielfach diskutiert. Sie wird beim Putzvorgang nicht mehr aktiv durch Verwendung von bestimmten Techniken geführt, sondern vollzieht die Arbeit durch eigene Bewegungsmuster. Dies ist ein Grund, warum die elektrische Zahnbürste vor allem auch älteren Menschen (Steigenberg und Steigenberg 1982), Kindern (Grossmann et al. 1995) und Menschen mit eingeschränkten Bewegungsmöglichkeiten empfohlen wird (Brantel und Beggren 1991).

Die meisten Studien beziehen sich auf den Vergleich der Effektivität von elektrischen und Handzahnbürsten. Dabei wurden vor allem die Plaqueentfernung und der Einfluss von verschiedenen Modellen auf den Verlauf einer Gingivitis untersucht (Glavind und Zeuner 1981, Klotz 2009).

Egal für welche Zahnbürste man sich entscheidet, sie funktioniert nur so gut wie Ihr Besitzer sie einsetzt, ist aber eine wichtige Voraussetzung für eine gute Mundhygiene.

Die Benutzungsdauer einer Zahnbürste sollte höchstens 1-3 Monate betragen (Woodall und Wiles 1993). Die American Dental Association (2002) empfiehlt eine weiche - mittelharte Zahnbürste, mit der zwei mal täglich geputzt werden sollte.

Die wissenschaftlichen Bewertungen von Zahnbürsten schließen unterschiedliche Aspekte ein, wie das Auftreten von Gebrauchsspuren an der Zahnbürste und die Auswirkung auf Zahnhartsubstanzen und das Weichgewebe. Bei der Effizienz der Plaqueentfernung müssen neben der Zahnbürste auch die Putztechnik und die Compliance des Patienten berücksichtigt werden (Hawkins et al. 1986, Shory et al. 1987).

Eine signifikante Plaquereduktion lässt sich aber auch ohne Patienteninstruktion erzielen (Sharma et al. 2005).

Die Beurteilung der Flächenzunahme des Borstenfeldes ist ein maßgeblicher Indikator, um den Abnutzungsgrad einer Bürste zu bestimmen (Kreifeld et al. 1980, Rawl et al. 1989).

Neben dem Aussehen spielen auch finanzielle Aspekte eine Rolle wann die Zahnbürste gewechselt wird (Ziebolz et al.2006). Allerdings könne man nicht davon ausgehen, dass eine teure Zahnbürste auch automatisch besser ist (Van Nüss et al.2010).

Abgerundete Borsten werden heute wegen der deutlich geringeren Verletzungsgefahr des Weichgewebes empfohlen (Sharma et al.2005) und stellen ein wichtiges Qualitätsmerkmal dar (Reiter und Wetzel 1991, Jung et al.2005). Das Verletzungsrisiko der Gingiva ist bei scharfkantigen, nicht abgerundeten Borsten deutlich erhöht (Anneroth und Poppelmann 1975, Alexander et al.1977, Reiter und Wetzel 1991). Dem wird in der DIN-Norm 13917 des Normlausschusses Dental (1988) Rechnung getragen, mit der Forderung nach abgerundeten Borsten.

Diese Studie soll sich mit der Beurteilung, der im Gebrauch auftretenden Verschleißerscheinungen an Wechselköpfen von elektrischen Zahnbürsten für Erwachsene mit Hilfe eines selbst entwickelten Prüfstandes auseinandersetzen.

## 2. Literaturrecherche

### 2.1 Entwicklung der Prüfstände

Nygaard- Østby et al. entwickelten 1979 einen Zahnputzapparat um die proximale Putzleistung von Handzahnbürsten beurteilen zu können. Bürstbewegungen konnten horizontal und vertikal ausgeführt werden. 60 Sekunden lang, mit einer Bewegungsstrecke von 5cm und zwei Zügen pro Sekunde, wurde mit einem Anpreßdruck von 250g, 500g und 750g an simulierten Molaren und Frontzähnen gebürstet. Durch Okklusionsfolie dokumentierte man den Abrieb im Approximalbereich. Die Versuche wurden ohne Zahnpastasuspension durchgeführt. Die Zahnbürste wurde in einem Winkel von 90° zur Bürstoberfläche angelegt.

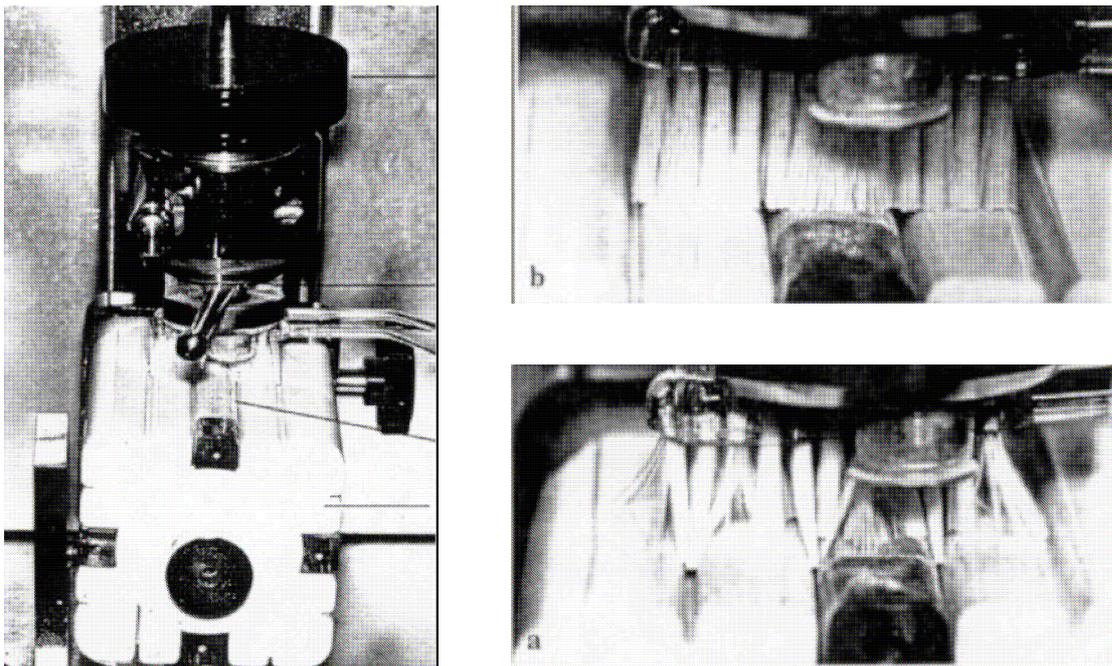


Abb. 1: Versuchsaufbau um den approximalen Zugang der Borsten zu messen

Der Versuchsaufbau nach Rawls et al.(1993) sollte näher an die natürlichen Zahnoberflächen herankommen. Der empfohlene Bürstwinkel von 45° wurde an Oberkiefer Modellen der Firma Columbia Dentoform Corporation mit der Bass-Technik simuliert. Die Versuchsreihen teilte man in dynamische und statische Bereiche ein.

Bei der statischen Versuchsreihe wurden die Bürsten bei Berührung mit den Zähnen fotografiert. Die Auflagegewichte lagen bei 100g, 300g, 600g und 1000g.

Bei den dynamischen Tests konnten die Eindringtiefe der Borsten und die Plaqueentfernung mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera gemessen werden.

Die größte Eindringtiefe wurde am tiefsten Punkt der Bürstbewegung gemessen.

Als Belag diente ein blauer Ethylcellulosefilm und die Bürsten wurden in destilliertes Wasser getaucht. Nach dem Bürstdurchlauf konnte ein Zahn entnommen und gespült werden. Anschließend mit image analysis vermessen und statistisch mit dem Student`s t- test ausgewertet.

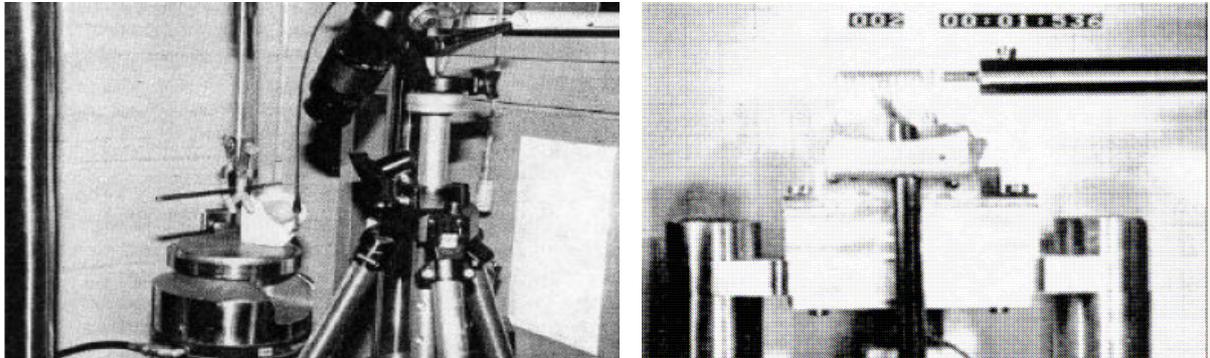
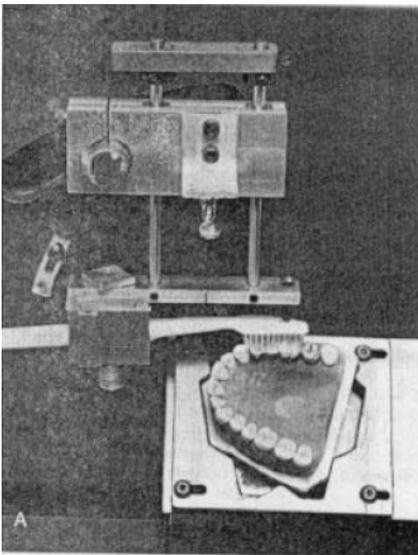
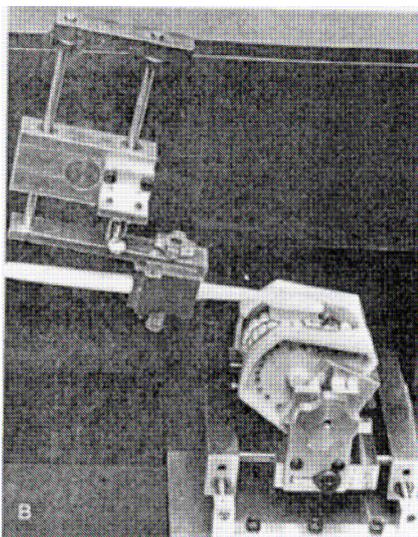


Abb. 2: Versuchsaufbau nach Rawls (1993)

Der Prüfstand nach Volpenhein et al.(1994) ging mehr auf die Benutzergewohnheiten ein als vorherige Modelle. Mit Hilfe von Videobändern konnten die Gewohnheiten der Versuchsteilnehmer aufgenommen und ausgewertet werden. Dabei konzentrierte man sich auf die approximale Reinigungskraft von Handzahnbürsten. Es wurde auf unterschiedliche Zahnmorphologie und die drei gebräuchlichsten Putztechniken Wert gelegt. In einem Winkel von 45° und 90° zur Zahnoberfläche, kreisförmiger, horizontaler und vertikaler Bewegungen konnte der Anpressdruck, die Länge der Bürstbewegung und die Geschwindigkeit benutzergetreu ausgewertet werden.



*Abb. 3: Bürstmaschine nach Volpenhein (1994) im 45° Winkel*



*Abb. 4: Bürstmaschine nach Volpenhein (1994) im 90° Winkel*

Die Putzeffizienz neuer Handzahnbürsten unter Verwendung eines Vier-Achsen Roboters untersuchten Sander und Völker 2005. Der Prüfstand sollte in der Lage sein die Stilmann- und Schrubbtechnik durchzuführen. Als Modell wurden Frasacozähne mit und ohne Brackets verwendet. Nachdem die Zähne sandgestrahlt wurden, trug man eine Lakritzuspension als Plaqueersatz auf. Ein Anpressdruck von 104g wurde erreicht, indem das Modell auf einem höhenverstellbaren Tisch gegen die Zahnbürste gepresst wurde. Durch digitale Photographie und anschließende Auswertung mit einem dafür entwickelten Computerprogramm sollte ein objektivierbares und reproduzierbares Ergebnis entstehen.

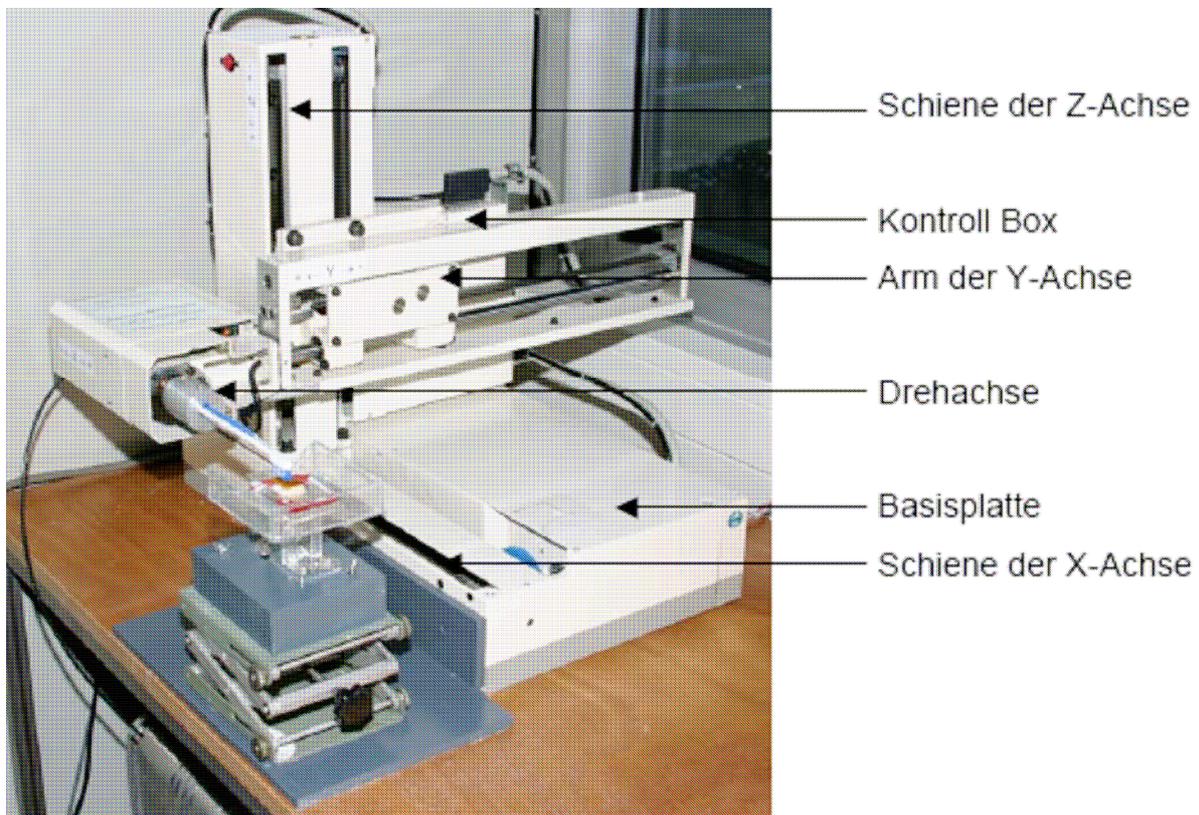
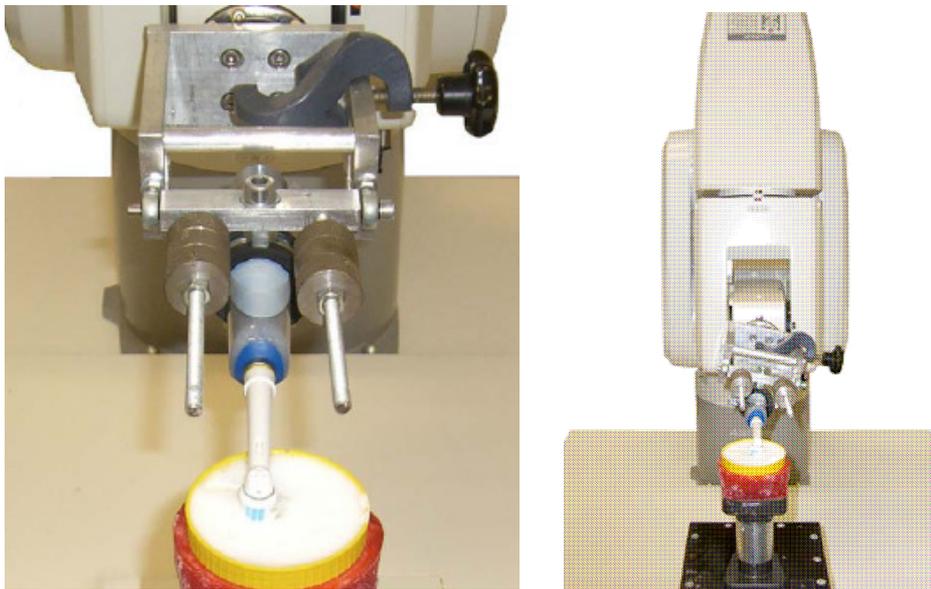


Abb. 5: Vier- Achsen- Roboter (2005)

2009 untersuchten Ott und Baumeister das Abrasionsverhalten moderner elektrischer Zahnbürsten nach robotergestützter Langzeitsimulation. Zu diesem Zweck unterzog man menschliche Zähne einer Putzsimulation von fünf Jahren und analysierte die Abrasivität von Schmelz und Dentin. Ein computergesteuerter Sechs-Achsen-Industrieroboter sorgte für die natürliche Putzbewegung. Insgesamt sechs Gewichte, die auf beiden Seiten der Bürsten fixiert und Richtung Bürstenkopf oder Halteteil verschoben werden können ermöglichen eine Veränderung des Anpressdruckes. Der Bürstenkopf arbeitete sich unter anderem über sechs Punkte, die auf der Bukkalfläche des Zahnes festgelegt wurden. Dabei konnte er Höhe und Anstellwinkel verändern. Es wurde eine Zahnpastasuspension verwendet, die durch eine Roboterbewegung von Zeit zu Zeit durchmischt wurde. Vor und nach der Putzsimulation stellte man Gipsabdrücke der verwendeten Zähne her. Die entstandenen Defekte wurden mit einem laseroptischen Oberflächenmessgerät ausgewertet.



*Abb. 6: Sechs- Achsen- Roboter (2009)*

## 2.2 Struktureller Aufbau von Borstenenden

Ein wesentlicher Teil der die Funktionsfähigkeit einer Zahnbürste ausmacht ist neben der Bürstenkopfdimension, der Anordnung und Länge der Büschel auch die Abrundung der Borstenenden. Die Herstellung eines Borstenfeldes kann über verschiedene Verfahren erfolgen.

### 2.2.1 Bündel- Stanzbesteckung/ Metallplättchenverankerung

Um die Borsten im Bürstenkopf zu befestigen werden mehrere Reihen von Bohrlöchern angelegt. Die zusammengefassten Borsten werden über ein Metallplättchen im Bürstenkopf verkeilt. Die Metallplättchen, zunächst aus einer nicht-korrosionsfreien Messinglegierung hergestellt, bestehen aus einer Nickel-Kupfer Legierung. Zum Schluss wird das Relief des Borstenfeldes bestimmt und die Abrundung der Borstenenden durchgeführt.

### 2.2.2 Bündel- Einspritzbesteckung

Die Büschel werden in angelegte Bohrlöcher eingebracht und mit flüssigem Kunststoff umspritzt. Dadurch entsteht ein fester Verbund, der das Lösen einzelner Filamente erschwert.

### 2.2.3 Bündel- Einfügebsteckung

Die zusammengefassten Borsten werden an den Enden mit Kunststoff umgeben. Der Bürstenkopf durch Erhitzung in einen plastischen Zustand überführt und die Büschel können in die Bohrlöcher eingeführt werden.

## 2.3 Das Borstenfeld

Sowohl das Bürstendesign und die Härte der Borsten als auch die Qualität der Borstenabrundung hätten einen Einfluss auf die abrasive Wirkung einer Zahnbürste (Hickel, Bark 2006). Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie empfahlen die Autoren drei Handzahnbürsten mit weichem Bürstenfeld und guter Borstenabrundung. Dabei wurde nur die Abrasivität beurteilt, nicht die Reinigungseffizienz.

Die Qualität der Abrasivität in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Borstenenden konnte auch 1990 festgestellt werden (Remizov and Pruzhanskii, 1990) und schon 1988 forderte die DIN-Norm 13917 abgerundete Borstenenden. Somit gehört die adäquate Borstenabrundung zu einem guten Bürstendesign und wird von vielen Herstellern umgesetzt. Die teilweise großen Unterschiede in den Untersuchungen der Borstenabrundung zeigt, dass noch nicht alle Hersteller die Möglichkeit der Abrundung umsetzen (Althaus et al. 1990).

Bei ihrer Studie zu der Keimbesiedelung von Zahnbürsten, untersuchten Wetzell und Kröger (2008) unter anderem die Borstenabrundung der verwendeten Handzahnbürsten. Dabei verglichen sie eine Erwachsenen- und eine Kinderzahnbürste, hergestellt nach dem Bündel- Stanzbesteckungs- Prinzip und eine Erwachsenen- und eine Kinderzahnbürste, die mit Hilfe der Bündel- Einspritz- Technik hergestellt wurden.

Bei den Bürsten für Erwachsene wurde eine einheitliche Abrundung festgestellt mit wenigen Kunststoffspänen zwischen den Filamenten. Die unterschiedlichen Herstellungsverfahren zeigten keine Unterschiede bei der Endabrundung der Borsten.

Auch die Kinderzahnbürste, hergestellt durch die Bündel-Einfügebsteckung weist eine gute Abrundung der Borstenenden auf. Durch die Bearbeitung entstand eine raue, leicht riffelige Oberfläche.

Die Kinderbürste nach der Bündel-Stanzbesteckungsmethode hatte ungleichmäßige Borstenenden. Die Filamente zeigten verschieden spitz zulaufende Anschliffe mit einer unebenen Oberfläche und zurückgebliebenen Kunststoffresten.

Die Qualität der Borstenabrundung bei Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten ist eine der wenigen Studien die sich mit Borsten elektrischer Zahnbürsten beschäftigte (Klimek, Soydan 2008).

Dazu untersuchte man Wechselköpfe von acht elektrischen Zahnbürsten, z.B. einen Braun Oral- B PlakControl Flexisoft. Einzelne Borsten aus bestimmten Arealen des Bürstenkopfes wurden entnommen und auf einen Klebestreifen geklebt. Nach Goldbedampfung wertete man sie rasterelektronenmikroskopisch aus. Die Klassifizierung der Borstenendgeometrie wurde in akzeptabel und nicht-akzeptabel eingeteilt (Silverstone & Featherstone 1988; Reiter & Wetzel 1991).

Die Auswertung ergab, dass der Anteil akzeptabler Borstenabrundungen unter den verschiedenen Produkten deutlich differierte. Allgemein lag der Anteil akzeptabel abgerundeter Borsten zwischen 21,70% und 82,30%. Der Oral- B PlaqControl Flexisoft Wechselkopf belegte Rang 3 mit 72,60% akzeptabler Abrundung. Es konnten keine Unterschiede bei der Qualität der Abrundung bezogen auf die Lokalisation im Bürstenfeld festgestellt werden.

Im Gegensatz dazu fand Checchi et al. (2004) bei der Studie auf dem italienischen Markt nur einen Anteil zwischen 53,2%-65,6% akzeptabler Borstenendabrundungen bei nur vier von zwölf Wechselköpfen elektrischer Zahnbürsten.

Meyer- Lueckel et al. (2004) studierten die Qualität der Borstenabrundung von zehn Kinder- Handzahnbürsten. Nur bei der Hälfte der Bürsten war die Qualität ausreichend. Die Autoren äußerten, dass durch die Benutzung der Zahnbürste schlecht abgerundete Borstenenden abgerundet werden könnten. Allerdings sollten die Borsten einer Zahnbürste von vornherein eine qualitativ ausreichende Abrundung aufweisen.

Öko- Test (2005) beurteilte die Qualität von dreizehn elektrischen Zahnbürsten, u.a. die Oral- B Professional Care 8500 und die Philips Sonicare Elite 7000 Series.

Interessant waren dabei die Funktionalität und die Materialeigenschaften. Alle dreizehn Zahnbürsten konnten nur mit der Note befriedigend beurteilt werden. Die Philips Sonicare bekam in der Geräteprüfung die Note „gut“, bei der Prüfung der Materialeigenschaften die Note „mangelhaft“.

Nicht-akzeptable Borstenabrundungen fanden sich hauptsächlich bei amerikanischen Herstellern, die weit über 50 % scharfkantige oder abgebrochene Borstenenden aufwiesen. Nur zwei Geräte hatten einen abgewinkelten Griff der die Reinigung der Backenzähne erleichtern soll. Die Anforderung eines kleinen Bürstenkopfes mit Kantenabrundung und Anordnung der Borsten in Büscheln konnte von allen Produkten erfüllt werden.

Nur bei einem Modell wurde ein Befestigungsverfahren der Borsten angewandt, welches die Hohlräume und somit die Keimbesiedelung einschränkt. Das einzige Modell bei dem die Umwelteigenschaften hervorgehoben werden konnten war die Oral-B Prof. Care 5000.

Bei Materialeigenschaften kam es zur Abwertung bei mehr als 100 µg/kg polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK). Weitere Mängel waren ein Nickel-Cadmium-Akku, PVC/PVDC chlorierte Kunststoffe im Kabel oder Zubehör und bromierte Flammschutzmittel in der Platine.

Van Nüss et al. (2010) studierten die Abnutzung von Handzahnbürsten unterschiedlicher Preiskategorie.

140 Probanden putzten zwischen drei und sechs Monaten zwei - drei Minuten mit einer zugewiesenen Handzahnbürste zwei mal täglich die Zähne. Sie kamen zu dem Schluss, dass bei den Zahnbürsten innerhalb einer Preiskategorie kein Unterschied festgestellt werden konnte. Auch bestand nach Gebrauch zwischen drei und sechs Monaten bei keiner Bürste ein Unterschied. Beurteilt wurde makroskopisch, mikroskopisch und rasterelektronenmikroskopisch.

Die Untersuchungsmethoden unterschieden sich deutlich voneinander und es konnte gezeigt werden, dass keine Rückschlüsse auf den Zustand der Borsten aus einer

starken Zunahme des Borstenfeldes gezogen werden können. Die Zahnbürsten der mittleren Preiskategorie schnitten insgesamt am Besten ab.

Die Preisspanne bei elektrischen Zahnbürsten ist sehr groß. Die meisten Modelle liegen zwischen 5,55€ und 149€. Die durchschnittliche Laufzeit beträgt sechs Jahre. Danach werden sie als Elektroschrott entsorgt.

Das beste Modell, auch durch die größte Ausstattung, ist die Braun Oral-B Prof. Care 5000. Ähnlich gut mit weniger Ausstattung ist die Oral- B Prof. Care 500 für nur 30€.

Die beste Schallzahnbürste ist die Phillips Sonicare CleanCare für 41,50€ mit herausragender Akkuleistung von 133 min.

Der Preis für Ersatzbürsten ist mit 12€ pro Stück deutlich höher als bei den Braun Geräten (Klement 2011).

## 2.4 Putzeffizienz elektrischer Zahnbürsten

2009 eröffnete die AOK Rheinland/Hamburg eine große in vivo Studie in der 300 Menschen über zwei Monate testen konnten, ob die Zahnpflege mit einer elektrischen- oder Handzahnbürste effektiver ist. Als elektrisches Modell kam die oszillierend-rotierende Oral B Prof. Care 8500 zum Einsatz.

Nach Plaque-Indices Ermittlung sollten die Teilnehmer die gewohnte Handzahnbürste durch die Elektrische ersetzen und die Zahnzwischenraumpflege wie gewohnt weiterführen. Ausgewertet wurden auch die persönlichen Eindrücke. Demnach wollten 99 % das elektrische Modell weiterverwenden. Eine Verbesserung der Mundhygiene konnte bei 98 % festgestellt werden. Läsionen an Zahn und Zahnfleisch hatte kein Studienteilnehmer. Somit konnte die Mundhygiene durch Verwendung der elektrischen Zahnbürste verbessert werden.

Zu der Wirksamkeit elektrischer Zahnbürsten gibt es schon zahlreiche Studien mit oftmals sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Dabei wurden sie lange Zeit

hauptsächlich Patienten mit eingeschränkten Fähigkeiten, Parodontitispatienten und Patienten mit festsitzendem Zahnersatz zur Erleichterung bei der Zahnpflege empfohlen.

In frühen Studien konnte oftmals keine Verbesserung der Mundhygiene durch Verwendung eines elektrischen Modells der ersten Generation festgestellt werden (Quigley und Hein 1962, Walsh und Glenwright 1984).

Die folgende Generation elektrischer Zahnbürsten erwies sich in Bezug auf Plaqueentfernung und Gingivitisreduktion (Galvind und Zeuner, 1986, Van der Weijden et al., 1998) effizienter.

Andere Studien sahen wiederum keine Verbesserung gegenüber der Handzahnbürste (Zimmer et al., 1999). Bei Vergleichen zwischen Schall-, oszillierend- rotierenden- und Handzahnbürsten machen die elektrischen Modelle in Hinblick auf die Plaqueentfernung meist den besseren Eindruck (Sicilia et al. 2002, Danser et al. 2003), v.a. des Öfteren ein Braun Oral- B Modell (Dörfer et al. 2001, Zimmer et al., 2005).

Auch im Approximalbereich werden für Oral- B gute Reinigungswerte erzielt. Bei einer Studie, die die Sicherheit und die Effektivität des elektrischen Braun Oral- B D17 Modells drei Monate testete, stellte man sowohl nach einem als auch nach drei Monaten eine größere Reduktion der approximalen Plaque- und Gingivitis Indices fest als bei einer manuellen ADA- Referenzbürste. Signifikante Gewebsverletzungen wurden in keiner Probandengruppe deutlich (Warren et al., 2001).

2002 untersuchte Setzwein die proximale Reinigungswirkung unterschiedlicher Bürstendesigns. Zum Einsatz kam eine Zwei- Achsen Bürstmaschine, mit der die horizontale Schrubbbewegung nachgeahmt werden konnte. Die Bürsten mit gewelltem oder stufenförmigem Design drangen tiefer in die Zahnzwischenräume und reinigten somit effizienter als Bürsten mit flachem Borstendesign.

Im Zusammenhang mit der Dentinabrasion zeigte Oral- B mit ihrem elektrischen Modell (D9) bessere Werte als eine ADA- Referenzzahnbürste (Schemehorn, Zwart, 1996).

Andererseits konnte in einem zwei Jahre andauernden Putzversuch gezeigt werden, dass die verwendete Handzahnbürste und eine Braun Oral- B 3D Excel eine ähnlich hohe Dentinverletzung verursachten. Nach Erhöhung des Anpressdruckes von 90g auf 150g war durch beide elektrischen Modelle, die Oral-B 3D Excel und die Sonicare Elite, der Dentinabrieb erhöht. Bei der Oral-B 3D Excel sogar um ca. 4 - 5 mal stärker als bei der Sonicare Elite (Sorensen, Nguyen, 2002).

In einer weiteren Studie im Vergleich von oszillierend-rotierenden (Oral- B Prof. Care 7000) und Schallzahnbürsten (Philips Sonicare Elite; SE), bezogen auf die Verbesserung von Gingivitis, liegt das oszillierend- rotierende Modell ebenfalls vorn. Nach einer Prophylaxe sollten 38 Testpersonen für 21 Tage nicht die Zähne putzen. Vier Wochen sollte je eine Seite mit einer Testbürste gesäubert werden. Plaque und das Vorhandensein von Rezessionen wurde zu Beginn, nach ein, zwei und vier Wochen bestimmt. 35 Probanden konnten ausgewertet werden.

Es stellte sich heraus, dass die Oral- B Prof. Care mehr Plaque entfernte und besser gegen Gingivitis unterstützte als die Sonicare ohne dabei die Ausbildung von Rezessionen zu erleichtern. 66 % der Testpersonen würden das Oral- B Modell vorziehen (Rosema et al. 2005).

Extrinsische Verfärbungen werden mit der elektrischen Oral- B 3D Bürste besser entfernt als mit der Sonicare Schallbürste (Sharma et al., 2000).

Paul und Strauss verglichen 2006 zwei elektrische Zahnbürsten mit einer Handzahnbürste nach dem Parallel-Design. Dazu ermittelte man bei 120 Teilnehmern Plaque-Indices und den Entzündungsgrad der Gingiva. Danach sollten diese die zugeteilte Bürste für acht Wochen jeweils zweimal täglich anwenden. Nach vier und acht Wochen wurde ein Mundhygienestatus erhoben. Grundsätzlich ließ sich feststellen, dass die elektrischen Modelle eine größere Putzeffizienz aufwiesen als die geprüfte Handzahnbürste. Noch dazu konnte gezeigt werden, dass die oszillierend- rotierende Bürste (Oral B 3D Excel) nach acht Wochen Plaque und nach

vier bzw. acht Wochen Gingivitis deutlicher reduzierte als die Schallzahnbürste (Cybersonic 2).

Eine weitere In- vivo- Studie verglich ebenso zwei elektrische- und eine Handzahnbürste (Hickel, Pohlig 2006).

Nach einem Cross- over Design verglich man die Fähigkeit der Plaqueentfernung der unterschiedlichen Modelle. 33 Teilnehmer sollten sechs Tage ein zugeteiltes Modell verwenden. Nach 24-stündiger Mundhygienepause wurde die gebildete Plaque mit einer intraoralen Kamera dokumentiert und später ausgewertet. Dann putzte der Proband für 60 Sekunden seine Zähne. Nochmals wurde die vorhandene Plaque bestimmt.

Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass die oszillierend- rotierende Bürste, bezogen auf alle ausgewerteten Flächen, die bessere Reinigungskraft aufwies. Sie verursachte allerdings auch mehr Bürstläsionen.

Approximal hatte die Handzahnbürste die Nase vorn, der Zahnzwischenraum sollte aber zusätzlich gereinigt werden. Bevorzugen würden die Teilnehmer das oszillierend- rotierende Modell.

2007 analysierten Ott und Baldy die Reinigungseffektivität elektrischer Zahnbürsten in- vitro. Sie verwendeten ein mit Plaqueersatzmittel beschichtetes Phantommodell, welches mit Zahnfehlstellungen und Gingivarezessionen versehen wurde. Der Putzvorgang erfolgte robotergesteuert. Alle vier geprüften Modelle erreichten eine Reinigungsleistung von über 90 %.

Die Oral- B Prof. Care entfernte insgesamt am meisten Plaque. Im Bereich der simulierten Gingivarezessionen zeigte die Sonicare Elite eine schlechte Leistung, die Ott und Baldy damit erklärten, dass der schmale Bürstenkopf der Schallbürste zu klein sei um lange Zahnflächen komplett zu reinigen. Außerdem vermuteten sie, dass die Colgate Actibrush aufgrund ihrer fehlenden oszillierenden Bewegung und der geringeren Seitwärtsbewegungen (5.600 pro Minute) gegenüber der Prof. Care (8.800 pro Minute) schlechter abschnitt.

Zimmer und Fabricius (2008) verglichen in- vivo die Effektivität einer dreiköpfigen Schallzahnbürste mit einer Einköpfigen (Phillips Sonicare Elite 7000) und einer Handzahnbürste. Die Auswertung erfolgte über die Beurteilung von Plaque- und Gingivitis Indices von 85 Probanden.

Sie kamen zu dem Schluss, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Modellen, bezogen sowohl auf die Plaque- als auch auf die Gingivitisreduktion, gefunden werden könnten. Die dreiköpfige Bürste zeigte allerdings eine schlechtere approximale Reinigungskraft, was mit der geringeren Bürstenkopfgröße in Zusammenhang gebracht wurde.

Es wird empfohlen den Approximalraum immer zusätzlich zu säubern, da kein Modell dort optimal Plaque entfernte.

Eine Studie, die sich mit der Putzeffektivität unterschiedlicher Putzaufsätze einer Schallzahnbürste befasste (Petschelt, Hopp 2010), erfolgte in- vivo und im Cross-over- Design. Es zeigte sich, dass beide Aufsätze der Sonicare Elite 9800 zu einer adäquaten Plaqueentfernung beitrugen. Nach zwei Minuten Putzzeit konnten 84 %, nach drei Minuten Putzzeit 90 % und nach sechs Minuten Putzzeit 95 % der Plaque entfernt werden.

Aus diesem Grund empfiehlt Hopp eine Putzzeit von mindestens drei Minuten um die approximale Reinigungseffizienz zu steigern.

## 2.5 Zahnpasta

Für eine effektive Zahnreinigung ist die Verwendung von Zahnpasta unverzichtbar. Bei einer Reinigung nur mit Wasser würde man auf wichtige Inhaltsstoffe der Zahnpasta verzichten.

Abrasivkörper z.B. unterstützen den Reinigungseffekt. Ihr Anteil liegt zwischen 15 und 50 %. Sie kommen vor als Calciumcarbonat, Dicalciumphosphat, Dicalcium-Phosphat- Dihydrat, Natriummetaphosphat, Kieselgele, feindisperse Kieselsäure, Aluminium- Oxidhydrate und Kunststoffe. Die Abrasivität wird durch den RDA- Wert (Radioactive Dentine Abrasion) zum Ausdruck gebracht.

Raucherzahnpasten enthalten einen Wert von  $100\mu\text{m}$  um Verfärbungen beseitigen zu können. Ein RDA- Wert unter 35 verringert eine mögliche Zahnschmelzabration, allerdings ist auch die Zahnsäuberung geringer.

Sander et al. untersuchten 2005 die abrasive Wirkung von Zahnpasten auf Kunststoff. Auf PMMA- Teilen wurde mit einer Zahnbürste mit mittelharten Borsten eine Schrubbewegung durchgeführt. Unterschiedliche Zahnpastasorten mischte man mit dest. Wasser zu der genormten Suspension (EN ISO 11605). Eine Messung wurde nur mit dest. Wasser durchgeführt. Der Anpressdruck betrug zwei Newton. Als Messgrößen verwendete man den Mittenrauwert  $R_a$  (DIN 4768/1) und die maximale Einzelrautiefe  $R_{\text{max}}$  (DIN 4768/1).

Je größer die Rautiefe umso leichter könnten sich Bakterien anlagern und zur Zahndestruktion beitragen. Daher sollte man Zahnpasten verwenden, die kaum eine Rautiefe erzeugen.

Es zeigte sich, dass beim Putzen nur mit dest. Wasser zu vernachlässigende Werte entstanden. Beim Vergleich zwischen Kinder- und Erwachsenenzahnpasta wurde deutlich, dass die meisten Hersteller keinen Unterschied hinsichtlich der Abrasivität machten. Die geringste Abrasion zeigte die Zahnpasta Pearls&Dents mit nur  $0,3\mu\text{m}$  Mittenrauhigkeit. Den höchsten Wert erreichte die Elmex Zahnpasta mit  $15,7\mu\text{m}$ . Bei einer ähnlichen Versuchsreihe erreichte ebenfalls die Pearls&Dents die geringste Abrasion (Sander, Wiethoff 2006).

Wie die Abrasivkörper einer Zahnpasta mit den Borsten der Zahnbürste interagieren ist abhängig von der Borstenhärte, dem Anpressdruck und dem Bewegungsmuster. Eine höhere Anzahl von Partikeln wird bei einer Hin- und Herbewegung der Zahnbürste, geringerem Anpressdruck und kaum Verbiegung der Filamente mitgerissen. Größere Partikel werden seltener an der Berührungsfläche mitgerissen, sondern hängen eher zwischen den Borstenspitzen oder im Biegebereich der Filamente bei erhöhtem Anpressdruck. Die Wahrscheinlichkeit, ob Partikel mitgerissen werden und wie lange sie vor Ort bleiben, ist abhängig von der Borstenhärte, dem Grad des Aufspleißens und der Filamentanordnung.

Ein eng stehendes Borstenfeld und eine größere Borstenhärte sind effektiver in der Aufnahme von Abrasivkörpern als flexible Filamente, die unter Last aufspießen und so ein Hindernis darstellen um in die Berührungsfläche einzudringen oder diese zu verlassen (Dwyer-Joyce und Pickles, Lewis 2004).

Das Bürstendesign, die Härte der einzelnen Borsten und die Gestaltung der Borstenenden hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des Dentinabriebs (Hickel, Bark 2006).

Der Verschleiß von Zahnbürsten ist sehr gering wenn nur mit Wasser gebürstet wird. Der Grad der Abnutzung ist abhängig von der verwendeten Zahnpasta (Lentz et al. 1991).

In einer weiteren Studie verglich man die Abrasivität von Zahnpasta und Fluoridgel auf intaktem und demineralisiertem Rinderzahnschmelz. Die Proben wurden mit einer Suspension aus Fluoridgel und menschlichem Speichel, Zahnpasta und menschlichem Speichel oder Wasser zur Kontrolle gebürstet.

Gemessen wurde die Abrasion mittels Laser Profilometrie und war auf gesundem Schmelz 50 % geringer als auf demineralisiertem. Bürstversuche nur mit Wasser ( $0.09 \pm 0.03 \mu\text{m}$ ) oder Fluorid freiem Gel ( $0.08 \pm 0.03 \mu\text{m}$ ) führten zu kaum messbarem Schaden. Putzversuche mit Zahnpasta mit mittlerem Abrasivwert ( $1.76 \pm 0.85 \mu\text{m}$ ) oder mit Fluoridgel ( $2.48 \pm 0.72 \mu\text{m}$ ) waren deutlich höher als bei Verwendung einer niedrig- abrasiven Zahnpasta ( $0.84 \pm 0.38 \mu\text{m}$ ). Der größte Schaden entstand beim Bürsten mit einer Zahnpasta mit hohem Abrasivwert ( $16.6 \pm 10.8 \mu\text{m}$ ).

Daher sollten, bei vorhandenen Bereichen mit Initialkaries, Produkte mit geringer Abrasivität verwendet werden (Kielbassa, Hellwig et al., 2005).

Des Weiteren enthalten Zahnpasten Aromastoffe, Feuchthalte- und Bindemittel, Konservierungsstoffe, Farbstoffe, Tenside und Therapeutische Wirkstoffe (z.B. Fluoride). Tenside sollen durch ihre Schaumbildung Plaque- und Speisereste festhalten und das Ausspülen begünstigen (Lehmann, Hellwig 1998).

## 2.6 Anpressdruck

Experimente, die sich durch die Verwendung verschiedener Druckkräfte von Zahnbürsten auszeichnen, sind sehr vielfältig. Nygaard- Østby et al. arbeiteten mit Kräften zwischen 250g und 750g (1979). Putzläsionen und Rezessionen ließen sich aber nur bei einem Anpressdruck bis 2N vermeiden (Mierau et al., 1989, Kramer et al. 1995). Die Putzleistung würde sich bei einem Anpressdruck über 1,5N mit zweiminütiger Putzzeit auch nicht verbessern (McCracken, 2003). Auch Van der Weijden et al. (1998) schreiben bei der Effektivität der Plaqueentfernung der Putzdauer und der korrekten Putztechnik mehr Bedeutung zu.

Zahnbürstenhersteller instruieren, es sollte sanfter Druck ausgeübt werden oder der Anpressdruck sollte 2,5N nicht überschreiten.

## 3. Material und Methode

### 3.1 Aufbau und technische Daten des Prüfstandes

Der Prüfstand besteht im Wesentlichen aus vier Einheiten:

- Grundgestell;
- Antriebseinheit;
- Schlitten zur Aufnahme der zu prüfenden Zahnbürste;
- Einheit zur Aufnahme der Zähne

#### 3.1.1 Grundgestell

Das Grundgestell des Prüfstands besteht zu einem großen Teil aus Aluminium-Profilelementen wie sie bevorzugt im Anlagen- und Vorrichtungsbau eingesetzt werden.

Die Profilelemente zeichnen sich aufgrund des Werkstoffes Alu sowie dem hohen Anteil an Hohlräumen durch ihr verhältnismäßig geringes Gewicht aus. Transport und Handhabung der Anlage werden hierdurch enorm erleichtert. Des Weiteren ist Aluminium rostfrei sowie weitgehend beständig gegenüber aggressiven Medien. Dies garantiert auch beim hier vorliegenden Einsatz von Wasser mit verschiedenen Zusätzen einen reibungslosen Betrieb sowie einen minimalen Aufwand für die Instandhaltung.

Trotz des geringen Gewichts sorgt die Profilform für eine hohe Steifigkeit der Elemente. Diese hohe Steifigkeit ist für den Prüfstand in verschiedener Hinsicht von Bedeutung. Zum einen wird dadurch der leichtgängige Lauf sämtlicher beweglichen Teile auch unter Last gewährleistet, zum anderen kann ein Einfluss des Prüfstandes auf die Messergebnisse aufgrund von Verwindungen von vornherein ausgeschlossen werden. Die Messergebnisse sind somit rein von den bewusst gewählten Einstellungen abhängig.

Da die Aluminium- Profile im Baukastensystem mit passenden Winkeln, Verbindungselementen und Abdeckungen erhältlich sind, vereinfachen sich Herstellung und Montage der Anlage erheblich. Sämtliche Verbindungen können ohne Bohren oder Gewindeschneiden hergestellt werden. Zudem sind die Verbindungen jederzeit ohne großen Aufwand wieder lös- und gegebenenfalls einfach verschiebbar. Somit kann auch während der Versuchsphase jederzeit noch eine schnelle und dennoch präzise Anpassung der Vorrichtung erfolgen. Da auch bei einer gründlichen Planung der Versuchsreihen kaum alle Parameter exakt vorher festlegbar sind, stellt diese Flexibilität einen enormen Vorteil gegenüber einer starren Lösung dar.

Das Grundelement des Anlagengestells wird von einer der oben beschriebenen Profilplatten mit beidseitiger Abdichtung gebildet. Es ist 30 mm stark und bietet trotz der kompakten Abmessungen von 400 mm x 120 mm ausreichend Platz für den gesamten Versuchsaufbau.

An einer Stirnseite der Grundplatte befindet sich der Trägerrahmen für die Aufnahme der Antriebseinheit. Dieser Rahmen besteht aus drei H- förmig verbundenen Profilelementen mit jeweils einem quadratischen Querschnitt von 30 mm. Diese sind untereinander sowie gegenüber der Grundplatte mit passenden Winkelementen verbunden, positionieren die Komponenten exakt rechtwinklig und ermöglichen ohne großen Aufwand eine spätere Änderung der Positionen. Somit kann zum Beispiel die Antriebseinheit zu Wartungszwecken schnell in eine gut zugängliche Position gebracht und dort arretiert werden. Danach wird sie mühelos wieder exakt zu dem angetriebenen Schlitten ausgerichtet.

Für die Verschraubung der Elemente des Grundgestells sowie auch bei allen anderen Anlagenteilen kommen rostfreie Edelstahlschrauben zum Einsatz.

### 3.1.2 Antriebseinheit

Die Antriebseinheit ist fest am Trägerrahmen des Grundgestells montiert. Sie besteht im Wesentlichen aus einer 6 mm starken Aluminiumplatte auf welcher die zwei Antriebsmotoren installiert sind. Die Trägerplatte wurde entsprechend dem erforderlichen Bohrbild für die Antriebsmotoren angefertigt. Auf ihr sind die Motoren fest verschraubt.

Für den hier vorliegenden Anwendungsfall sind sehr geringe Drehzahlen des Antriebsmotors notwendig. Um dabei eine gleichmäßige Bewegung der Zahnbürste unabhängig von Lastschwankungen zu gewährleisten ist ein hohes Motormoment erforderlich. Diese Anforderungen werden von passenden Gleichstrom-Getriebemotoren sehr gut erfüllt. Sie sind zudem äußerst kostengünstig und erfordern keinen besonderen Steuerungsaufwand.

Zum Einsatz kommen Hochleistungsgetriebemotoren der Marke Modelcraft. Die Motoren sind für den Gleichstrombetrieb mit bis zu 6Volt ausgelegt.

Das fest mit dem Motor verbundene Getriebe hat ein Untersetzungsverhältnis von 50:1. Das heißt, die Drehzahl des Motors wird um den Faktor 50 reduziert. Gleichzeitig erhöht sich das an der Abtriebswelle zur Verfügung stehende Drehmoment um den gleichen Faktor.

Die weiteren technischen Rahmendaten finden sich in folgender Tabelle:

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| Betriebsspannung                  | 6 V            |
| Last-Drehzahl                     | 116 U/min      |
| Abm. (Ø x L)                      | 36 mm x 106 mm |
| Untersetzung                      | 50:1           |
| Spitzen-Drehmoment                | 5.88 Nm        |
| Leerlauf-Drehzahl an Nennspannung | 122 U/min      |
| Wellen- Ø                         | 6 mm           |
| Wellen-Länge                      | 16.9 mm        |
| Dauer-Drehzahl                    | 6200 U/min     |
| Max. Laststrom                    | 1.8 A          |
| Leerlaufstrom                     | 0,7 A          |

Das vorab festgelegte Bewegungsmuster erfordert an der Abtriebswelle des Getriebemotors sehr geringe Drehzahlen zwischen 0,5 und 1,5 Umdrehungen pro Sekunde. Dies entspricht einem Drehzahlbereich zwischen 30 und 90 Umdrehungen pro Minute. Dabei wird der Motor im Bereich des höchsten Leistungsdurchsatzes betrieben, und es steht laut Datenblatt ein Abtriebsmoment von mehr als 4 Nm zur Verfügung. Unter Verwendung einer geeigneten regelbaren Energiequelle ist damit ein gleichmäßiger und störungsfreier Antrieb der Bewegungen gewährleistet.

Als Energiequelle kommt ein Netzteil mit regelbarem Gleichstromausgang zum Einsatz. Mit einer maximalen Ausgangsleistung von 1,5kW ist dieses für den vorliegenden Anwendungsfall mehr als ausreichend dimensioniert.

Die Motoren können einzeln angesteuert und gegebenenfalls auch unabhängig voneinander abgeschaltet werden. Dies ermöglicht die Erzeugung unterschiedlicher Putzmuster wie im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

### 3.1.3 Schlitten zur Aufnahme der zu prüfenden Zahnbürste

Der Prüfschlitten vereint zwei der Grundfunktionen des Prüfstandes. Er stellt zum einen die wesentliche mechanische Komponente zur Umsetzung des vorab festgelegten Bewegungsmusters dar. Zum anderen dient er als Aufnahme für die zu prüfende Zahnbürste.

Die Auslegung der Schlittenmechanik muss also zunächst die gewünschte Simulation der Putzbewegung ermöglichen. Diese wurde als eine ein- oder zweidimensionale Bewegung ermittelt. Der Schlitten muss somit unabhängig voneinander zwei senkrecht zueinander stehende Bewegungen ausführen können um verschiedene Putzmuster abbilden zu können. Optional muss eine der beiden Bewegungen stillgelegt werden können um eine eindimensionale Bewegung zu ermöglichen. Da die Bewegung entlang einer simulierten einzelnen Zahnreihe von etwa vier Zähnen erfolgt, muss zudem der Ausschlag einer der beiden Bewegungen größer sein.

Die beiden Bewegungen werden am Schlitten jeweils in der Horizontalen umgesetzt. Die x- Achse ist dabei parallel zur Prüfstands- Längsachse. Senkrecht dazu steht die

y- Achse. Um die Putzbewegung mit der realistischen Stellung der Zahnbürste zu der Prüfzahnreihe zu erreichen, müssen diese in Reihe mit der größeren Bewegungsamplitude liegen. Somit muss im Hinblick auf den Bauraum zwangsweise die Bewegung mit dem größeren Ausschlag in Längsrichtung des Prüfstandes liegen.

Der Prüfschlitten besteht aus zwei Einzelschlitten die übereinander angeordnet sind. Jeder für sich kann dabei mittels kugelgelagerter Profilschienenführung eine Bewegung in einer Richtung ausführen. Durch die senkrecht gekreuzte Anordnung der Bewegungsrichtungen ist es möglich die beschriebene zweidimensionale Putzbewegung herzustellen. Aus Stabilitätsgründen wurden je Bewegungsrichtung zwei Profilschienenführungen verwendet. Ein Verkanten und damit eine schwergängige Bewegung des Schlittens unter Last ist somit ausgeschlossen. Die Profilschienenführungen ermöglichen einen maximalen Verfahrweg von etwa 80mm.

Die Schienenführungen des unteren Schlittens sind direkt auf dem Grundgestell des Prüfstandes montiert und in Längsrichtung angeordnet. Während die Platte dieses Schlittens aus 5mm starkem Aluminium besteht wurde die Platte des oberen Schlittens wiederum aus einem Aluminium- Profilformelement hergestellt. Dies ermöglicht die einfache Montage und Positionierung sämtlicher Anbauteile zur Aufnahme der Zahnbürsten ohne weitere Bearbeitung. Auch spätere Änderungen an den Positionen der Komponenten sind ohne weiteres möglich.

Die Aufnahme der Zahnbürste besteht im Wesentlichen aus einem schwenkbaren 2 mm starken Aluminium – U- profil. Dieses ist in zwei beiderseits angeordneten Lagerböcken leichtgängig drehbar aufgehängt. Die Lagerböcke sind direkt auf der Profilplatte des Schlittens montiert. Mittels einer Stellschraube ist die Winkellage der Aufnahme und somit der Zahnbürste feinfühlig einstellbar. Da die Winkellage der Aufnahme den Abstand des Zahnbürstenkopfes von der Grundplatte beeinflusst ist hierüber der Anpressdruck der Zahnbürste auf die Zahnreihe einstellbar. Um eine Veränderung des Anpressdrucks während des Versuchs durch ein ungewolltes Lösen der Stellschraube zu verhindern, kann diese mit einer Mutter gekontert werden.

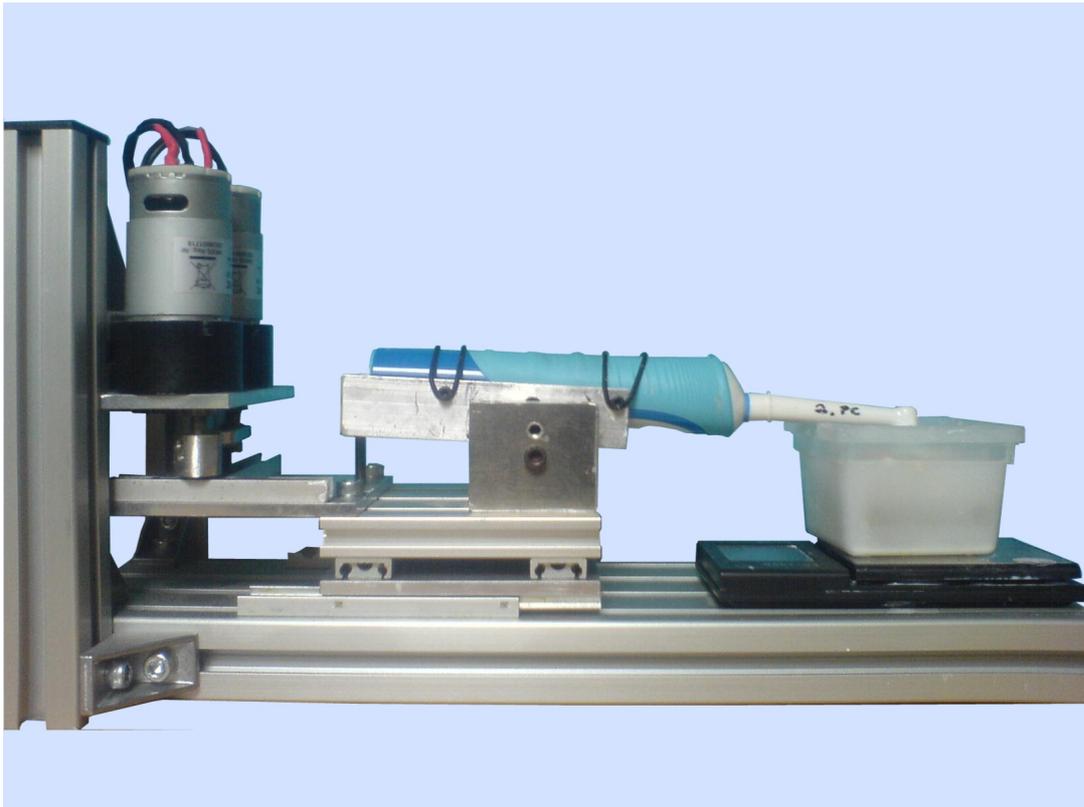


Abb. 7: Seitenansicht Prüfstand

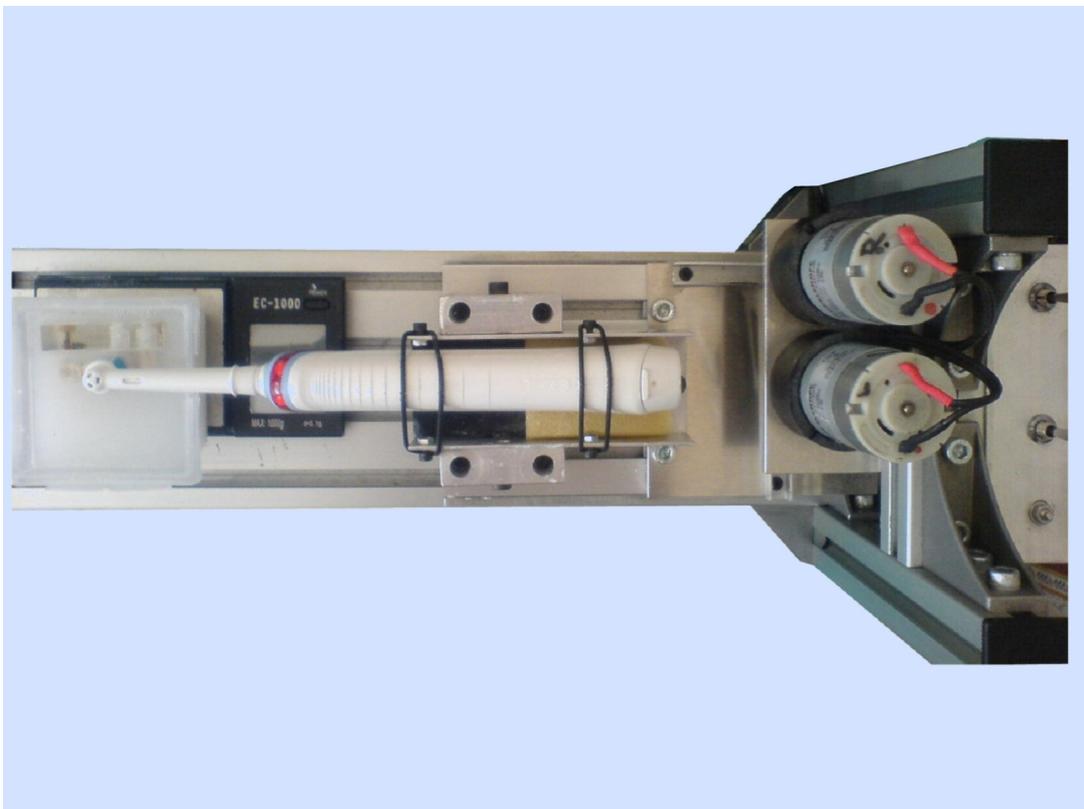


Abb. 8: Draufsicht Prüfstand

Das U- Profil wurde in den Abmessungen nach den zuvor ermittelten Dimensionen der zu prüfenden Zahnbürsten ausgewählt. Mittels Schaumstoffeinlagen kann die Innenkontur des Profils so an die aktuelle Prüfzahnbürste angepasst werden, dass diese während des Versuchs nicht verrutschen oder sich verdrehen kann. Zudem werden die Bürsten in der Aufnahme noch mit zwei O- Ringen gesichert.

### Die Umsetzung der Bewegung

Um die rotierende Bewegung der Antriebsmotoren in transversale Bewegungen zu übersetzen und somit den Schlitten in Längsrichtung anzutreiben, wurden an den Motorwellen Exzenterhebel montiert. An diesen befinden sich Mitnehmer die in am Schlitten montierte Führungsbahnen eingreifen. Je nach Lage der Führungsbahn wird somit nur eine Komponente der Rotationsbewegung auf den Schlitten übertragen. Da die Führungsbahnen für die beiden Motoren im  $90^\circ$  Winkel zueinander angeordnet sind, kann wieder die gewünschte zweiachsige Bewegung erzeugt werden. Dabei sind dennoch beide Bewegungen voneinander vollkommen unabhängig und können den Bedürfnissen entsprechend angepasst werden.

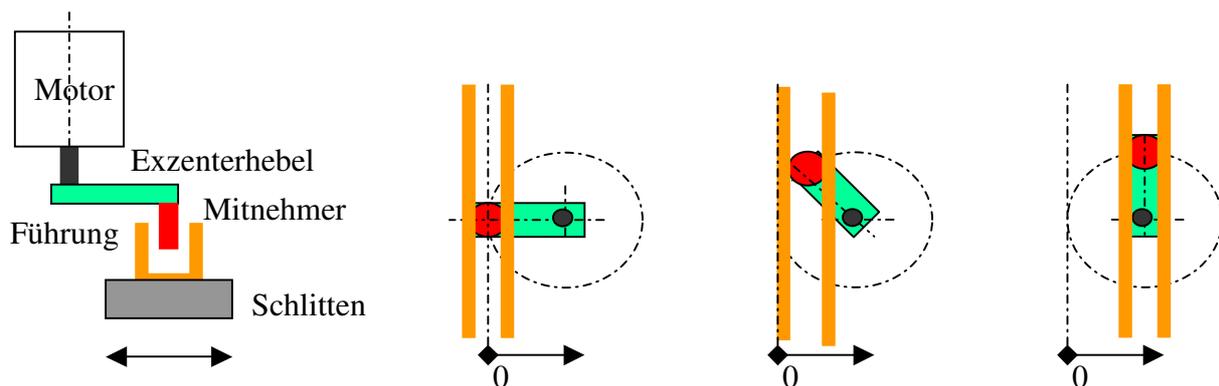


Abb. 9: Umsetzung der Bewegung

Die beiden Führungsbahnen sind auf einer zusätzlichen Platte am Schlitten hinter den Lagerblöcken für die Aufnahme der Zahnbürste montiert. Die Führungsbahnen bestehen aus Aluminium- U- Profilen.

Die Längen der Exzenterhebel sind auf die jeweils angestrebten Auslenkungen des Schlittens in der betreffenden Richtung ausgelegt und unterscheiden sich demnach stark. Beide Hebel können zudem in Ihrer Länge zur Feineinstellung der Bewegungen noch leicht verändert werden.

### 3.1.4 Einheit zur Aufnahme der Zähne

Die simulierte Zahnreihe besteht aus vier Frasacozähnen die paarweise im 90° - Winkel zueinander angeordnet sind. Die Anordnung der Zähne erfolgt dabei so, dass die bukkalen und okklusalen Zahnflächen der Paare exakt in einer Linie und Höhe liegen. Somit werden bei einer geradlinigen Bewegung der Zahnbürste jeweils zwei okklusale Flächen und zwei bukkale Flächen geputzt.

Die Zähne sind in einem L- förmigen PMMA- Block in Bohrungen eingesteckt. Nach dem exakten Ausrichten der Zähne zueinander wurden diese dauerhaft in den Kunststoffblock eingeklebt. Bei der Wahl der Materialien sowie des Klebstoffes wurde wiederum auf die Beständigkeit gegenüber den später eingesetzten Medien geachtet.

Der Aufnahmeblock ist in einer Kunststoffwanne befestigt, in welcher sich die Lösung aus destilliertem Wasser und Zahnpasta befindet.

Die gesamte Einheit aus dem Aufnahmeblock und der Kunststoffwanne ist auf einer Waage montiert.

Diese Waage dient als Anzeige zum Einstellen sowie zur Überwachung des Anpressdrucks zwischen der Zahnbürste und den Prüfzähnen. Die Ermittlung des Prüfdruckes mittels einer Waage hat sich bei den Versuchen als sehr zuverlässig erwiesen. Hierzu ist lediglich der Faktor für die Umrechnung der an der Waage angezeigten Gewichtseinheit Gramm in die gewünschte Einheit für die Kraft Newton erforderlich. Hierbei kann die Gewichtskraft über die folgende allgemeingültige Formel umgerechnet werden:

$$G = m \cdot g$$

mit:

$$G = \text{Gewichtskraft in N (1N = 1 } \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}\text{)}$$

$$m = \text{Masse in kg}$$

$$g = \text{Ortsfaktor; } g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Mit hinreichender Genauigkeit für den hier vorliegenden Versuch kann somit folgender Umrechnungswert angesetzt werden:

$$1\text{N} \approx 100\text{g}$$

Die Einstellung des Anpressdruckes erfolgt bei eingeschalteter Waage. Diese wird sobald die Einheit zur Aufnahme der Versuchszähne montiert sowie mit der Prüfflüssigkeit befüllt ist über die TARA- Funktion auf Null gesetzt. Erst danach wird der Kopf der Zahnbürste auf die Zahnreihe abgesenkt. Mittels Stellschraube (siehe vorhergehender Abschnitt) wird nun der Anpressdruck solange erhöht, bis dieser dem gewünschten Wert entspricht.

### 3.2 Verwendete elektrische Zahnbürsten und Bürstenköpfe



Oral B Professional Care 1000 mit Oral B Precision Clean Bürstenkopf  
(ca.70€)



Oral B Vitality D 12013 mit Oral B Precision Clean Bürstenkopf  
(ca. 20€)



Philips Sonicare HX6711/02 mit Philips Sonicare ProResults Bürstenkopf  
(ca.70€)

### 3.2.1 Oral B Professional Care 1000

- a. INDICATOR Aufsteckbürste: Bei täglich zweimaligem Putzen, jeweils zwei Minuten, wird die blaue Farbe der Borsten in 3 - 4 Monaten bis auf die Hälfte zurückgehen.  
Dann muss die Aufsteckbürste erneuert werden.
- b. Schalter: mit einer niedrigen Geschwindigkeitsstufe für empfindliche Mund-Bereiche
  - Schalter drücken: normale Geschwindigkeit
  - Schalter nochmals drücken: niedrige Geschwindigkeit
  - Schalter erneut drücken: ausschalten
- c. Handstück
- d. Ladekontroll- Lampe
- e. Ladeteil
- f. Roll- Stopp
- g. Gerätehalter

#### Putzsystem

3D mit 8800 Rotationen/ min und 40 000 pulsierende Vor- und Rückbewegungen/ min.

#### Merkmale des Bürstenkopfes precision clean

Der Bürstenkopf kann um ca. 45° nach beiden Seiten rotieren und hat einen runden Durchmesser von ca. 13,3mm.

Er besteht aus 26 Borstenbüscheln mit jeweils 60 Filamenten, zwei zentrale Borstenbüschel von einer Innenreihe mit zehn Büscheln und einer Außenreihe mit 14 Borstenbüscheln.

Sechs Büschel der äußeren Reihe sind mit 8,3mm länger als die übrigen 20 Borstenbüschel der äußeren, mittleren und inneren Reihe mit 7,2mm. Sechs Büschel der Außenreihe und vier der mittleren Reihe dienen als Indikatorborsten.

## Empfehlung des Herstellers

Oral B Professional Care 1000 wurde zur täglichen Zahnpflege und Plaque Entfernung entwickelt.

Bei der 3D- Putzbewegung werden sanft pulsierende Vor- und Rückwärts-Bewegungen mit ultraschnellen Seitwärtsbewegungen kombiniert.

## Anschließen und Laden

Das Ladeteil wird an die Netzspannung angeschlossen, das Handstück auf das Ladeteil gesetzt.

Die Ladekontrolllampe blinkt wenn das Handstück geladen wird und leuchtet permanent wenn das Handstück nach mindestens 16 Stunden voll geladen ist.

Die Bürste zeigt mit rotem Licht an, wann der Anpressdruck zu hoch ist. Das Signal zeigt sich bei ca. 200g.

Die Betriebsdauer beträgt ca. 45 Minuten.

Ein Überladen ist nicht möglich. Somit kann das Handstück bei täglichem Gebrauch auf dem angeschlossenen Ladeteil stehen.

## Akku-Pflege

Das Gerät enthält einen Nickel-Hybrid Akku.

Um eine maximale Kapazität des Akkus zu erhalten, sollte das Ladeteil mindestens alle sechs Monate vom Netz getrennt und durch reguläre Benutzung entladen werden.

## Anwendungshinweise

Es kann jede Zahnpasta verwendet werden.

Die Bürste sollte langsam von Zahn zu Zahn geführt werden und einige Sekunden auf der Zahnfläche verweilen.

Die Bürste über Zähne und Zahnfleisch führen. Mit den Außenflächen beginnend über die Innenflächen und schließlich die Kauflächen.

Die Bürste sollte nicht fest aufgedrückt werden, da das Gerät automatisch für die richtige Putzbewegung sorgt.

Der eingebaute Professional Timer ermöglicht ein systematisches Putzen. Quadrant für Quadrant.

Nach jeweils 30 Sekunden wird akustisch und durch Einstellen der Bürstenbewegung mitgeteilt, dass der nächste Quadrant aufgesucht werden sollte.

Nach zwei Minuten - die empfohlene Putzzeit - erfolgt ein längeres Putzzeitensignal.

Bei dafür disponiertem Zahnfleisch kann es anfänglich zu leichtem Zahnfleischbluten kommen. Falls dies länger als zwei Wochen anhält sollte ein Zahnarzt aufgesucht werden.

### 3.2.2 Oral B Vitality

(aufgeführt werden nur Abweichungen zu den Angaben der Oral B Professional Care)

- a. Aufsteckbürste: Oral B Sensitive, Oral B PrecisionClean, Oral B ProBright, Oral B DualClean

Die Bürstenköpfe sollten nach 3 Monaten, oder wenn die Farbe der Indikatorborsten bis auf die Hälfte zurückgegangen ist, ausgetauscht werden.

- b. Ein- / Aus- Schalter
- c. Handstück
- d. Ladeteil

## Putzsystem

2D mit 7 600 Rotationen/ min

## Anschließen und Laden

Nach 16 Stunden ist der Akku voll aufgeladen. Die Betriebsdauer des Handstückes beträgt dann ca. 20 Minuten.

### 3.2.3 Philips Sonicare

- a. Bürstenkopf: Es sollten keine Bürstenköpfe mit abgeknickten oder zerdrückten Borsten verwendet und spätestens nach 3 Monaten ausgetauscht werden.
- b. Handstück
- c. Ein- / Aus- Schalter
- d. Putzmodi: clean, sensitive, clean and white
- e. Ladeanzeige

## Putzsystem

Schallzahnbürste mit Schwingungen von ca. 260Hz

## Merkmale des Bürstenkopfes ProResults

Länglicher Bürstenkopf auf dem bei einer Länge von 25mm 32 Büschel aufgestellt sind. Vom Bürstenkopfe mit zwei Büscheln beginnend, gefolgt von zwei Reihen mit jeweils drei Borstenbüscheln und schließlich mittig zwei Reihen mit je vier Büscheln. Dann wiederholt sich die Aufteilung bis zum Kopfanfang.

Die längsten Borsten befinden sich außen mit 11mm, die kürzesten sind 6mm lang.  
Innerhalb eines Büschels befinden sich unterschiedlich lange Filamente.  
Die äußeren dreireihig aufgestellten Borstenbüschel dienen als Indikatorborsten.

## Anschließen und Laden

Kontinuierlich leuchtendes grünes Licht bei einem Ladestand von 50- 100%.

Blinkendes grünes Licht bei weniger als 50%.

Wenn der Akku fast leer ist, werden nach Ablauf der Putzzeit drei Signaltöne abgegeben und die Akkuladestandsanzeige blinkt 30 Sek. lang.

Bei Nichtgebrauch sollte die Sonicare im Ladegerät aufbewahrt werden.

Ein vollständiges Aufladen des Akkus dauert 24 Stunden.

## Benutzung

Die Borsten des Bürstenkopfes sollten in einem leichten Winkel zum Zahnfleischsaum und mit geringem Druck auf die Zähne gesetzt werden.

Der Bürstenkopf muss mit langsamen Vor- und Rückbewegungen so über die Zähne geführt werden, dass die längeren Borsten in die Zahnzwischenräume gelangen.

Die Zahnbürste wird nach zwei Minuten automatisch ausgeschaltet.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Allgemeiner Versuchsablauf

Ausgegangen wird von der standardisierten Angabe das ein Putzvorgang zwei Minuten dauern sollte und dies zweimal pro Tag.

Zunächst wurde untersucht wie sich bei den verschiedenen Modellen die angegebene Austauschfrist der Bürstenköpfe von ca. drei Monaten auf das Borstenfeld auswirkt.

Dabei wurde auch darauf geachtet ob sich die Akkuleistung verändert.

Umrechnung der 3 Monate in Minuten:

Pro Tag  $2 \times 2 \text{min} = 4 \text{min}$

Pro Woche  $7 \text{Tage} \times 4 \text{min} = 28 \text{min}$

$12 \text{Wochen} \times 28 \text{min} = 336 \text{min}$

Die maximale Laufzeit eines Bürstenkopfes entspricht demnach ca. 336 min.

### Auswertung

Die Ergebnisse wurden mit Hilfe einer Canon EOS 1000D festgehalten und makroskopisch beurteilt.

Anschließend wurden einige Bürstenkopfbereiche mit dem Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) untersucht und Materialanalysen mit Hilfe der Energiedispersiven Röntgenspektrometrie (EDX) durchgeführt.

## ESEM (Environmental Scanning Electron Microscope)

Bei dem hier verwendeten Elektronenmikroskop handelt es sich um den Typ XL 30 ESEM der Firma Fei.

Es ist eine Vergrößerung von Proben aller Art möglich - leitende, nicht leitende, nasse und biologische Proben.

Eine leitende Beschichtung nicht leitender Proben ist nicht notwendig. Die Probenkammer steht nicht unter einem Hochvakuum, sondern um die Probe herum befindet sich ein Gas (Wasserdampf, Stickstoff oder Luft.)

## BSE (Back Scattering Electron)

Das Gerät befindet sich im normalen Aufnahmemodus. Das Elektron wird von der Probe an den BSE Detektor geschleudert.

## GSE (Gaseous Secondary Electron)

In diesem Modus werden Elektronen aus der Probenoberfläche herausgebrochen und an den GSE Detektor geworfen.

Mit dieser Aufnahme lassen sich Topographien gut erfassen.

## EDX (Energie Dispersive X-Ray Spectrometre)

Mit dieser Analyse ist die qualitative Bestimmung von Elementen in Proben möglich.

## 4.2 Ergebnisse der Einzelversuche

### 4.2.1 Oral B Vitality

Es wurden acht Versuchsdurchläufe benötigt, um die angegebene Höchstlaufzeit zu erreichen. Dabei lagen die einzelnen Durchläufe teilweise weit über der vom Hersteller angegebenen max. Laufzeit von 20 min.

Es wurde darauf geachtet, dass das Handstück nach jedem Entladen wieder die volle empfohlene Aufladezeit erreichte.

Die ersten drei Versuchsdurchläufe unterschieden sich deutlich von den folgenden fünf Durchläufen.

Nach drei Abläufen konnte der Akku des Handstücks nicht mehr aufgeladen werden und Ladegerät und Handstück wurden erneuert.

Nach acht Versuchsdurchläufen wurde die max. empfohlene Putzzeit von 3 Monaten erreicht.

### Verschleißerscheinungen des Bürstenkopfes (makroskopisch)

Bei den Versuchen wurde festgestellt, dass die blauen Indikatorborsten sowohl in erster als auch in zweiter Reihe über die Hälfte entfärbt waren. Außerdem war ein V-förmiges Aufspießen in der äußeren Reihe der Indikatorborsten zu erkennen. Die einreihigen äußeren weißen Borsten wirkten nur leicht verdrückt.

Die inneren grünen Borsten sind nicht mehr rund angeordnet sondern unruhig aufgestellt.

Dieses Abnutzungsbild konnte schon nach sechs Versuchsabläufen mit ca. 280 min. beobachtet werden. Daher wurden alle weiteren Versuchsreihen auf ca. 280 min. ausgelegt.

Erhebliche Zeitunterschiede zwischen den einzelnen Versuchen waren selten festzustellen.



*Abb. 10: 1. Bürstenkopf Vitality*



*Abb. 11: 2. Bürstenkopf Vitality*





*Abb. 12: 3. Bürstenkopf Vitality*



*Abb. 13: 4. Bürstenkopf Vitality*



Abb. 14: 5. Bürstenkopf Vitality

## Verschleißerscheinungen des Bürstenkopfes (rasterelektronenmikroskopisch)

Ausgewählt wurden zwei gebrauchte Bürstenköpfe mit einer Nutzungszeit von ca. 280 Minuten. Das untersuchte Areal befindet sich am Bürstenkopfe im äußeren Borstenreihenbereich und wurde bei allen Proben gleich gewählt

Es wurde 32- und 65- fache Vergrößerung gewählt im Back Scattering Electron (BSE) Modus.

Die Borstenenden sind bei Probe 1 und 2 einheitlich abgeflacht, allerdings ohne scharfkantigen Übergang. An den einzelnen Filamenten sind Zahnpastareste erkennbar. Aufladungen mit Elektronen sind am Kopfe als helles Areal sichtbar und weisen auf einen eher flächenartigen Verlauf hin.

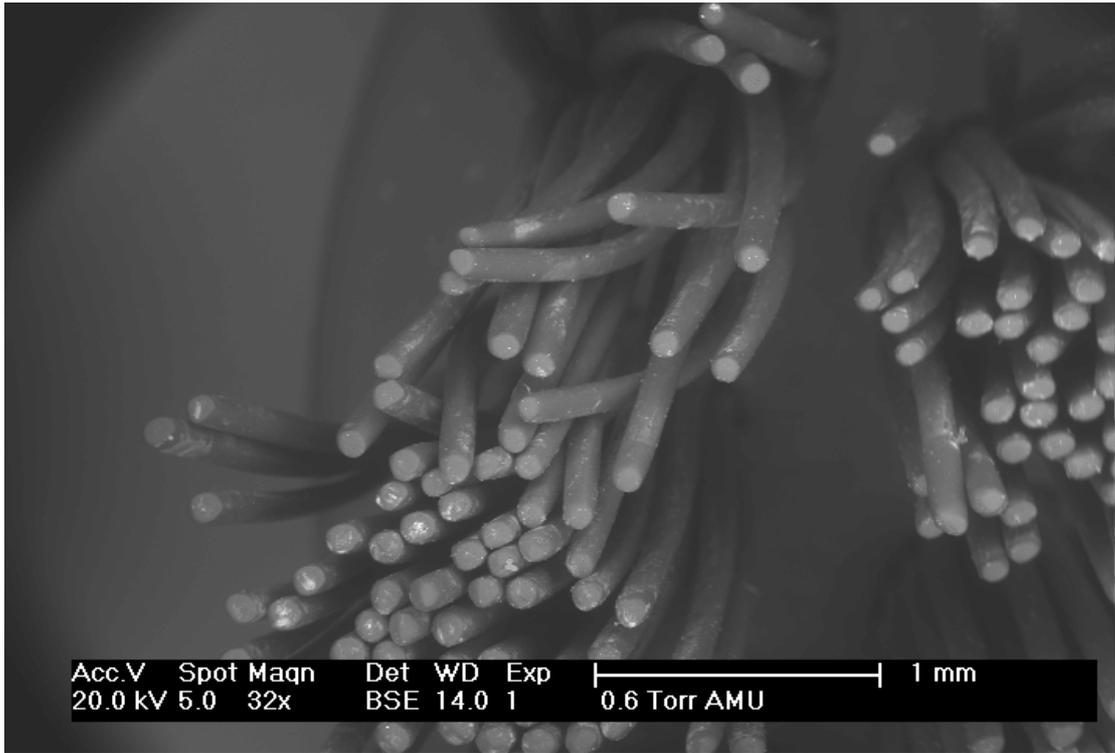


Abb. 15: Vitality - Probe 1; 32- fache Vergrößerung

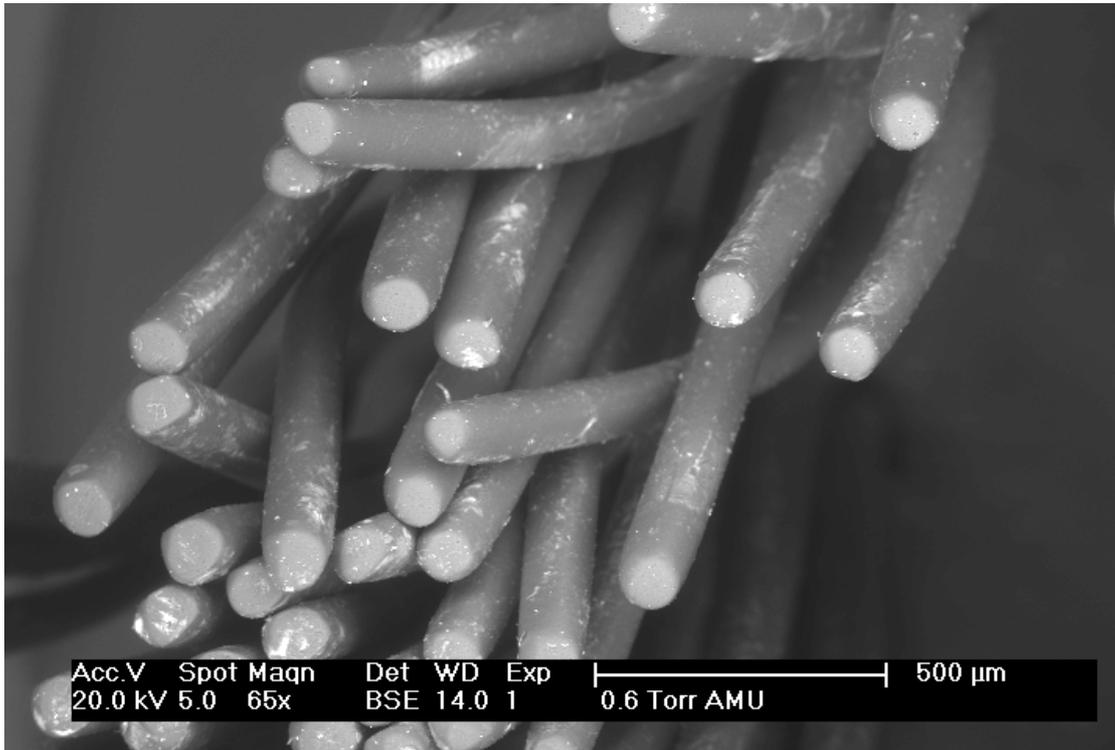


Abb. 16: Vitality - Probe 1; 65- fache Vergrößerung

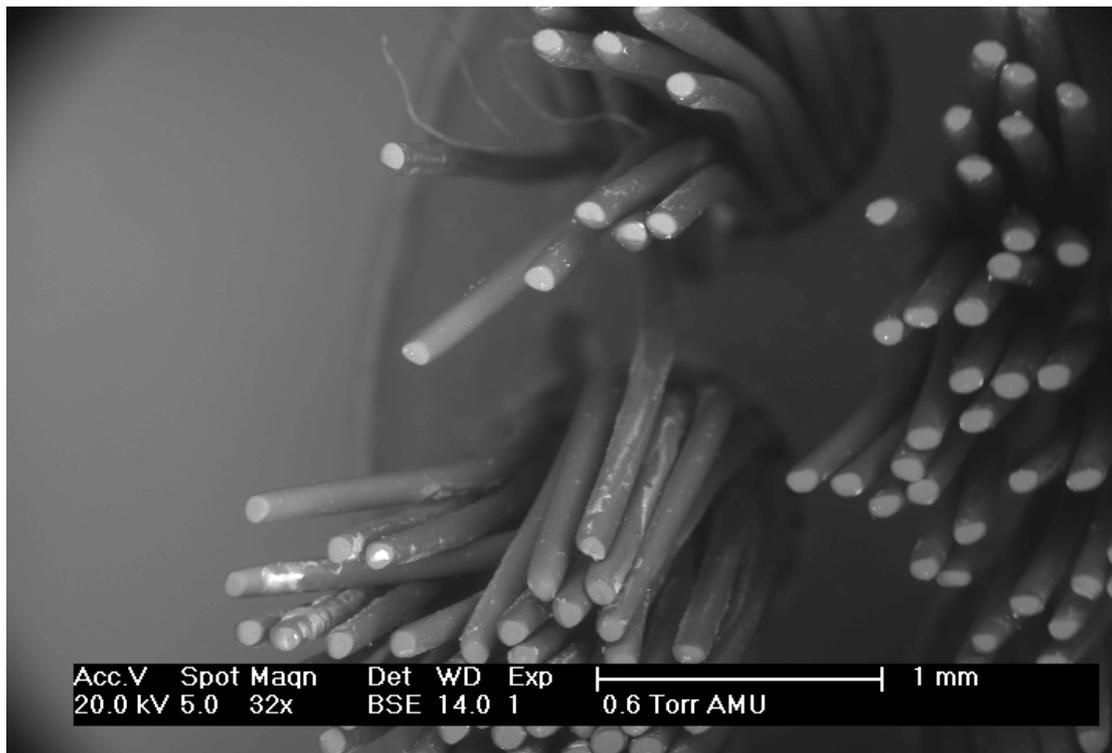


Abb. 17: Vitality - Probe 2; 32- fache Vergrößerung

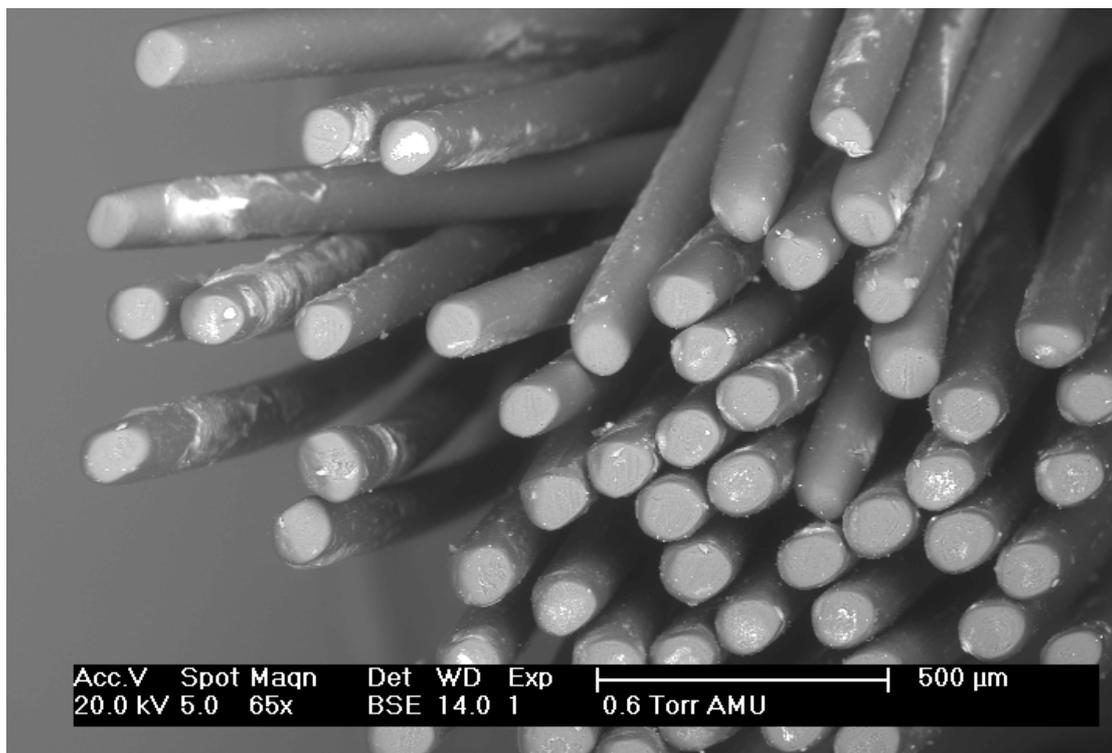


Abb. 18: Vitality - Probe 2; 65- fache Vergrößerung

## EDX- Auswertung

Die EDX- Auswertung zur Elementanalyse des Borstenkunststoffes zeigt den deutlichsten Peak bei Kohlenstoff. Aber auch Sauerstoff, Silizium und Natrium weisen Peaks auf.

Label A:

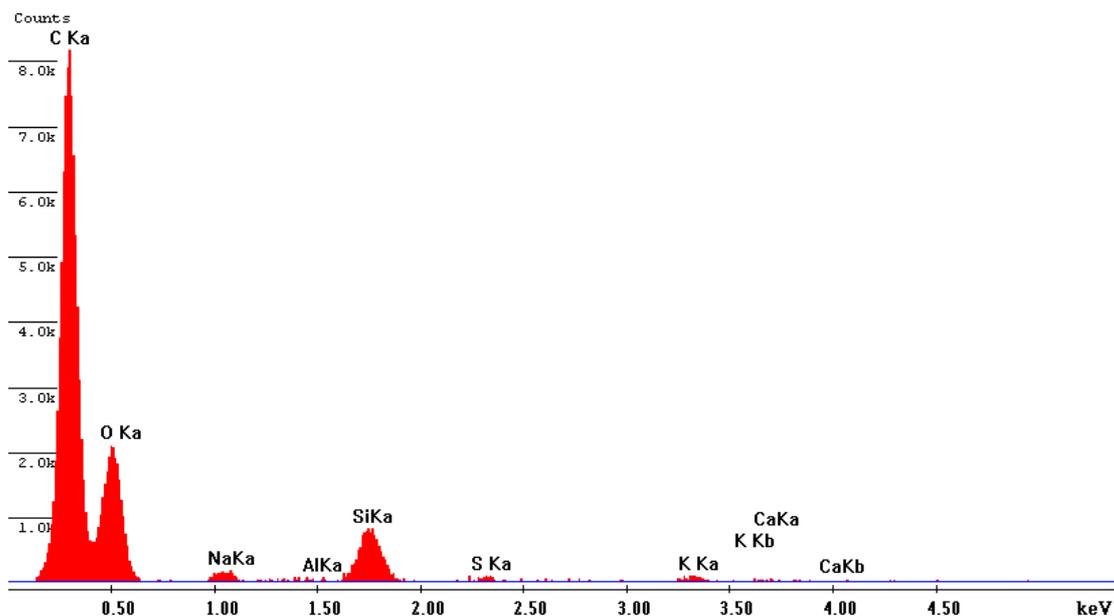


Abb. 19: Elementanalyse Borstenkunststoff Vitality

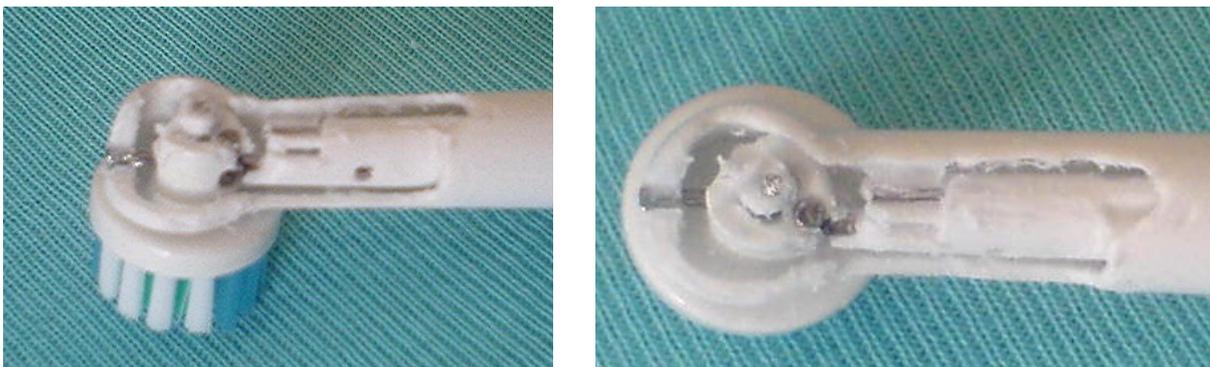
## Verschleißerscheinungen des Akkus

Durchschnittlich zwei Minuten vor Akkuentladung konnte durch ein leiseres Handstückgeräusch festgestellt werden, dass die Akkuleistung verringert war. Daraufhin stoppte der Putzvorgang und konnte auch nicht mehr durch Drücken des Ein- Schalters verlängert werden.



*Abb. 20: Bürstenkopfrückseite mit Austritt  
bräunlicher Schaum*

Des Weiteren ist aufgefallen, dass sich bei einigen Bürsten an der Bürstenkopf Rückseite ein bräunlicher Schaum gebildet hat, der bei einigen Modellen nur leicht sichtbar war, bei anderen wiederum als deutlich braune Wolke aus dem Bürstenkopfgehäuse hervortrat.



*Abb. 21: Aufgefräste Bürstenkopfrückseite*

Anhand der sichtbaren Mechanik konnte nicht nachvollzogen werden, woher die Verfärbung stammt.

## Versuchsreihen

Tab.1: Übersicht Versuchslaufzeiten Vitality in Minuten

| Versuchslaufzeit | Bürstenkopf 1 | Bürstenkopf 2 | Bürstenkopf 3 | Bürstenkopf 4 | Bürstenkopf 5 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Versuch 1        | 31            | 47            | 43            | 47            | 48            |
| Versuch 2        | 36            | 43            | 47            | 46            | 47            |
| Versuch 3        | 33            | 50            | 48            | 47            | 47            |
| Versuch 4        | 47            | 49            | 45            | 49            | 47            |
| Versuch 5        | 47            | 45            | 47            | 48            | 46            |
| Versuch 6        | 48            | 48            | 48            | 45            | 46            |
| Versuch 7        | 51            | -             | -             | -             | -             |
| Versuch 8        | 48            | -             | -             | -             | -             |
| Gesamtzeit       | 341           | 282           | 278           | 282           | 281           |

### 4.2.2 Oral B Professional Care

Es wurden neun Versuchsdurchläufe benötigt, um die max. Verwendbarkeit der Bürstenköpfe von ca. drei Monaten zu erreichen. Nach jedem Putzversuch wurde das Handstück wieder vollständig aufgeladen. Dabei blieben die Putzzeiten der einzelnen Versuche zum Teil deutlich unter den vom Hersteller beschriebenen 45 Minuten.

#### Verschleißerscheinungen des Bürstenkopfes (makroskopisch)

Nach dem neunten Versuchsdurchlauf des ersten Bürstenkopfes waren die blauen Indikatorborsten, v.a. der ersten Reihe, bis auf die Hälfte entfärbt. Außerdem zeigte sich nur eine leichte Aufdehnung des Verbundes. Die Borsten des weißen Abschnittes sind zum Teil deutlich aufgesplissen. Die inneren grünen Borsten weisen Anzeichen eines ersten Aufspleißens auf.

Dieser Grad der Abnutzung konnte ebenfalls schon bei ca. 280 Minuten festgestellt und dementsprechend die Versuchsdauer darauf ausgerichtet werden.

Auch bei diesem Modell konnte die Bildung des braunen Schaums an der Bürstenkopfrückseite beobachtet werden.



*Abb. 22: 1. Bürstenkopf Professional Care*



*Abb. 23: 2. Bürstenkopf Professional Care*



Abb. 24: 3. Bürstenkopf Professional Care



Abb. 25: 4. Bürstenkopf Professional Care

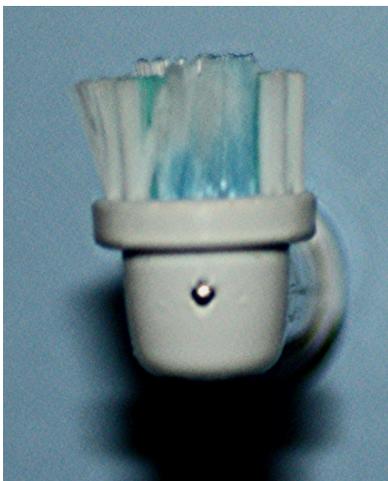


Abb. 26: 5. Bürstenkopf Professional Care

## Verschleißerscheinungen des Bürstenkopfes (rasterelektronenmikroskopisch)

Auch bei den beiden Proben der Prof. Care ist eine einheitliche Abflachung ohne allzu kantige Übergänge festzustellen. In der Bildmitte von Abb.27 und 28 erkennbar zwei schräg angeschnittene Filamente. Die Abbildung mit 350- facher Vergrößerung zeigt deutlich die plane Fläche der Borstenköpfe, welche durch die 200fache Vergrößerung der gaseous secondary electron(GSE) Aufnahme bestätigt wird.

Die unbenutzte Bürstenkopfprobe weist schon bei 65- facher Vergrößerung eine eindeutige Rundung der einzelnen Borstenenden auf. Erkennbar durch die dunkel werdende Schattierung in der Draufsicht und die geringe helle Fläche in der Mitte des Filaments. Die deutliche Abrundung wird mit der 350- fachen und der 200- fachen Vergrößerung der GSE Aufnahme bestätigt.

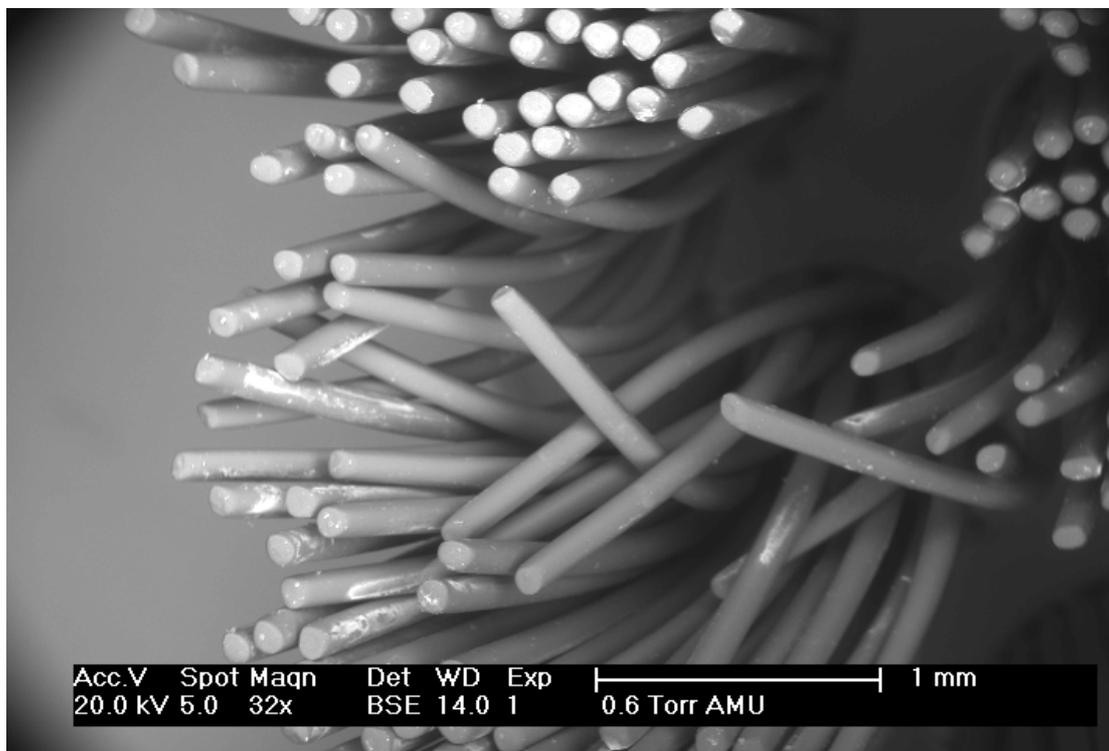
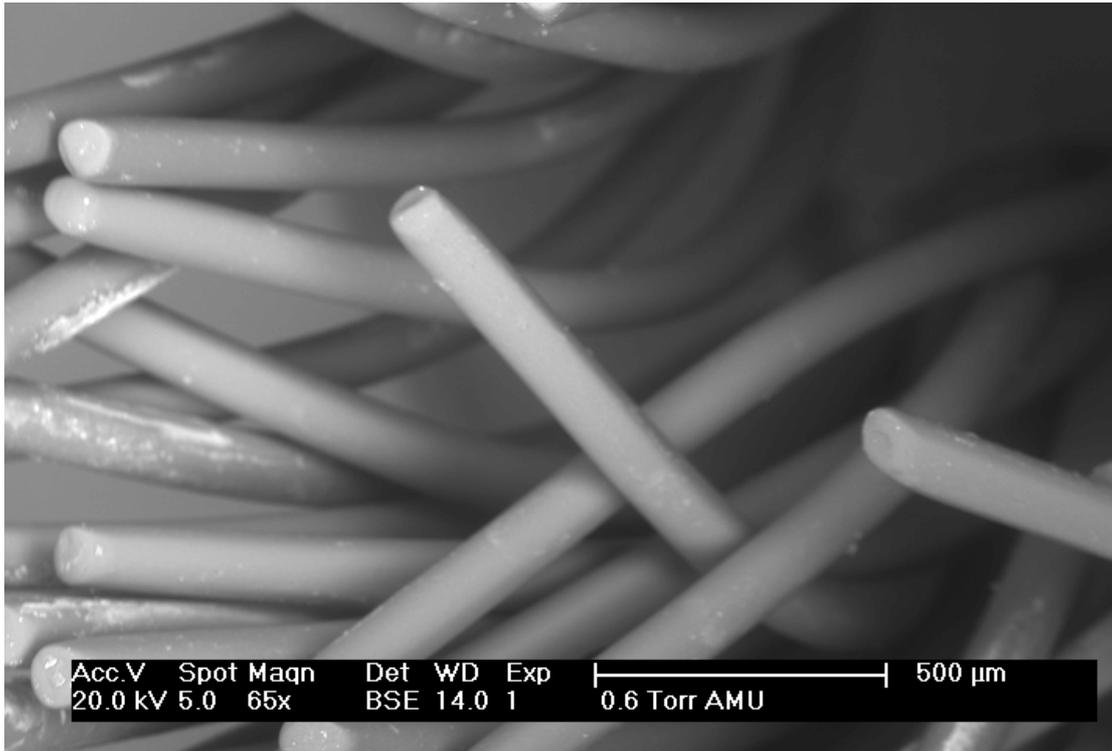
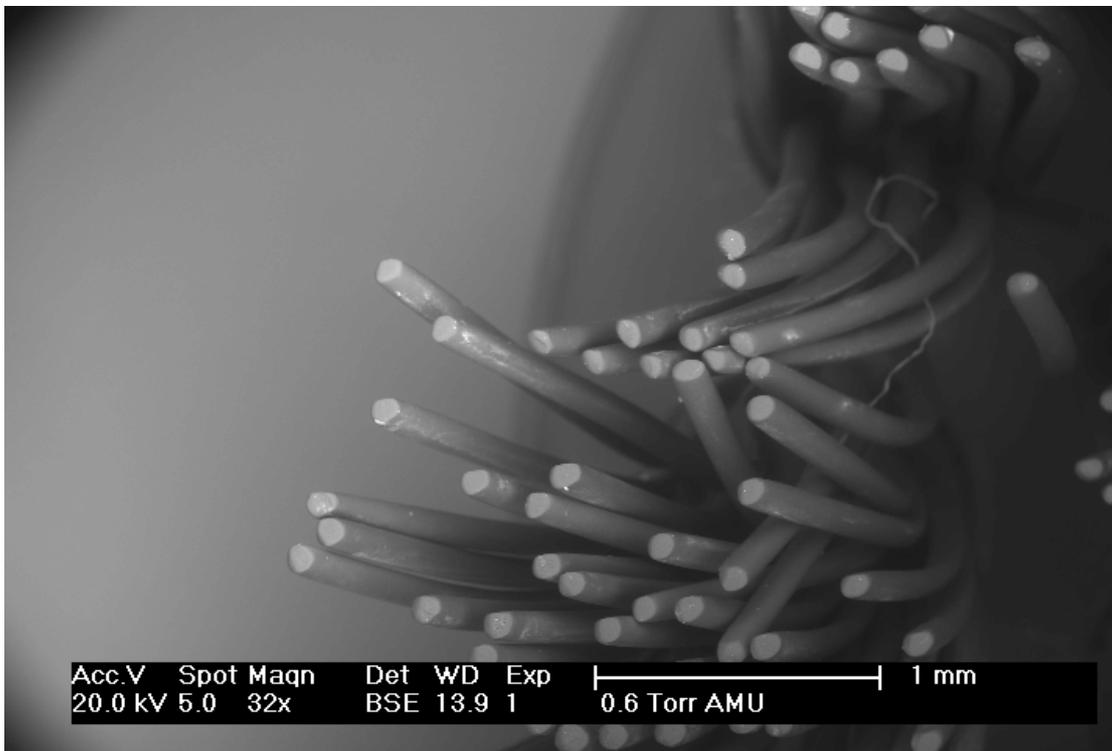


Abb. 27: Prof. Care - Probe 1; 32- fache Vergrößerung



*Abb. 28: Prof. Care - Probe 1; 65- fache Vergrößerung*



*Abb. 29: Prof. Care - Probe 2; 32- fache Vergrößerung*

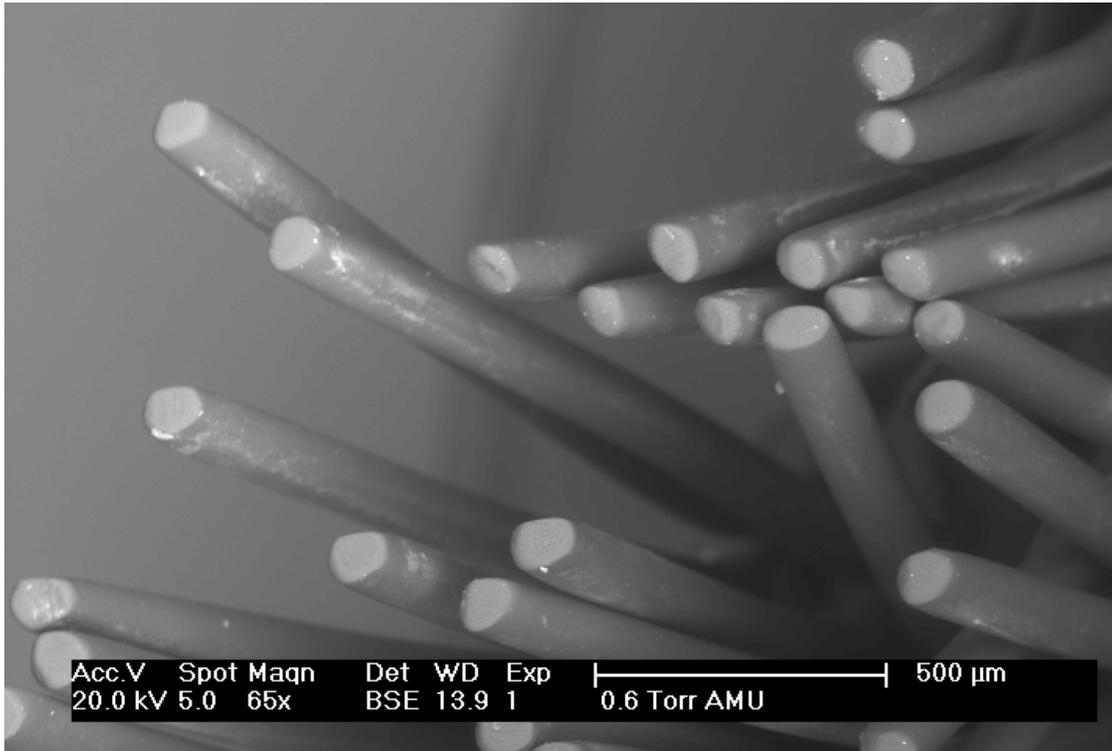


Abb. 30: Prof. Care - Probe 2; 65- fache Vergrößerung

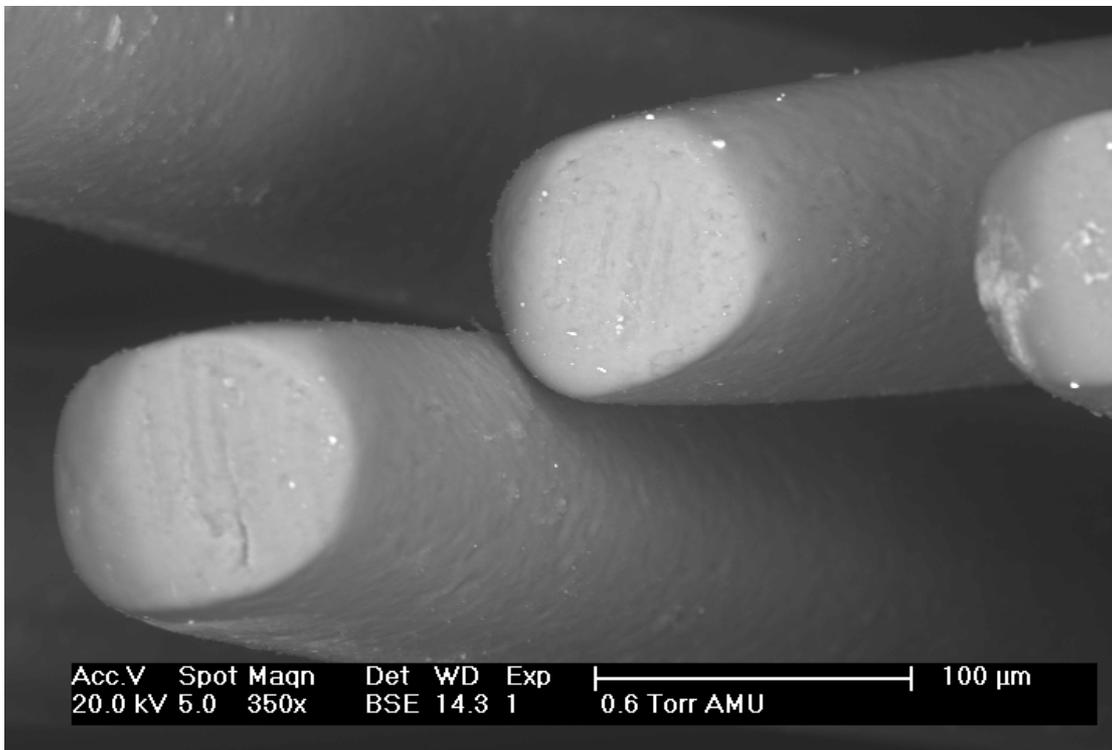


Abb. 31: Prof. Care - Probe 2; 350- fache Vergrößerung

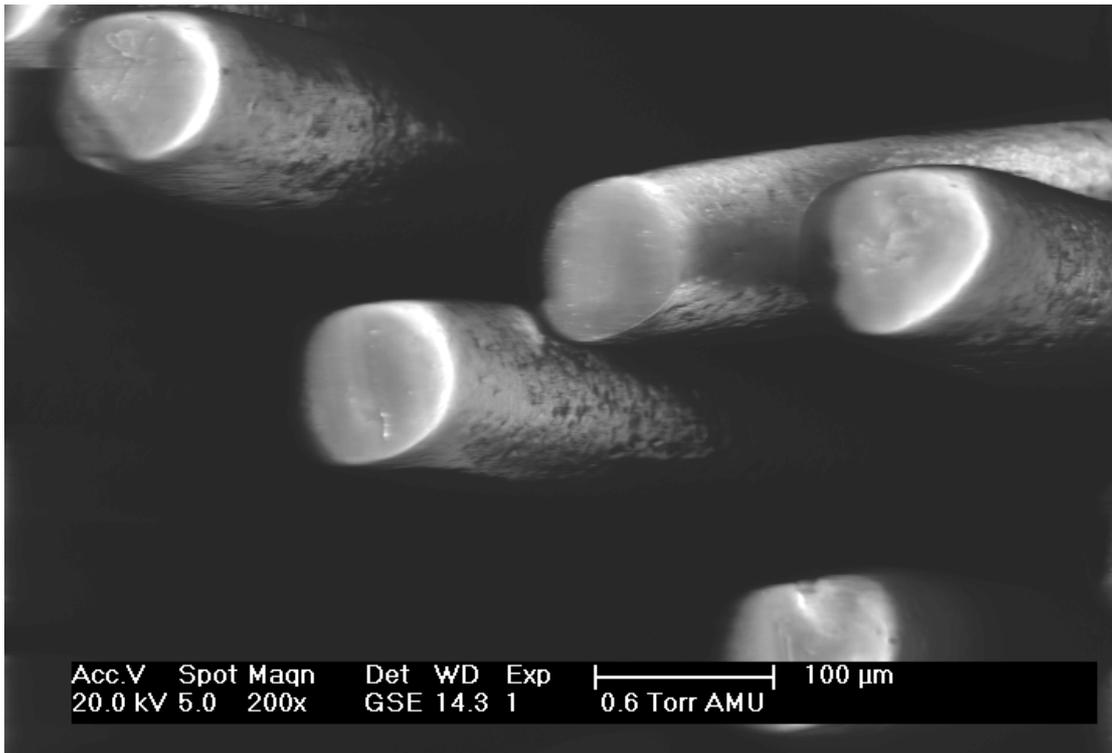


Abb. 32: Prof. Care - Probe 2; 200- fache Vergrößerung (GSE)

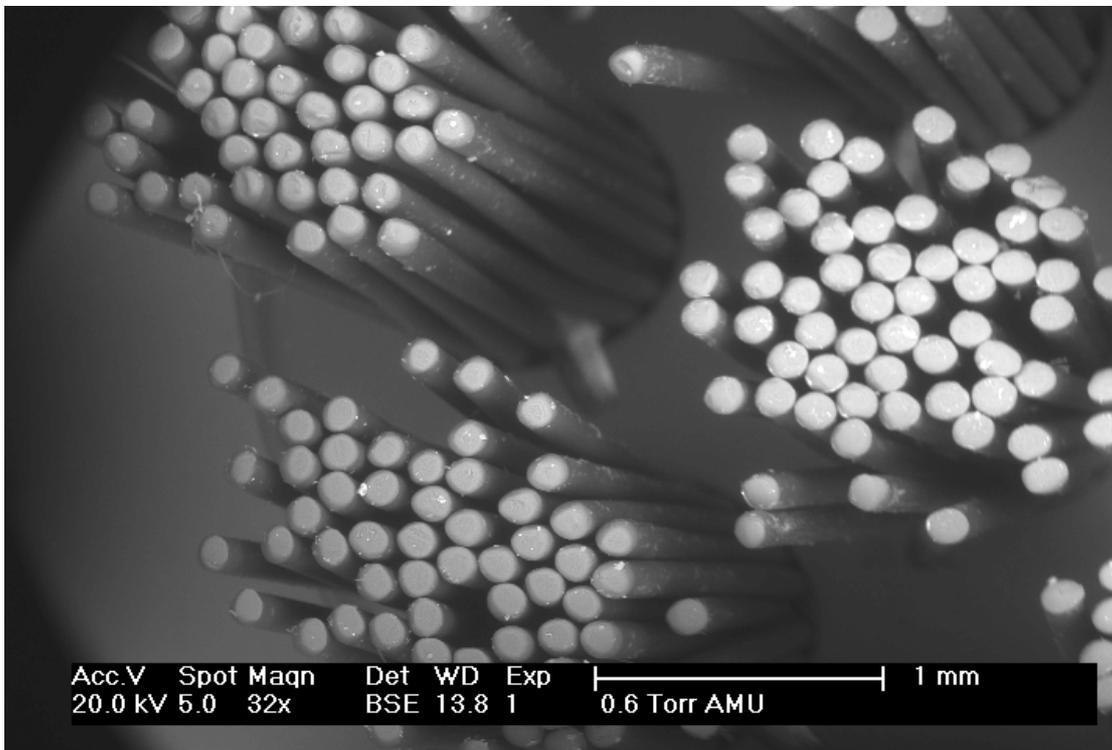
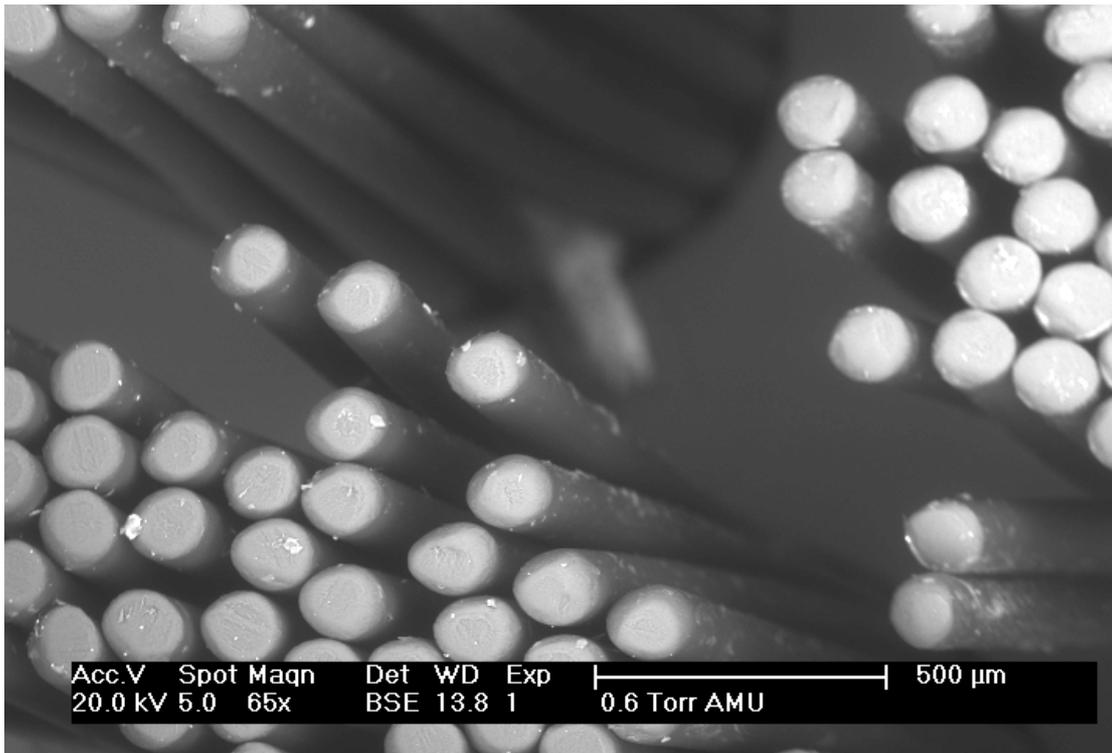
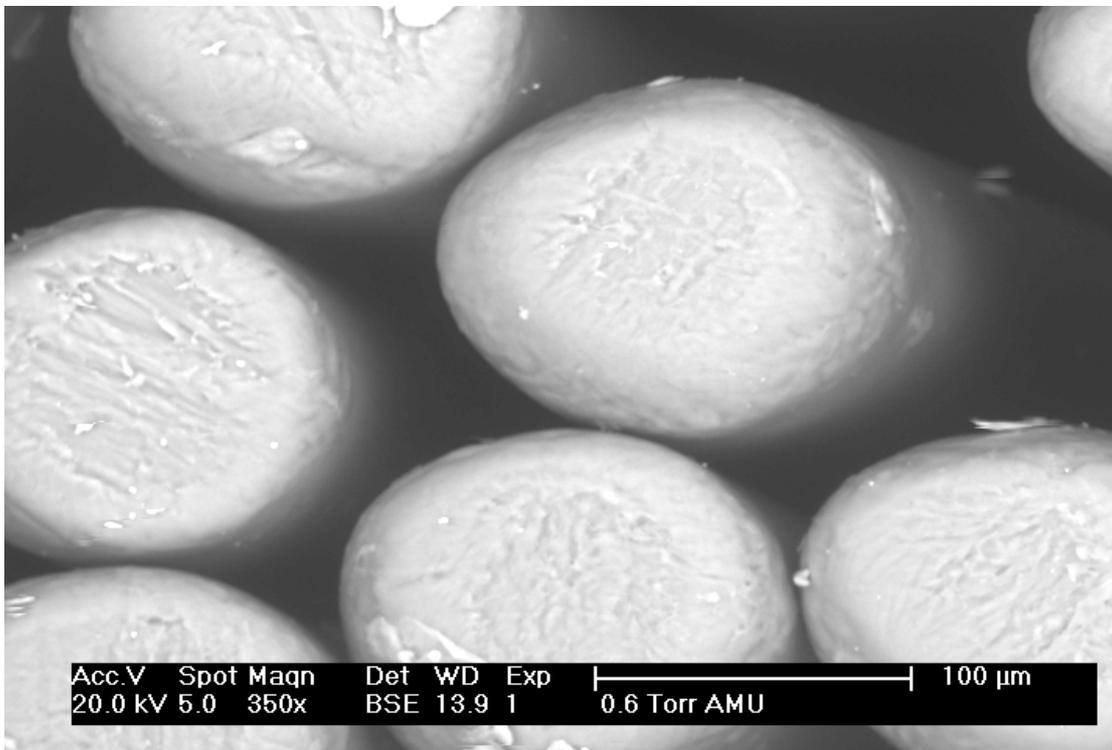


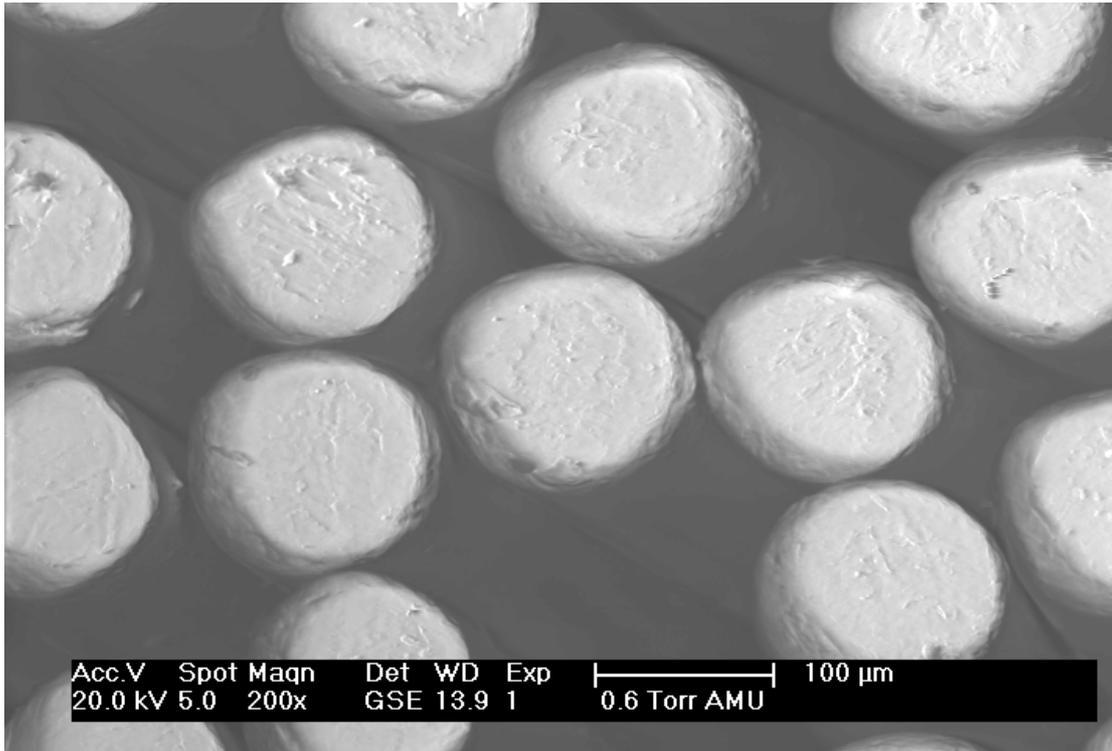
Abb. 33: Bürstenkopf ungebraucht; 32- fache Vergrößerung



*Abb. 34: Bürstenkopf ungebraucht; 65- fache Vergrößerung*



*Abb. 35: Bürstenkopf ungebraucht; 350- fache Vergrößerung*



*Abb. 36: Bürstenkopf ungebraucht; 200- fache Vergrößerung (GSE)*

## Verschleißerscheinungen des Akkus

Nach dem vierten Bürstenkopfwechsel musste das Modell umgetauscht werden, da die Anzeige für den Anpressdruck nicht mehr funktionierte.

Die mangelnde Kapazität des Akkus wurde ca. zwei Minuten vor Beendigung des Putzvorganges durch ein tieferes Geräusch angekündigt.

## Versuchsreihen

Tab.2: Übersicht Versuchslaufzeiten Professional Care in Minuten

| Versuchslaufzeit | Bürstenkopf 1 | Bürstenkopf 2 | Bürstenkopf 3 | Bürstenkopf 4 | Bürstenkopf 5 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Versuch 1        | 45            | 37            | 33            | 32            | 39            |
| Versuch 2        | 33            | 39            | 35            | 37            | 41            |
| Versuch 3        | 45            | 37            | 34            | 41            | 41            |
| Versuch 4        | 43            | 37            | 34            | 38            | 43            |
| Versuch 5        | 37            | 38            | 36            | 39            | 44            |
| Versuch 6        | 30            | 42            | 35            | 46            | 38            |
| Versuch 7        | 37            | 47            | 42            | 45            | 36            |
| Versuch 8        | 38            | -             | 32            | -             | -             |
| Versuch 9        | 37            | -             | -             | -             | -             |
| Gesamtzeit       | 345           | 277           | 281           | 278           | 282           |

### 4.2.3 Philips Sonicare

#### Versuchsablauf

Um die Borstenabnutzung dieses Modells in den Vergleich zu den Oral B Modellen stellen zu können, wurden die Versuchsdurchläufe auch auf ca. 340 und 280 Minuten festgelegt.

Nach dem Entladen des Akkus durch die Versuche wurde die empfohlene Ladedauer von 24h eingehalten.

Außerdem schaltet sich die Zahnbürste nach dem Putzvorgang von zwei Minuten aus und muss manuell, durch drücken des Ein- Schalters, wieder aktiviert werden. Die Zeit vom Ausschalten der Bürste bis zum erneuten betätigen des Schalters wurde auf max. drei Sekunden festgelegt und bei der Versuchsauswertung vernachlässigt.

#### Verschleißerscheinungen des Bürstenkopfes (makroskopisch)

Nach ca. dreimonatigem Einsatz sind die blauen Indikatorborsten fast vollständig entfärbt. Die zwei Borstenbüschel der ersten Reihe am Kopfende sind stark deformiert während die übrigen Borstenbüschel nur eine leichte Unordnung aufweisen.

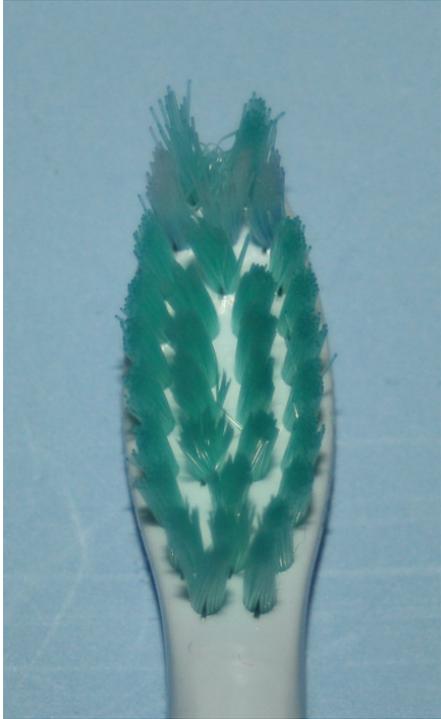
Nach 280 Minuten sind die Indikatorborsten bis über die Hälfte entfärbt und die Deformation der zwei Büschel am Kopfende nicht vollständig.



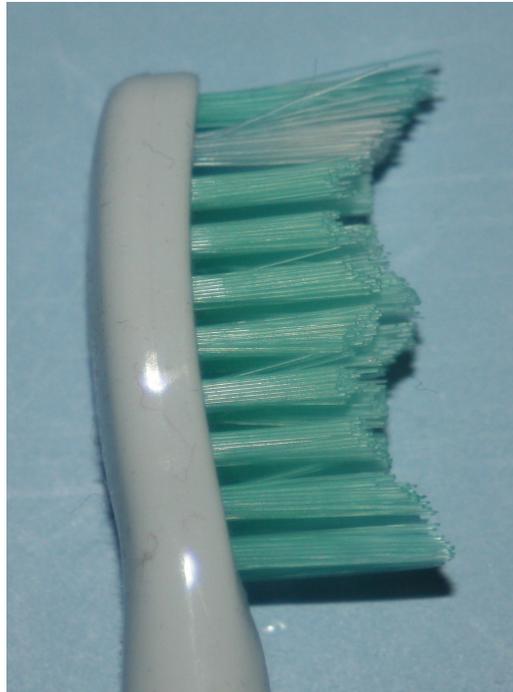
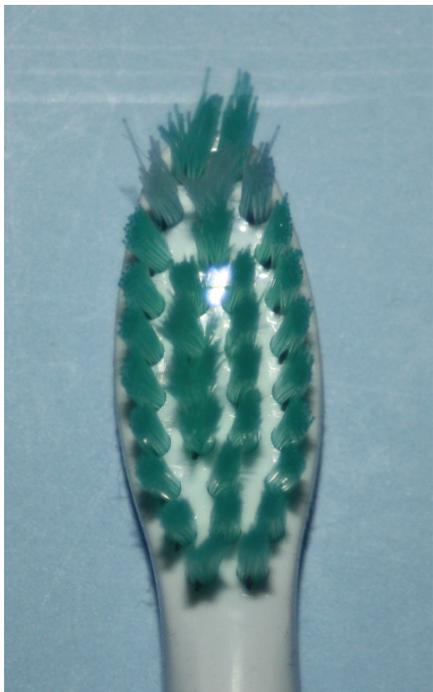
*Abb. 37: 1. Bürstenkopf Philips Sonicare*



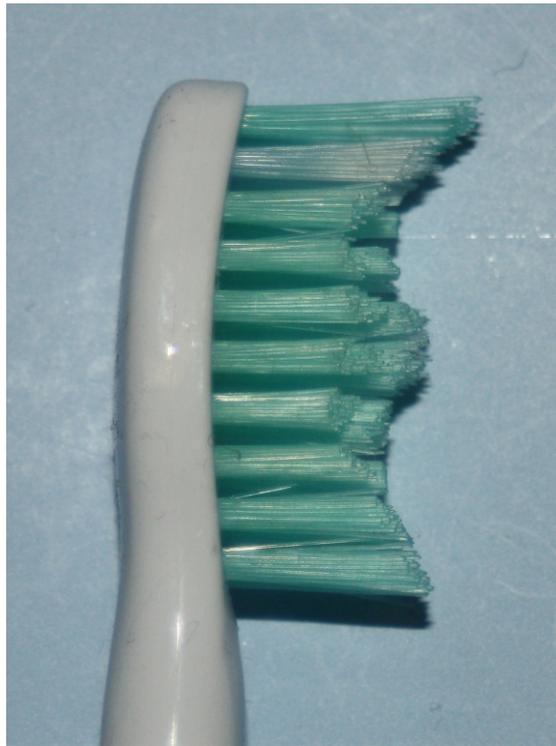
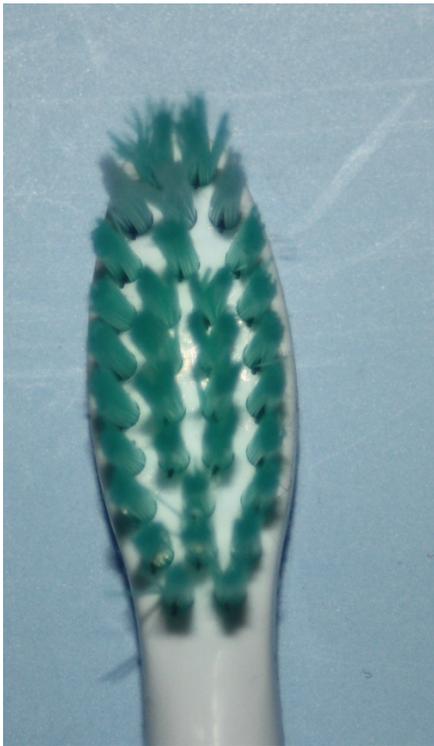
*Abb. 38: 2. Bürstenkopf Philips Sonicare*



*Abb. 39: 3. Bürstenkopf Philips Sonicare*



*Abb. 40: 4. Bürstenkopf Philips Sonicare*

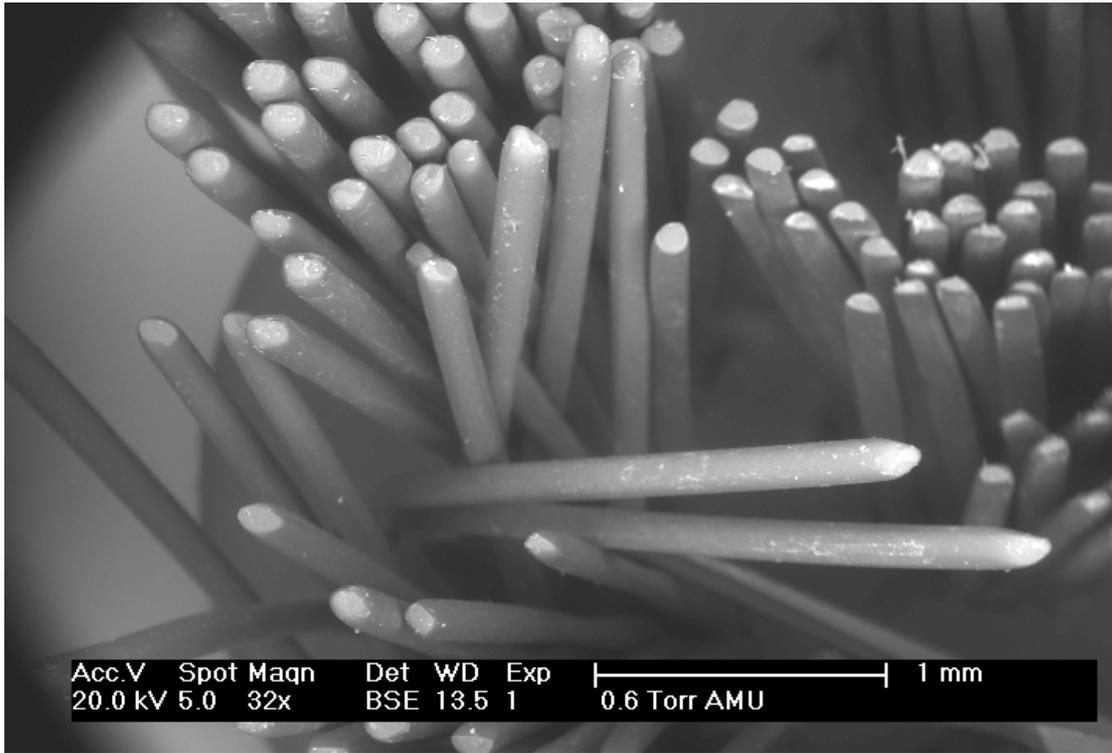


*Abb. 41: 5. Bürstenkopf Philips Sonicare*

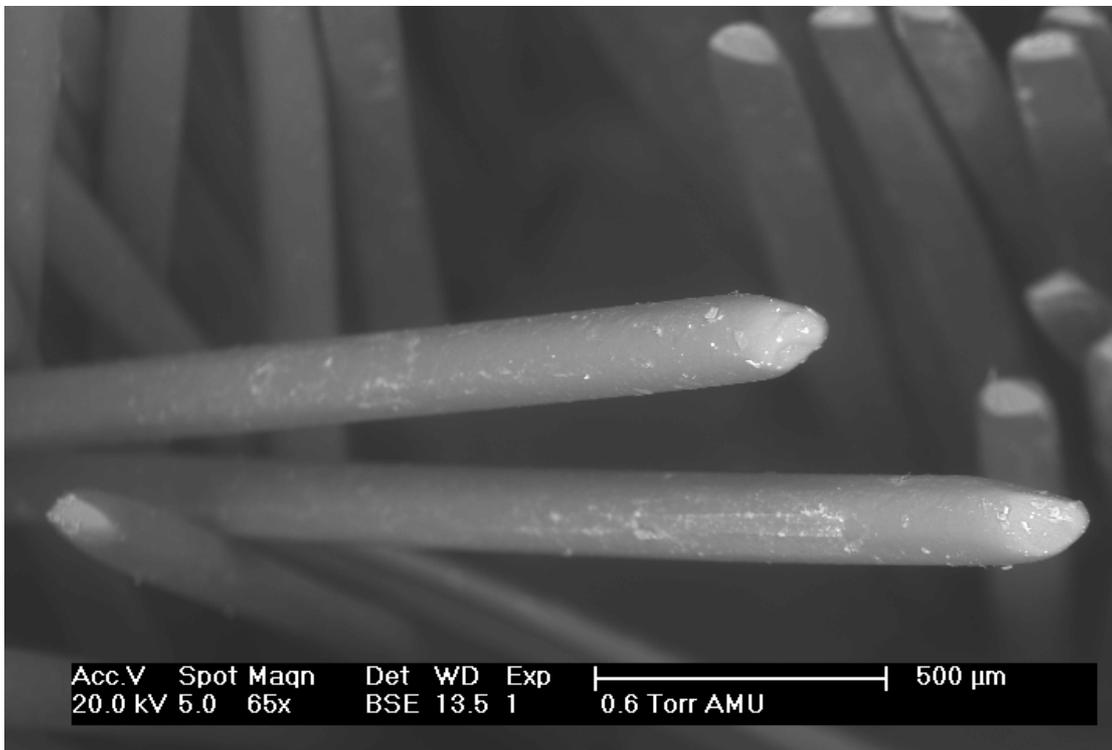
## Verschleißerscheinungen des Bürstenkopfes (rasterelektronenmikroskopisch)

Die Mehrheit der Borstenenden sind schräg angeschnitten, teilweise pfeilartig zulaufend (Abb. 43). Die 200fache GSE Aufnahme zeigt einen mehrheitlich kantigen Abfall der oberen Borstenfläche. Bei 350facher Vergrößerung mehrere Kunststoffspäne erkennbar.

Die Aufnahmen der ungebrauchten Probe zeigen auch bei den schräg zulaufenden Filamenten eine deutliche Abrundung. Auch sind immer wieder Kunststoffspäne erkennbar.



*Abb. 42: Sonicare - Probe 1; 32- fache Vergrößerung*



*Abb. 43: Sonicare - Probe 1; 65- fache Vergrößerung*

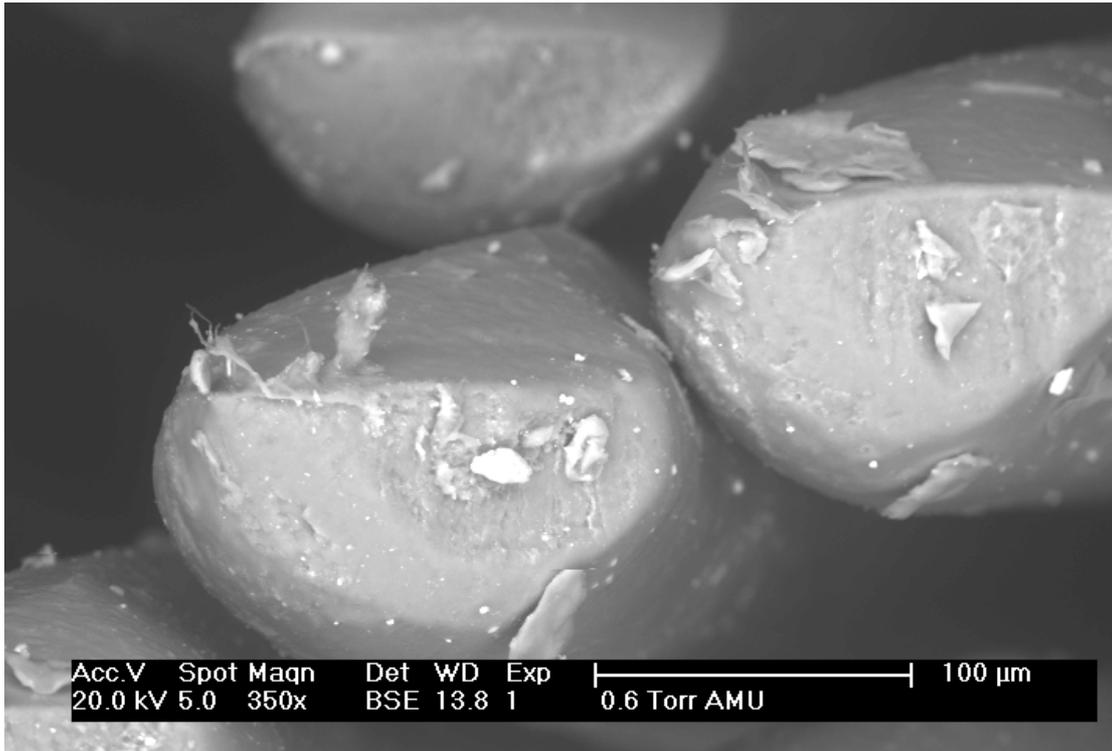


Abb. 44: Sonicare - Probe 1; 350- fache Vergrößerung

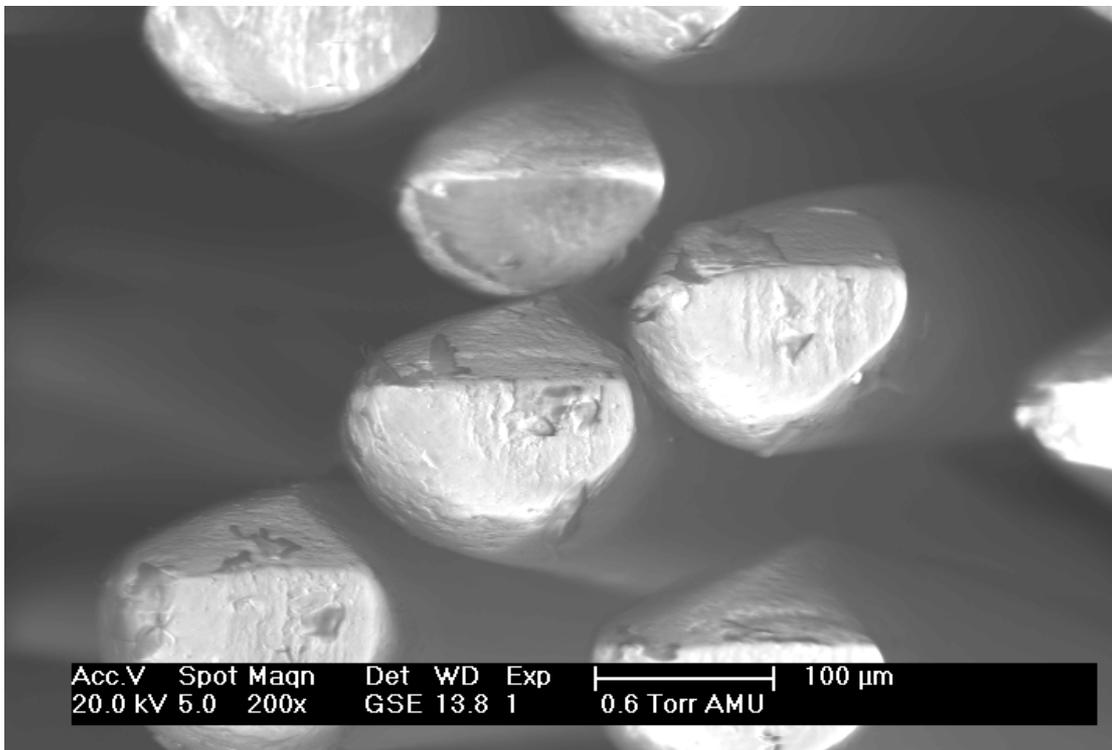


Abb. 45: Sonicare - Probe 1; 200- fache Vergrößerung (GSE)

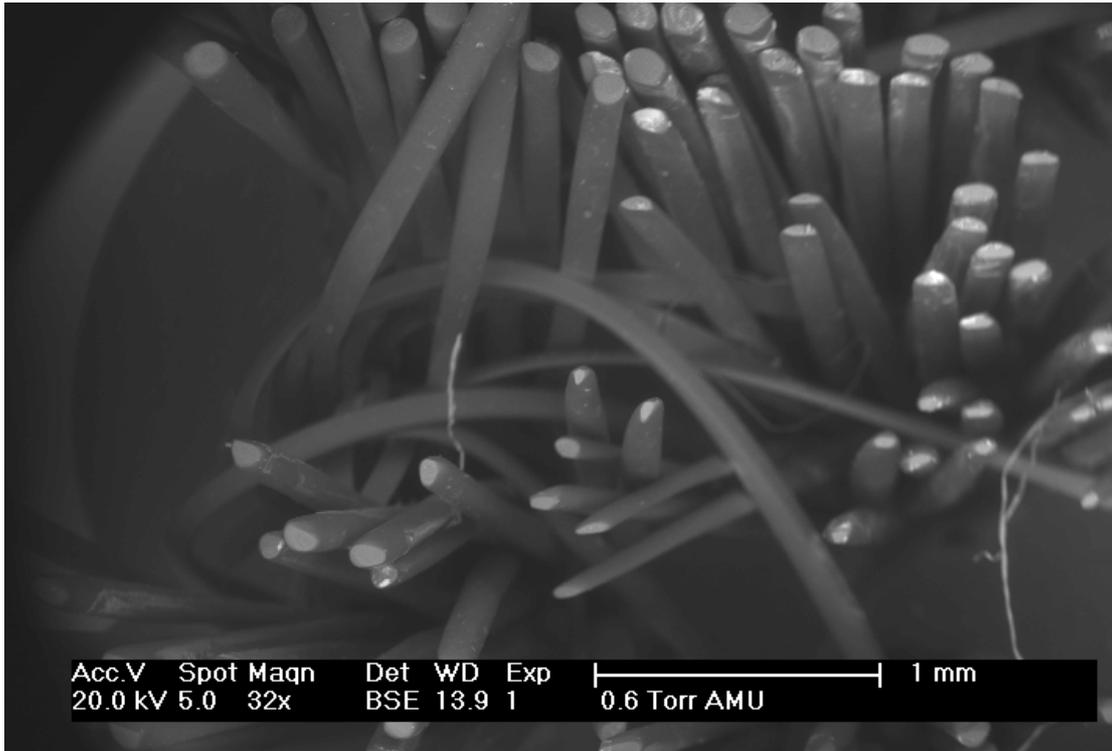


Abb. 46: Sonicare - Probe 2; 32- fache Vergrößerung

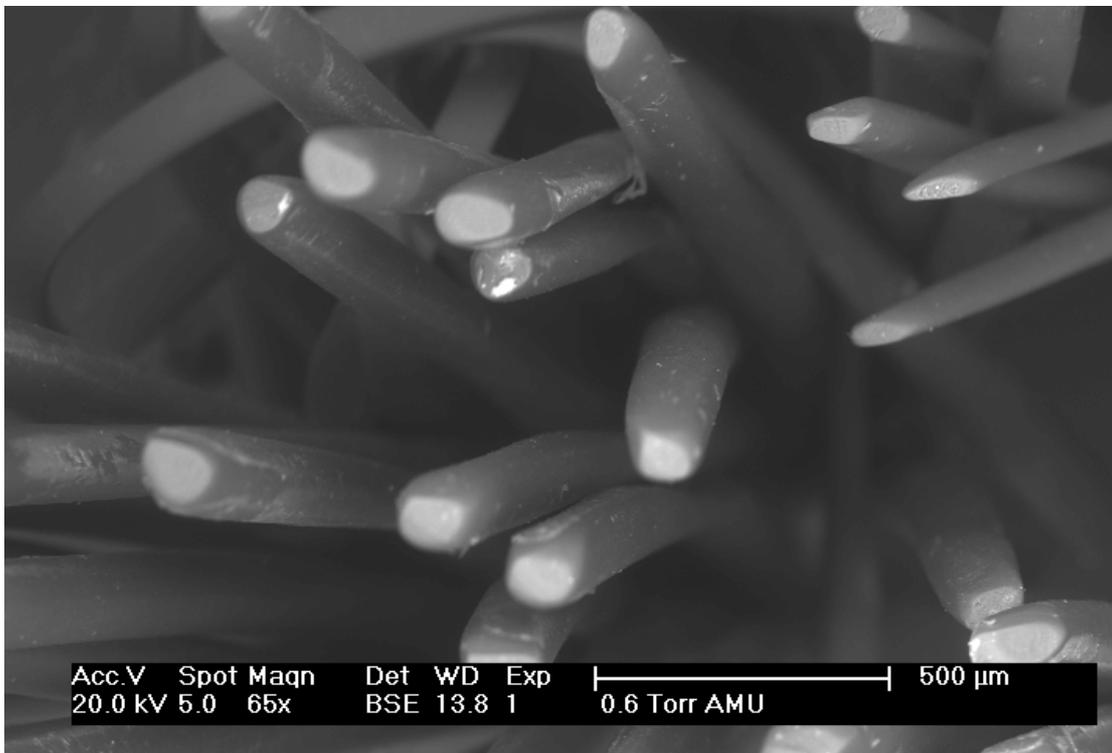
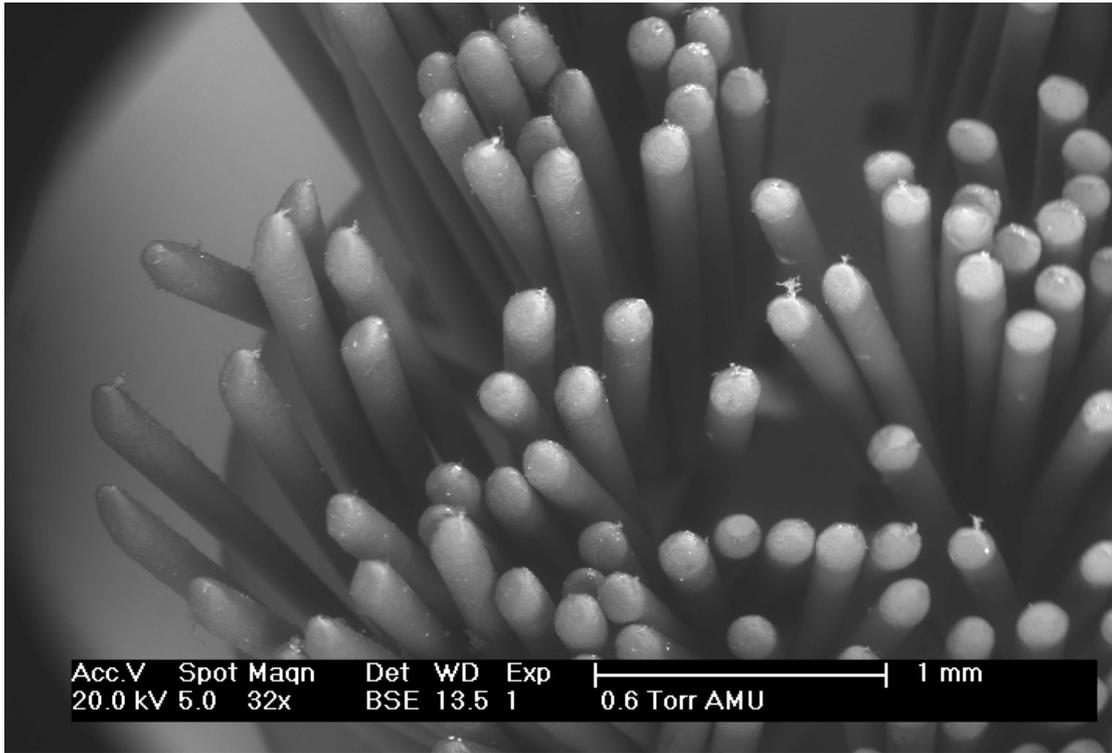
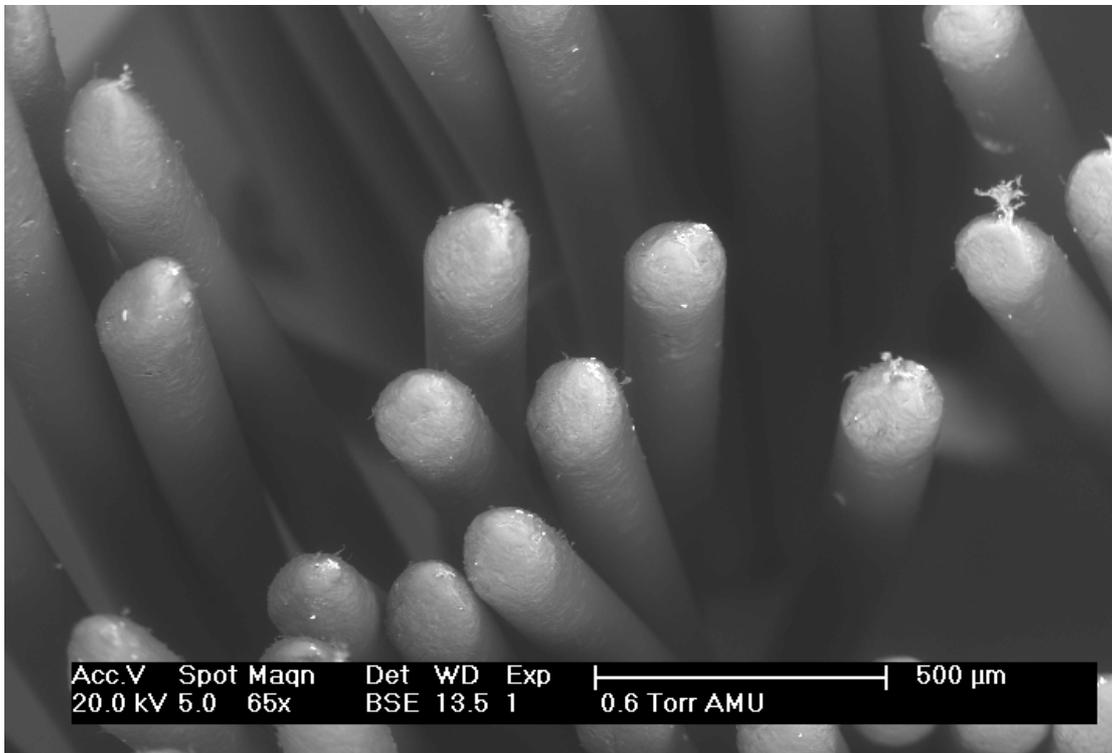


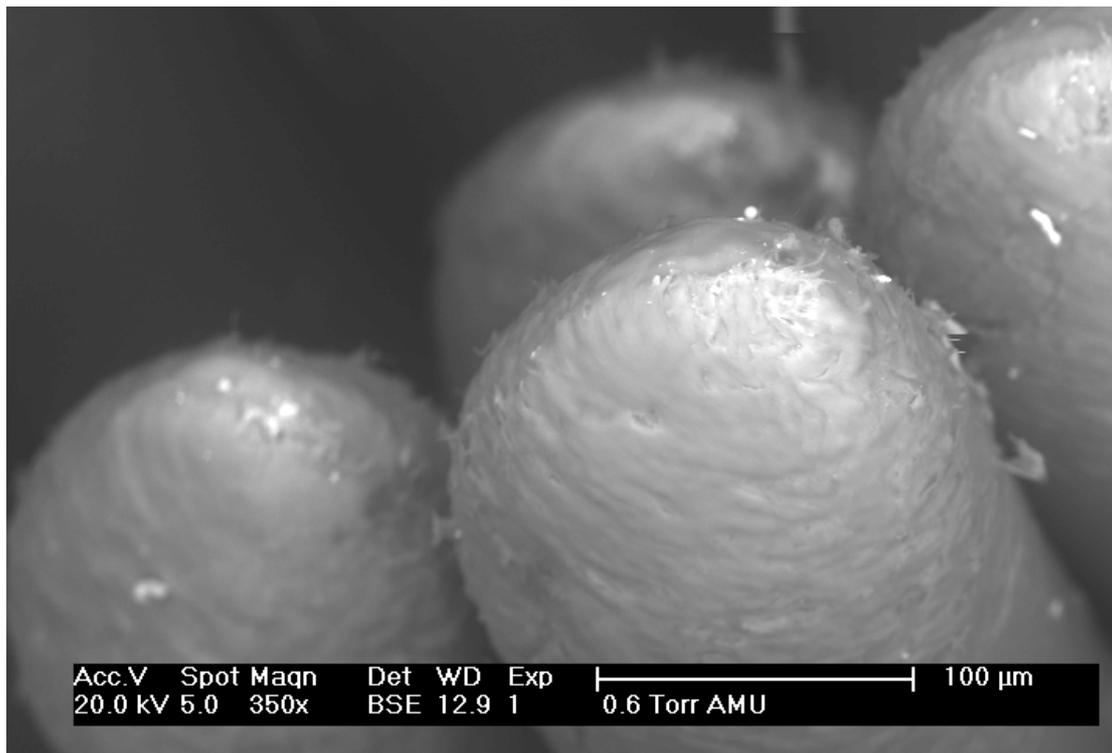
Abb. 47: Sonicare - Probe 2; 65- fache Vergrößerung



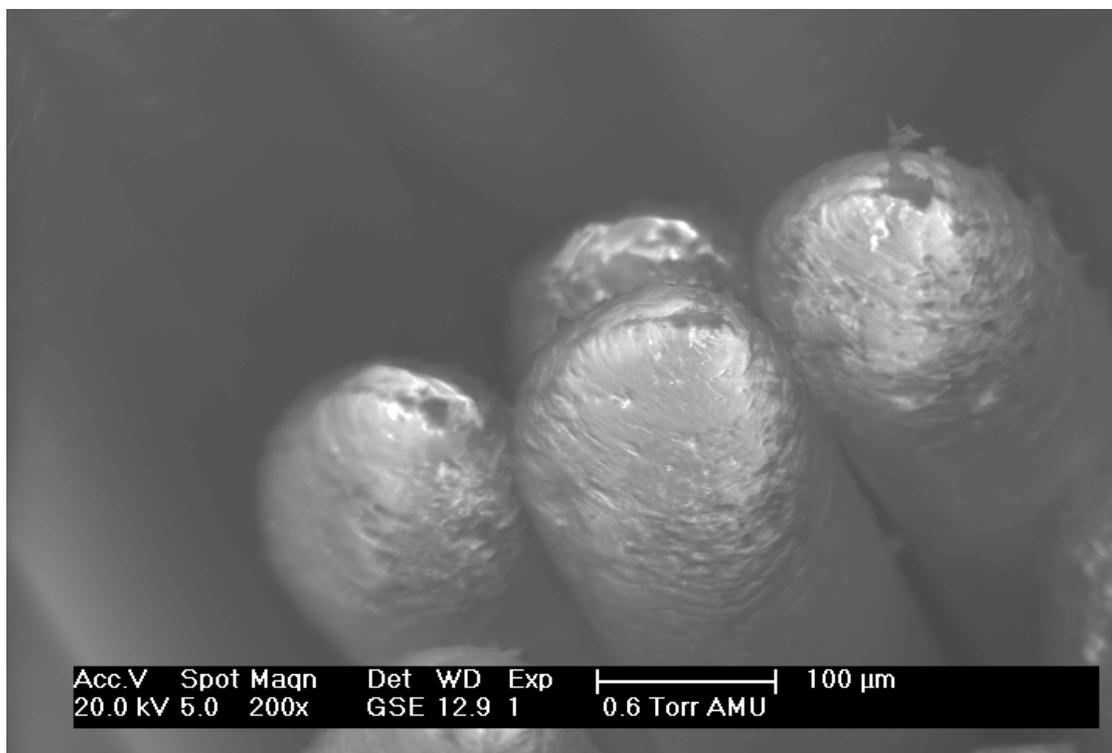
*Abb. 48: Sonicare – Bürstenkopf ungebraucht; 32- fache Vergrößerung*



*Abb. 49: Sonicare – Bürstenkopf ungebraucht; 65- fache Vergrößerung*



*Abb. 50: Sonicare – Bürstenkopf ungebraucht; 350- fache Vergrößerung*



*Abb. 51: Sonicare – Bürstenkopf ungebraucht; 200- fache Vergrößerung (GSE)*

## EDX- Auswertung

Die Bestimmung der Grundelemente eines Spanes zeigt als das am häufigsten vorkommende Element den Kohlenstoff und den Sauerstoff. Auch Schwefel hat einen Peak. In geringerem Maße Natrium und Silizium.

Label A:

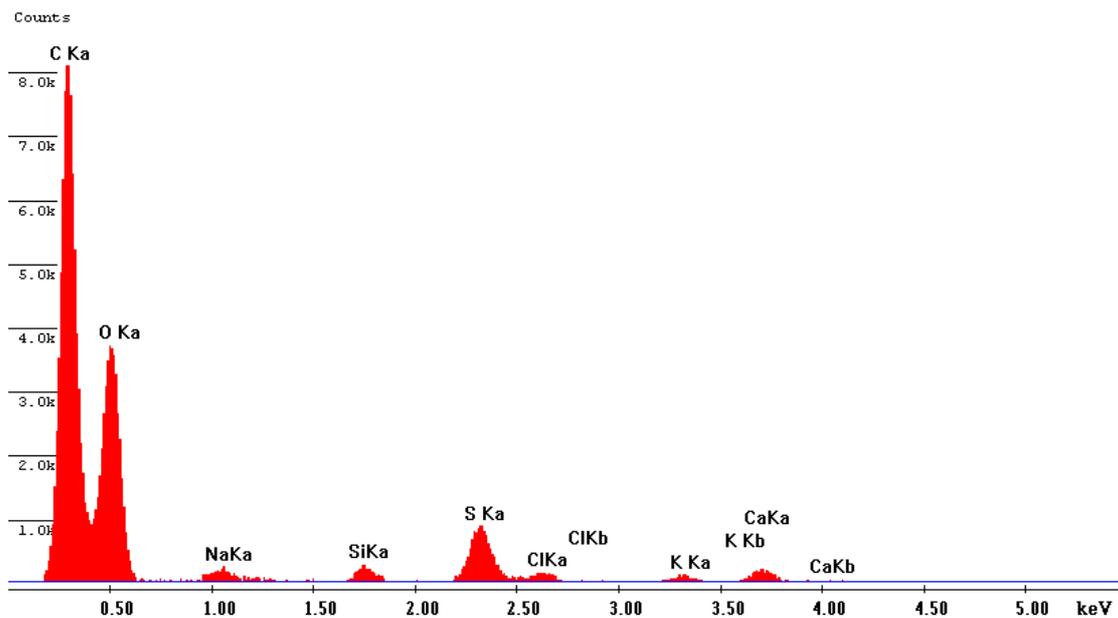


Abb. 52: Elementanalyse Kunststoffspan

## Verschleißerscheinungen des Akkus

Am Ende eines Durchlaufs kann man akustisch und visuell durch den verlangsamten Putzvorgang eine Leistungsminderung des Akkus erkennen. Nach wenigen Sekunden endet dann der Durchlauf und kann durch Drücken des Ein- Schalters noch einige Male für wenige Sekunden aktiviert werden.

Eine akustische Veränderung bei Verringerung der Akkuleistung konnte nicht festgestellt werden. Lediglich das Blinken des Ladelämpchens deutete auf eine Entladung hin.

## Versuchsreihen

*Tab.3: Übersicht Versuchslaufzeiten Sonicare in Minuten*

| Versuchslaufzeit | Bürstenkopf 1 | Bürstenkopf 2 | Bürstenkopf 3 | Bürstenkopf 4 | Bürstenkopf 5 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Versuch 1        | 96            | 96            | 98            | 95            | 97            |
| Versuch 2        | 89            | 94            | 98            | 96            | 91            |
| Versuch 3        | 93            | 94            | 88            | 92            | 93            |
| Versuch 4        | 67            | -             | -             | -             | -             |
| Gesamtzeit       | 345           | 284           | 284           | 283           | 281           |

## 4.3 Bestimmung des Aufspleißdurchmessers

Mit Hilfe eines digitalen Messschiebers wurde bei allen Proben der Durchmesser definierter Borstenbüschel vor und nach Gebrauch vermessen.

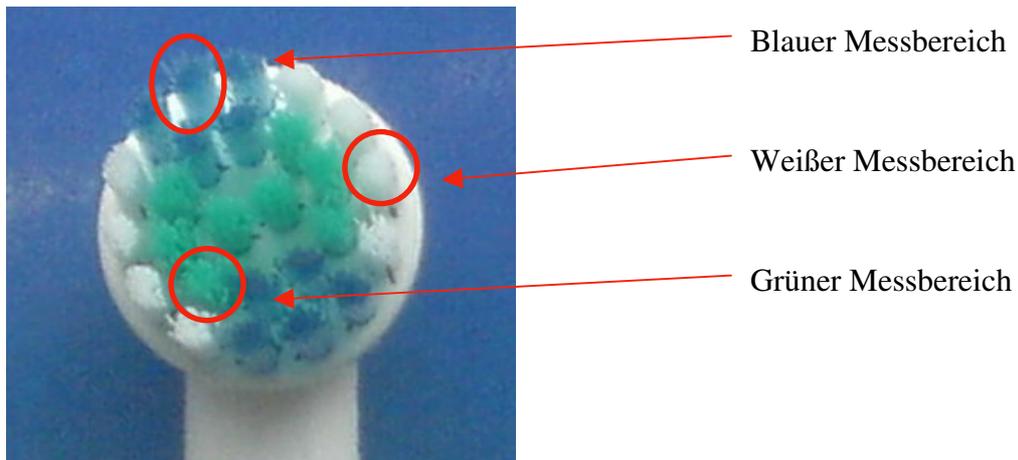


Abb. 53: Borstenfelder Oral- B

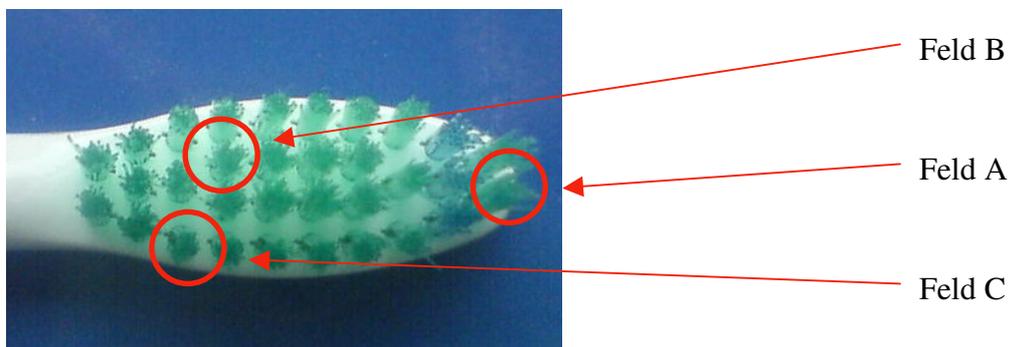


Abb. 54: Borstenfelder Philips

Aus den ermittelten Werten (siehe Tabellen) ergibt sich der Mittelwert der vermessenen Borstenfelder zu:

$$M = \frac{\sum x_n}{n};$$

mit:

M Mittelwert

$x_n$  Messwert

n Anzahl der Messwerte

Aus den errechneten Werten lässt sich dann analog noch der Mittelwert des jeweiligen Bürstentyps errechnen.

Tab.4: Messwerte Durchmesser Borstenfelder Oral- B

|                           | Blau    | Grün   | Weiß   |
|---------------------------|---------|--------|--------|
| Bürstenkopf Oral-B neu :  | 1,64 mm | 1,86mm | 1,84mm |
| 1. Bürstenkopf Vitality : | 3,34mm  | 2,88mm | 2,51mm |
| 2. Bürstenkopf Vitality : | 2,52mm  | 2,16mm | 2,63mm |
| 3. Bürstenkopf Vitality : | 3,37mm  | 2,86mm | 2,59mm |
| 4. Bürstenkopf Vitality : | 2,61mm  | 2,27mm | 3,63mm |
| 5. Bürstenkopf Vitality : | 2,91mm  | 3,12mm | 2,00mm |
| 1. Bürstenkopf Prof.C. :  | 2,78mm  | 2,48mm | 6,37mm |
| 2. Bürstenkopf Prof.C. :  | 2,67mm  | 2,67mm | 3,77mm |
| 3. Bürstenkopf Prof.C. :  | 2,27mm  | 3,14mm | 2,86mm |
| 4. Bürstenkopf Prof.C. :  | 4,37mm  | 3,72mm | 2,19mm |
| 5. Bürstenkopf Prof.C. :  | 1,87mm  | 2,43mm | 3,09mm |

Tab.5: Messwerte Durchmesser Borstenfeld Philips

|                            |        |        |        |
|----------------------------|--------|--------|--------|
| Bürstenkopf Sonicare neu : | 1,55mm | 1,94mm | 1,74mm |
| 1. Bürstenkopf Sonicare :  | 7,39mm | 3,04mm | 2,40mm |
| 2. Bürstenkopf Sonicare :  | 3,49mm | 2,59mm | 2,89mm |
| 3. Bürstenkopf Sonicare :  | 3,01mm | 2,63mm | 2,65mm |
| 4. Bürstenkopf Sonicare :  | 2,97mm | 2,67mm | 2,74mm |
| 5. Bürstenkopf Sonicare :  | 2,74mm | 2,18mm | 2,05mm |

## Vitality Gesamt- und Mittelwert

Blaue Borsten:

$$M_{Blau} = \frac{12,75mm}{5} = 2,55mm$$

mit:

$M_{Blau}$  Mittelwert blaue Borsten

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

Grüne Borsten:

$$M_{Grün} = \frac{13,29mm}{5} = 2,65mm$$

mit:

$M_{Grün}$  Mittelwert grüne Borsten

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

Weißer Borsten:

$$M_{Weiß} = \frac{13,63mm}{5} = 2,72mm$$

mit:

$M_{Weiß}$  Mittelwert weiße Borsten

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

## Mittelwert gesamt Vitality

$$M_{Vitality} = \frac{7,92mm}{3} = 2,64mm$$

mit:

$M_{Vitality}$  Mittelwert gesamt Vitality

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der errechneten Mittelwerte

## Prof.Care Gesamt- und Mittelwert

Blaue Borsten:

$$M_{\text{Blau}} = \frac{13,96\text{mm}}{5} = 2,79\text{mm}$$

mit:

$M_{\text{Blau}}$  Mittelwert blaue Borsten

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

Grüne Borsten:

$$M_{\text{Grün}} = \frac{14,44\text{mm}}{5} = 2,8\text{mm}$$

mit:

$M_{\text{Grün}}$  Mittelwert grüne Borsten

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

Weißer Borsten:

$$M_{\text{Weiß}} = \frac{18,28\text{mm}}{5} = 3,65\text{mm}$$

mit:

$M_{\text{Weiß}}$  Mittelwert weiße Borsten

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

## Mittelwert gesamt Prof. Care

$$M_{\text{Prof. Care}} = \frac{9,32\text{mm}}{3} = 3,11\text{mm}$$

mit:

$M_{\text{Prof. Care}}$  Mittelwert gesamt Prof. Care

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der errechneten Mittelwerte

## Sonicare Gesamt- und Mittelwert

Feld A:

$$M_A = \frac{19,60mm}{5} = 3,92mm$$

mit:

$M_A$  Mittelwert Feld A

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

Feld B:

$$M_B = \frac{13,11mm}{5} = 2,62mm$$

mit:

$M_B$  Mittelwert Feld B

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

Feld C:

$$M_C = \frac{12,73mm}{5} = 2,54mm$$

mit:

$M_C$  Mittelwert Feld C

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der Versuchsdurchläufe

## Mittelwert gesamt Sonicare

$$M_{Sonicare} = \frac{9,08mm}{3} = 3,03mm$$

mit:

$M_{Sonicare}$  Mittelwert gesamt Sonicare

n Anzahl der Messwerte entspricht Anzahl der errechneten Mittelwerte

## Oral-B neu Gesamt- und Mittelwert

Analog ergeben sich für die ungebrauchten Bürstenköpfe von Oral-B die folgenden Werte:

|                         |   |                             |
|-------------------------|---|-----------------------------|
| $M_{\text{Blau neu}}$   | = | 1,64 mm (Mittelwert blau)   |
| $M_{\text{Grün neu}}$   | = | 1,86 mm (Mittelwert grün)   |
| $M_{\text{Weiß neu}}$   | = | 1,84 mm (Mittelwert weiß)   |
| $M_{\text{Oral-B neu}}$ | = | 1,78 mm (Mittelwert gesamt) |

## Sonicare neu Gesamt- und Mittelwert

Analog ergeben sich für die ungebrauchten Bürstenköpfe von Sonicare die folgenden Werte:

|                         |   |                             |
|-------------------------|---|-----------------------------|
| $M_{\text{Blau neu}}$   | = | 1,55 mm (Mittelwert blau)   |
| $M_{\text{Grün neu}}$   | = | 1,94 mm (Mittelwert grün)   |
| $M_{\text{Weiß neu}}$   | = | 1,74 mm (Mittelwert weiß)   |
| $M_{\text{Oral-B neu}}$ | = | 1,74 mm (Mittelwert gesamt) |

Aus den errechneten Werten lässt sich der Grad der Aufspießung prozentual ermitteln:

*Tab.6: Prozentuelle Auswertung der Aufspießung Vitality*

| VITALITY       | Mittelwert<br>neu (mm) | Mittelwert<br>gebraucht (mm) | Prozentualer Grad der<br>Aufspießung |
|----------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Blaue Borsten  | 1,64                   | 2,55                         | 55,5%                                |
| Grüne Borsten  | 1,86                   | 2,65                         | 42,5%                                |
| Weißer Borsten | 1,84                   | 2,72                         | 47,8%                                |
| Gesamt         | 1,78                   | 2,64                         | 48,3%                                |

*Tab.7: Prozentuelle Auswertung der Aufspießung Professional Care*

| Prof. Care     | Mittelwert<br>neu (mm) | Mittelwert<br>gebraucht (mm) | Prozentualer Grad der<br>Aufspießung |
|----------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Blaue Borsten  | 1,64                   | 2,79                         | 70,1%                                |
| Grüne Borsten  | 1,86                   | 2,80                         | 50,5%                                |
| Weißer Borsten | 1,84                   | 3,65                         | 98,4%                                |
| Gesamt         | 1,78                   | 3,11                         | 74,7%                                |

*Tab.8: Prozentuelle Auswertung der Aufspießung Sonicare*

| Sonicare | Mittelwert<br>neu (mm) | Mittelwert<br>gebraucht (mm) | Prozentualer Grad der<br>Aufspießung |
|----------|------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Feld A   | 1,55                   | 3,92                         | 152,9%                               |
| Feld B   | 1,94                   | 2,62                         | 35,1%                                |
| Feld C   | 1,74                   | 2,54                         | 46,0%                                |
| Gesamt   | 1,74                   | 3,03                         | 74,1%                                |

## 5. Putzmedium

Bestandteile:

Blend-A-med Zahnpasta

H<sub>2</sub>O dest.

Herstellung der Pastensuspension: ( Norm: DIN EN ISO 11609 Abschnitt A 3.7)

40 ml H<sub>2</sub>O dest. mit 25 g Zahnpasta

Mit Hilfe des EDX lässt sich als Hauptbestandteil Silizium ausmachen. Auch Sauerstoff hat einen deutlichen Peak. In geringem Maße sind Kohlenstoff und Natrium vorhanden.

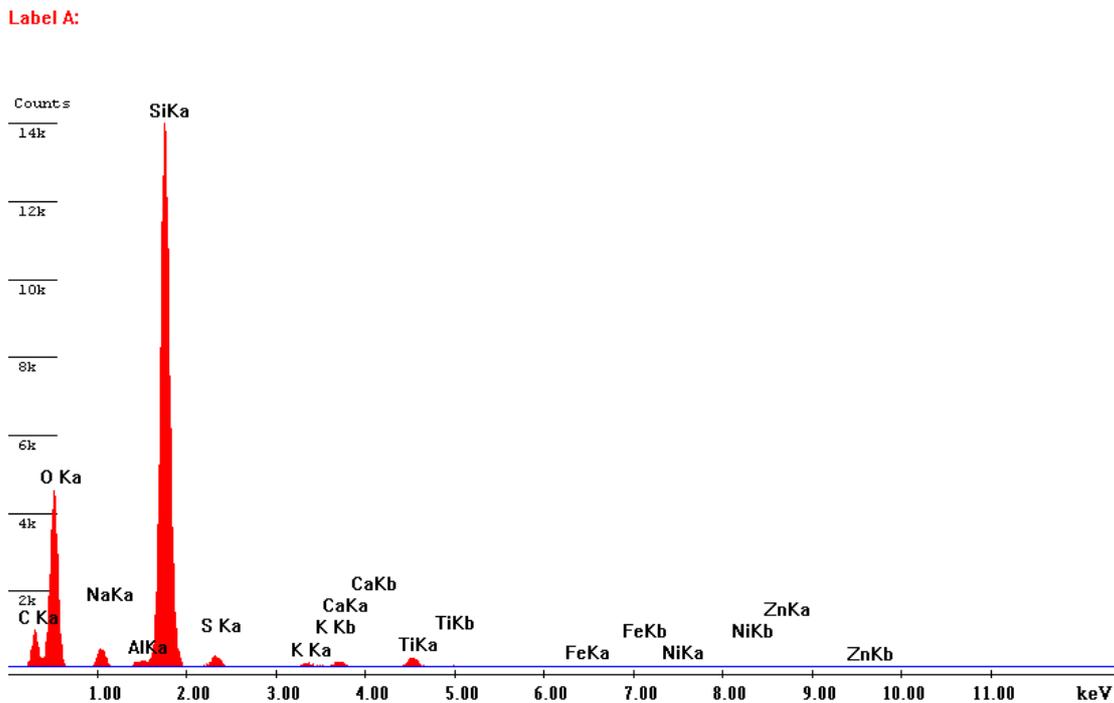


Abb. 53: Elementanalyse Zahnpasta

## 6. Diskussion

Um ein optimales Prüfverfahren zu entwickeln muss zunächst beurteilt werden, wie die Versuchsreihen ablaufen sollen und welche Art der Zahnbürste verwendet werden soll. Des Weiteren muss untersucht werden welche Prüfstände bereits entwickelt wurden.

1979 untersuchte Nygaard- Østby die Wirkung von Zahnbürsten im Approximal-Bereich. Dazu entwickelte er eine Zwei- Achsen Bürstmaschine die über eine simulierte Zahnreihe bürstete. Bürstgewohnheiten scheinen außer Acht gelassen worden zu sein. Der Anpressdruck und die Achsenbewegung waren festgelegt. Okklusionsfolie diente als Indikator, um zu beurteilen in welchem Ausmaß die verwendeten Handzahnbürsten den Approximalbereich erreichten.

Außerdem stellte er fest, dass nicht abgerundete Borstenenden zu einer Irritation der Gingiva führten und das Borstenenden nach längerem Gebrauch immer mehr abrundeten.

1993 ersetzte Rawls die simulierte Zahnreihe durch Columbia Dentoform Oberkiefer-Modelle. Die Beurteilung der Plaque Entfernung durch verschiedene Hand-Zahnbürsten wurde mittels eines Ethylcellulosefilms vorgenommen, dessen Haftung nicht der der natürlichen Plaque entsprach.

Volpenhein versuchte 1994 Plaque mit Hilfe eines alkoholbasierenden Ethylesters von einem PVM/MA Copolymer nachzuahmen. Außerdem sollte die Putzbewegung verbessert werden.

Die Putzmaschine führte drei verschiedene Putzbewegungen aus, eine horizontale Vor- und Rückbewegung, eine Auf- und Abbewegung oder eine Rotationsbewegung. Beurteilt wurden Bürstgewohnheiten von Probanden die durch Videobänder festgehalten wurden. Die Bilder wurden digitalisiert und mit einem Bildverarbeitungsprogramm ausgewertet.

1997 untersuchten Ernst et al. die Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten mit Hilfe eines Sechs- Achsen Industrieroboters. Auch in dieser Studie

wurde die Plaqueentfernung beurteilt. Dazu wurde eine Mischung aus Plakafarben verwendet.

Mayer untersuchte 2000 mit Hilfe einer zweiachsigen Bürstmaschine die Effizienz von Zahnbürsten bei der Reinigung von festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen. Dazu wurden Brackets auf Plexiglas geklebt und mit einer Lakritzsuspension beschichtet. Durch Gradeinteilung konnte die Effizienz der Bürsten beurteilt werden.

2000 studierte Lokvenc die Reinigungseffektivität von vier Handzahnbürsten mit unterschiedlichem Borstenfelddesign bei Anwendung der horizontalen Bürstmethode. Es wurde eine Bürstmaschine konstruiert mit der horizontale Bewegungen druckkalibriert an einer idealisierten Zahnreihe aus extrahierten, menschlichen Zähnen durchgeführt werden konnten.

2006 untersuchten Hickel und Bark die Dentin- Abrasion menschlicher Zähne durch Handzahnbürsten. Sie arbeiteten mit einer Bürstmaschine in der sechs Bürsten inklusive Probenmaterial befestigt werden konnten. Die Bürsten konnten in sämtliche Richtungen zur Probenoberfläche verändert und parallel dazu befestigt werden. Durch das Anbringen von verschiebbaren Gewichten konnte der Anpressdruck jeder Bürste verändert und geeicht werden. Die gewonnenen Daten wurden über einen Laserscanner aufgenommen und gespeichert.

Sander und Völker programmierten 2005 einen Vier- Achsen Roboter so, dass er die Schrubbertechnik und die Stilmanntechnik ausführt. Der Anpressdruck wurde festgelegt und nicht verändert. Ein Kunststoffmodell wurde mit gelöster Lakritze versehen. Getestet wurde die Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten unter standardisierten Bedingungen.

Ott und Baumeister führten 2009 eine Studie zu laseroptischen Untersuchungen zum Abrasionsverhalten moderner elektrischer Zahnbürsten nach robotergestützter Langzeitputzsimulation durch.

Menschliche Zähne wurden dazu einer Putzsimulation von fünf Jahren unterzogen. Für die Versuche wurde eine Bürstenhalterung mit einer integrierten stufenlos

justierbaren Gewichtsmechanik zur Aufrechterhaltung eines für alle Bürsten einheitlichen Anpressdruckes konstruiert.

Ein computergesteuerter Sechs- Achsen Industrieroboter stellte eine natürliche Putzbewegung sicher. Vor und nach der Simulation wurden Abformungen der Proben genommen und Gipsrepliken erstellt. Die Schmelz- und Dentinoberflächen wurden mit einem berührungsfrei arbeitenden dreidimensionalen Oberflächen-Messgerät erfasst und die Veränderungen mit einer bildverarbeitenden Software quantifiziert.

Oral B testet die Lebensdauer der Zahnbürsten, indem 24 Bürsten an Gebissen nebeneinander eingespannt werden und 285 Stunden im Dauerbetrieb sind. Dies entspricht einer Nutzungsdauer von ca. fünf Jahren.

Die Firma Inotec ist ein Hersteller von derartigen Prüfständen. Ein Prüfstand sieht die Aufnahme von 24 elektrischen Zahnbürsten vor, die in drei Ebenen angeordnet sind. Über pneumatische Balgzylinder und Kraftsensoren kann ein gleichmäßiger Druck auf rotierende Gebisse ausgeübt werden. Die Gebisse werden dabei mit einer Zahnpastaemulsion umspült. Gebrauchte Bürstenköpfe können automatisch ausgetauscht werden. Die Steuerungsanlage befindet sich in der Rückseite des Gerätes und kann sämtliche Ergebnisse protokollieren und auswerten.

Ein weiterer Prüfstand bietet die Möglichkeit sechs Handzahnbürsten gleichzeitig zu testen. Durch ein Zwei- Achsen System werden die Gebisse vor den starren Prüfkörpern bewegt. Mit Hilfe einer Pumpe kann bei Bedarf Emulsion oder Wasser auf die Bürsten gegeben werden. Über einen Touchpanel mit Display können Ergebnisse eingegeben werden.

Ein zusätzlicher Prüfautomat der Firma Inotec ermöglicht das Befestigen von zehn Handzahnbürsten in unabhängig voneinander arbeitenden Prüfpositionen. Der Zahnbürstenhals kann hier auf Biegung beansprucht werden, wobei die Prüfkraft individuell eingestellt werden kann.

Der Anspruch an unseren Prüfstand war, dass er möglichst einfach konstruiert und hergestellt werden konnte. Die anfängliche Idee mit Holz zu arbeiten ließ sich nicht realisieren, da mit feuchtem Medium gearbeitet wurde und der Einfluss auf das

Material nicht vorhersehbar war. Auch die Idee die Zahnbürste an einer vertikal stehenden rotierenden Scheibe zu befestigen, um so ein bestimmtes Bewegungsmuster zu erreichen, war nicht umzusetzen.

Da mit elektrischen Zahnbürsten gearbeitet wurde, durfte der Prüfstand nicht so konstruiert sein, dass er bestimmte Putztechniken simulierte. Eine horizontale Vor- und Rückbewegung und eine Seitwärtsbewegung sollten möglich sein.

Ziel der Versuchsreihe war, den Bürstenkopfverschleiß unter natürlichen Bedingungen zu simulieren. Dies bedeutet, dass kein definierter und reproduzierbarer Anpressdruck ausgeübt werden durfte. Aus diesem Grund wurde der von Experten empfohlene Bereich, in dem sich der Anpressdruck befinden darf bzw. sollte, ausgeschöpft. Mit Hilfe einer Briefwaage, die während der Putzsimulation den Druck des Bürstenkopfes auf die simulierte Zahnreihe anzeigte, wurde der Bereich des Anpressdruckes auf 1,5N - 2,2 N festgelegt.

Reproduzierbar sind die verwendete Zahnpastasuspension, die simulierte Zahnreihe, die Putzzeit und das Bewegungsmuster des Prüfstandes. Die mögliche Seitwärtsbewegung des Metallschlittens wurde nicht in den Versuchsablauf eingebaut, da sie bei den Verschleißtests der elektrischen Zahnbürsten nicht nützlich war. Die getesteten elektrischen Zahnbürsten wurden nicht in einem starren Gehäuse befestigt um bei jeder Versuchsreihe die exakt gleiche Lage zu erhalten. Ziel war es, die Abnutzungserscheinungen möglichst realistisch zu interpretieren und herauszufinden ob sich Unterschiede ergeben.

In das Prüfverfahren aufgenommen wurden zwei oszillierend- rotierende Braun Oral-B Modelle mit unterschiedlichem Leistungsspektrum. Außerdem eine schallaktive Phillips Sonicare Bürste.

Herausgestellt werden sollte, ob durch die verschiedenen Betriebsarten auch verschiedene Abnutzungserscheinungen auftreten und demnach Empfehlungen gegeben werden können. Der Versuchskörper wurde auf die Zahnreihe aufgesetzt und im Bereich des Haltegriffs mit dem Schlitten befestigt.

Die Ergebnisse dieser Studie haben ergeben, dass die von den Herstellern empfohlene Verwendungszeit des Bürstenkopfes von drei Monaten zu lang ist. Nach dieser Zeit waren die Borstenbüschel teilweise stark deformiert oder sogar geknickt. Die Indikatorborsten waren vor allem bei der Sonicare vollständig entfärbt und nicht mehr aussagekräftig. Dies bedeutet, dass nach der Hälfte der Entfärbung der Indikatorborsten mit beginnender Deformation umliegender Borstenbüschel nicht mehr garantiert werden kann, dass eine sinnvolle Reinigungseffizienz der Zähne und Massagewirkung des Zahnfleisches möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass bei diesem Grad der Abnutzung das Verletzungsrisiko für die Gingiva erhöht ist.

Daher wurde jedes Modell einmalig über den Zeitraum von drei Monaten getestet. Dabei wurde festgestellt, dass sich die Indikatorborsten nach ca. 280 Minuten zur Hälfte entfärbt hatten und schon ein deutliches Büschelaufspießen stattfand. Da die Hersteller den Wechsel eines Bürstenkopfes auch empfehlen wenn die Indikatorborsten bis auf die Hälfte entfärbt sind, wurde dies mit in die Versuchsreihen übernommen.

Bei der Beurteilung der Verschleißerscheinungen der Borstenfelder ist aufgefallen, dass die Indikatorborsten einheitlich entfärbt waren, unabhängig von ihrer Position im Bürstenfeld. Das Aufspießen der Borstenbüschel war am Bürstenkopfe größer als am Kopfanfang. Die Filamente der Oral- B Prof. Care wiesen eine deutlichere Deformation auf als die der Oral- B Vitality. Dies wird auch verdeutlicht durch die Bestimmung des prozentualen Grades des Aufspießens. Dabei zeigte sich, dass sowohl die blauen und die grünen Borsten, als auch die weißen Borsten der Vitality relativ ähnliche Werte zwischen 42,5% und 55,5% aufwiesen. Bei den Borsten der Prof. Care ist das Deformationsfeld mit Werten zwischen 50,5% und 98,4% größer. Es kann vermutet werden, dass dies mit der 3D- Leistung und der schnelleren Bürstenkopffrotation der Prof. Care begründet werden kann. Der überdurchschnittlich hohe Wert von Feld  $A_{\text{gesamt}}$  der Sonicare mit 152,9% ist nicht repräsentativ. Die Einzelwertungen verdeutlichen, dass der Aufspießwert von Feld A des ersten Bürstenkopfes mit 7,39mm weit über dem Durchschnitt liegt. Dies kann mit der längeren Putzzeit von umgerechnet drei Monaten des ersten Bürstenkopfes begründet werden. Bei Anpassung dieses Wertes würde das gesamte prozentuale Ergebnis der Sonicare eher im Bereich der Vitality liegen.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass die kürzeren Borsten der Bürstenköpfe bei Druckausübung im Bereich der empfohlenen Richtwerte kaum die Versuchszahnreihe berührten, so dass sich die einwirkende Kraft hauptsächlich auf die langen Borsten verteilte. Dies zeigte sich vor allem an den Borsten der Sonicare die erhebliche Längenunterschiede in ihrem Borstenfeld aufweist und die Druckverteilung aufgrund des länglich, schmalen Kopfes ungünstiger ist als bei den Konkurrenzmodellen. Die fehlende Schwenkbarkeit des Sonicare Bürstenkopfes führte zu einer geringeren Deformation des gesamten Borstenfeldes.

Obwohl der Haltegriff über seine gesamte Länge fixiert wurde, so dass man von einer einheitlichen Druckverteilung ausgehen konnte, schien die von unten einwirkende Kraft auf die Borstenbüschel am Bürstenkopfe größer zu sein als auf die Büschel am Kopfanfang. Da dennoch ein aussagekräftiges Aufspießen an den Kopfen stattfand wurde dies als annehmbar gewertet.

Die Indikatorborsten waren jedoch einheitlich entfärbt, was darauf schließen lässt, dass der Einfluss der Suspension auf die Entfärbung größer war als der einwirkende Druck und die Bewegung auf den Zahnreihen. Dies wird ebenfalls in anderen Studien festgestellt, wenn nur mit Wasser getestet wurde.

Bei dem Großteil der PrecisionClean Bürstenköpfe trat eine tiefbraune Schaumwolke während der Betriebsdauer aus dem Bürstenkopfgehäuse. Bei der privaten Zahnreinigung mit einer elektrischen Oral- B Zahnbürste mit gleichem Bürstenkopf ist dieses Phänomen auch innerhalb der empfohlenen Reinigungszeit von zwei Minuten aufgefallen, sowohl farblich als auch durch einen unangenehmen Geschmack. Deshalb kann davon ausgegangen werden dass der Austritt nicht mit der langen Versuchsputzzeit zusammenhängt. Vermutlich wird die verwendete Mechanik im Bürstenkopf-Inneren mit Schmiermitteln behandelt.

Nach dieser Feststellung wurde beschlossen, den Bürstenkopf von hinten zu öffnen. Es war dennoch nicht ersichtlich wo die braune Flüssigkeit ihren Einsatz findet oder an welcher Stelle sie benötigt wird.

Bei der Mechanik der Bürstenkopfbewegung (Oral- B Modelle) konnte zu keiner Zeit ein Funktionsausfall festgestellt werden.

Die Beurteilung der Akkuleistung erwies sich als schwierig, da die Leistung teilweise sehr unterschiedlich war.

Die verwendeten Zahnbürsten wurden über den Einzelhandel bezogen und nicht direkt vom Hersteller, daher können eventuell entstandene Lagerungsfehler nicht ausgeschlossen werden.

Die Betriebsdauer der Oral- B Vitality wird vom Hersteller auf ca. 20 Minuten festgelegt. Die ersten drei Versuchsdurchläufe lagen bei durchschnittlich 30 Minuten. Danach konnte der Akku nicht mehr aufgeladen werden und das Modell wurde umgetauscht. Danach waren die Laufzeiten teilweise deutlich über 40 Minuten.

Die Betriebsdauer der Oral- B ProfessionalCare 1000 wird vom Hersteller auf ca. 45 Minuten festgelegt, lag aber mit Zeiten um die 37 Minuten etwas darunter. Nach dem ersten Versuchsdurchlauf des vierten Bürstenkopfes fiel die rote Anzeige bei Überschreiten des Anpressdruckes aus und musste ebenfalls umgetauscht werden.

Die Betriebsdauer der Philips Sonicare wird vom Hersteller auf ca. 40 Minuten festgelegt. Nach den Versuchsreihen zeigte sich, dass sie relativ konstant bei ca. 95 Minuten lag.

Soydan untersuchte 2008 die Borstenabrundung einiger Bürstenköpfe verschiedener Hersteller. Unter anderem auch die Borsten eines Oral- B Plak Control FlexiSoft EB 15- 2.

Das Ergebnis war, dass sich dieser Bürstenkopf bezogen auf seine Abrundungsqualität im oberen Drittel bewegt. Es gab sowohl akzeptabel abgerundete Bereiche und inakzeptable Abrundungen. Einige Borsten wiesen bearbeitungsbedingte Rauigkeiten auf oder überschüssige Kunststoffspäne. Die akzeptablen Filamentenden lagen bei 72,6% und seien somit noch verbesserungswürdig.

In der rasterelektronenmikroskopischen Beurteilung wurde deutlich, dass die zunächst einheitlich abgerundeten Bürstenköpfe durch die Verwendung eine Abflachung erhielten.

Das Zusammenspiel von adäquater Borstenabrundung und intaktem Borstenfeld ermöglichen im Zusammenspiel mit korrekter Handhabung eine bestmögliche Kariesprophylaxe und Gingivitischutz.

## 7. Schlussfolgerung

Aufgrund der Aktualität wurde eine In- vitro Studie gewählt, um die Versuchszeit überschaubar zu halten. Außerdem konnte so auf Standardisierungen wie Anpressdruck, Putzzeit, Bürstbewegung, zu putzende Versuchskörper und Suspensionszusammensetzung eingegangen werden.

Interessant wäre eine folgende in vivo Studie in der Probanden nach Einweisung putzen und kontrolliert wird, wann sich die Verformung zeigt in Abhängigkeit von der Entfärbung der Indikatorborsten und der individuellen Gewohnheiten. Es könnte überprüft werden ob sich die These stützen lässt, dass drei Monate Bürstenkopf-Verwendung zu lang ist und ob die Belags- und Plaqueentfernung einen zusätzlichen Einfluss auf die zügigere Entfärbung, Verformung oder Abflachung der Filamentenenden hat.

Außerdem ob sich durch Zahnfehlstellungen eine andere evtl. ungleichmäßigere Verformung zeigen würde. Zudem könnte durch die natürliche Vermischung von Speichel und Zahnpasta die Auswirkung auf die Ergebnisse beobachtet werden.

Durch Erhöhung des Anpressdruckes würde die Abnutzung unter extremen Bedingungen verdeutlicht werden. Ein Vergleich zwischen harten und weichen Köpfen erscheint weniger sinnvoll, da inzwischen fast einheitlich die Verwendung von weicheren Bürstenköpfen empfohlen wird.

Das Bürstendesign scheint einen Einfluss auf die Verformung des Bürstenfeldes zu haben. Kurze Borsten gelangen bei adäquatem Anpressdruck gar nicht an die zu reinigende Fläche heran.

Vor allem ist der Austritt der braunen Flüssigkeit zu hinterfragen und eine evtl. Schädlichkeit zu überprüfen.

Empfehlungen bezüglich eines Modells können nur aufgrund der Verunreinigungen gemacht werden, die der Verbraucher durch die Verwendung der Oral- B Modelle aufnimmt. Dementsprechend wäre die Sonicare vorzuziehen. Auch die Akkuleistung der schallaktiven Bürste ist herausragend gut.

Der preisliche Unterschied zwischen den Oral- B Modellen scheint bei den äußerlichen Verschleißerscheinungen nicht ins Gewicht zu fallen.

Obwohl der Abnutzungsgrad des Bürstenfeldes der Oral- B Prof. Care deutlicher ausfällt als bei der Vitality, ist aufgrund der Ergebnisse kein Bürstenkopf langlebiger.

Die Anpresskraft, die auf den Bürstenkopf einwirkt, sollte bei zukünftigen Prüfständen von unten auf die Bürstenfläche oder von oben auf den gesamten Bürstenkopf angebracht werden um eine einheitlich Kraftausbreitung auf das gesamte Bürstenfeld zu gewährleisten.

Diese Untersuchungen könnten für Verwender von elektrischen Zahnbürsten eine hilfreiche Unterstützung bei der Auswahl und Anwendung geeigneter Modelle sein.

## 8. Zusammenfassung

Ein intaktes Borstenfeld ist die Voraussetzung für eine gute Zahnreinigung ohne Verletzung von Weich- und Hartgewebe. Bei erhöhter Deformation von einzelnen Filamenten oder ganzen Büscheln ist beides nicht mehr gewährleistet.

Die im Gebrauch auftretenden Verschleißerscheinungen an elektrischen Zahnbürsten für Erwachsene werden in dieser Studie mit Hilfe eines selbst entwickelten Prüfstandes untersucht.

Es kamen zwei oszillierend-rotierende Modelle von Oral-B und eine schallaktive Bürste von Phillips zum Einsatz. Oral-B Professional Care 1000, Oral-B Vitality D12013 und Philips Sonicare HX6711/02.

Der Prüfstand sah vor, jeweils eine Zahnbürste aufzunehmen und eine lineare Bewegung durchzuführen. Der Bürstkopf bürstete über die Bukkal- und Okklusalfäche von Fräsacozähnen, die sich in einem Behälter mit Zahnpasta-Suspension befanden. Der Anpressdruck lag zwischen 1,5N und 2,2N. Ausgewertet wurden die Akkulaufzeit und Funktion, die makroskopische Entfärbung der Indikatorborsten mit Deformation des gesamten Bürstenfeldes und die Veränderung der Borstenköpfe mit dem Rasterelektronenmikroskop. Bei jeder Zahnbürste wurden fünf Bürstenköpfe verwendet mit denen durchschnittlich jeweils ca. 300 Minuten gebürstet wurde.

Es zeigte sich, dass die Akkuleistung teilweise deutliche Unterschiede zu den Herstellerangaben aufwies. Zwei Geräte mussten aufgrund von Fehlfunktionen ausgetauscht werden. In der Mechanik der Bürstenkopfbewegung ließ sich zu keiner Zeit eine verminderte Leistung feststellen.

Die Entfärbung der Indikatorborsten und die Deformation des Bürstenfeldes war nach einer Putzzeit von umgerechnet drei Monaten, die von Herstellern empfohlenen Zeit zum Bürstenkopfaustausch, so groß, dass in den folgenden Versuchsreihen kürzere Putzzeiten gewählt wurden. Die Zeit wurde so gewählt, dass die Indikatorborsten zur Hälfte entfärbt waren, welches eine weitere Herstellerempfehlung zum Wechsel des

Bürstenkopfes darstellt. Diese Abnutzungszeichen waren schon sechzig Minuten früher festzustellen, was einer Laufzeit von etwa zweieinhalb Monaten entspricht.

Rasterelektronenmikroskopisch erkennbar ist die Bildung eines zentralen Plateaus in der Borstenmitte nach der einheitlichen Putzzeit von ca. 280 Minuten.

Vor Gebrauch lässt sich bei allen Bürstenkopfmodellen eine einheitlich Rundung feststellen wenn auch, vor allem bei dem Bürstenkopf der Sonicare mit unterschiedlichen Filamentendformen.

Der gesamte prozentuale Grad des Aufspießens zwischen neuem und gebrauchtem Bürstenkopf ist bei der Vitality mit 48,3% deutlich geringer als bei der Prof. Care mit 74,7%. Die Sonicare weist einen ähnlich hohen Aufspießungsgrad mit 74,1% auf.

Beobachtet werden konnte bei den Bürstenköpfen beider Oral- B Zahnbürsten, dass während des Versuches eine tiefbraune Substanz an der Kopfrückseite austrat, in mehr oder weniger großer Deutlichkeit.

Diese Art der In- vitro Studie diene der Beurteilung von Abnutzungserscheinungen unter möglichst praxisnahen Bedingungen.

Die Ergebnisse könnten in einer folgenden In- vivo Untersuchung beurteilt und kontrolliert werden. Außerdem sollte die Herkunft der braunen Substanz geklärt werden und ob eine Gefährdung für den Verbraucher vorliegen könnte.

An dem Bürstenkopf der Schallzahnbürste konnte kein Austritt festgestellt werden. Aus diesem Grund und wegen der hervorragenden Akkulaufzeit wäre die Sonicare vorzuziehen.

## 9. Literaturverzeichnis

Alexander J.F., Saffir A.J., Gold W.: The measurement of the effect of toothbrushes on soft tissue abrasion.

J. Dent. Res. 1977 ; 56 : 717-722

Althaus D., Koçkapan C., Wetzel W.E.: Borstenabrundung und Besteckung bei Kinderzahnbürsten.

Schw. Monatsschr. Zahnmed. 1990; 100: 159-164

Anneroth G., Poppelmann A.: Histological evaluation of gingival damage by toothbrushing.

Acta. Odontol. Scand. 1975; 33: 119-127

AOK Rheinland/Hamburg: Effekte der elektrischen Zahnbürste.

zm-online 2009; 19: 100-104

Brantel J., Berggren U.: Long- term oral effects of manual or electric toothbrush used by mentally handicapped adults.

Clinical Preventive Dentistry 1991; 13: 5-7

Checci L., Farina E., Felice P., Montevecchi M.: The electric toothbrush: analysis of filaments under stereomicroscope.

J. Clin. Period. 2004; 31. 639-642

Dörfer C., Lokvenc M.: In- vitro und In- vivo Untersuchungen zur Reinigungs-Effektivität von vier Handzahnbürsten mit unterschiedlichem Borstenfelddesign bei Anwendung der horizontalen Bürstemethode.

Mund-Zahn-Kieferheilkunde Uni. Heidelberg 2000: 1-2

Ernst C.P., Willershausen G., Driesen G., Warren P.R., Hilfinger P.: A robot system of evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro.

Quintessence Int. 1997; 28: 441-445

Glavind L., Zeuner E. und Attström R. : Oral hygiene instruction of adults by means of a self-instructional manual.

Journal of Clinical Periodontology 1981; 8: 165-176

Glavind L., Zeuner E.: The effectiveness of a rotary toothbrush on oral cleanliness in adults.

J. Clin. Periodont. 1986; 13: 135-138

Grossmann E., Dembling W., Proskin H.: A comparative clinical investigation of the safety efficacy of an oscillating/ rotating toothbrush and a sonic toothbrush.

Journal of Clinical Dentistry 1995; 6: 108-112

Hawkins B.F., Kohout F.J., Lainson P.A., Heckert A.: Duration of toothbrushing for effective plaque control.

Quintessence Int. 1986; 17: 361-365

Hickel R., Bark J.: Quantifizierung der Dentin- Abrasion am menschlichen Zahn- methodische Überlegungen und experimentelle In- vitro Studien unter Verwendung von Zahnbürsten und einer „Zahnputz- Maschine“.  
Poliklinik für Zahnerh. und Parod. Uni. München 2006: 55

Hickel R., Pohlig A.: Vergleich der Plaque-Entfernung zweier elektrischer Zahnbürsten gegenüber einer Handzahnbürste.  
Polikl. für Zahnerh. und Parodont. Uni. München 2006: 145-146

Hickel R., Klotz S.: Klinisch- experimentelle Studie zweier Zahnbürsten im Vergleich über die Wirksamkeit in Bezug auf Gingivitisreduktion und Plaquereduktion an Zahnoberflächen.  
Polikl. Zahnerh. Und Parodont. Uni. München 2009: 92-94

Inotec AP GmbH Automation & Prüftechnik

Jung M., Soydan N., Rubbert F., Wetzel W.E.: Quality of bristle end- rounding on replaceable heads of powered toothbrushes.  
J. Clin. Periodontol. 2005; 32: 604-609

Kielbassa A.M., Gillmann L., Zantner C., Meyer-Lückel H., Hellwig E., Schulte- Monting J.: Profilometric and microradiographic studies on the effects of toothpaste and acidic gel abrasivity on sound and demineralized bovine dental enamel.  
Caries Res. 2005; 39(5): 380-6

Klimek J., N. Soydan: Die Qualität der Borstenabrundung bei Wechselköpfen elektrischer Erwachsenen- Zahnbürsten.  
Zahnerh. Univ. Gießen 2008: 55-85

Kreifeld J.G., Hill P.H., Calisti L.J.: A systematic study of the plaque removal efficiency of worn toothbrushes.  
J. Dent: Res. 1980 ; 59 : 2047-2055

Lehmann, Hellwig : Einführung in die restaurative Zahnheilkunde.  
Urban & Schwarzenberg 1998; 8. Auflage: 94-97

Lentz D.L., McDaniel M.D., Tolbert W.E., Dean D.H.: Toothbrush abrasion caused by different dentifrices.  
Quintessence Int. 1991; 22: 985-8

Lewis R., Dwyer-Joyce R.S., Pickles M.J.: Interaction between toothbrushes and toothpaste abrasive particles in simulated tooth cleaning.  
Wear 2004; 257: 368-376

Mayer C.M.: Effizienz neuer Handzahnbürsten und Zahnpasten bei der Reinigung von festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen.  
MedDiss Uni. Ulm 2000

McCracken G.I., Janssen J., Swan M., Steen N., de Jager M., Heasman P.A.: Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush.  
J. Clin. Periodontol. 2003; 30: 409-413

Meyer- Lückel H., Borchert N., Roggensack M., Munz I., Kielbassa A.M.: Die Qualität der Borstenabrundung von zehn Kinderzahnbürsten.  
Schw. Monatsschr. 2004; 114: 564-572

Nygaard-Østby P., Edvardsen S., Spydevold B.: Access to interproximal tooth surfaces by different bristle designs and stiffness of toothbrushes.  
Scan. J. Res. 1979; 87: 424-430

Oral- B: Zahnbürsten für die Welt.  
DAK Magazin fit! 2008 ; 4 : 1

Ott K.H.R., Baumeister D.W.: Laseroptische Untersuchungen zum Abrasions-Verhalten moderner elektrischer Zahnbürsten nach robotergestützter Langzeitputz-Simulation.  
Polikl. für Zahnerh. Univ.klinikum Münster 2009: 15-27

Ott K.H.R., Baldy L.: Studie zur standardisierten Analyse der Reinigungseffektivität elektrischer Zahnbürsten.  
Polikl. für Zahnerh. Univ.klinikum Münster 2007: 69-71

Öko- Test: Elektrische Zahnbürsten: Auf den Putz gehauen  
Testbericht 2005: 1-3

Paul M., Strauss J.: Klinische Effektivität zweier neuartiger elektrischer Zahnbürsten im Vergleich zu einer konventionellen Handzahnbürste.  
Mediz. Fakultät der Charite-Univ.med. Berlin 2006: 3

Petschelt A., Hopp I.: Zeitabhängige Putzeffektivität unterschiedlich großer Putzaufsätze für die Sonicare Schallzahnbürste.  
Zahnkl. für Zahnerh. und Parodont. Uni. Erlangen-Nürnberg 2010: 6-7

Quigley G.A., Hein J.W.: Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing.  
JADA 1962; 65: 26-29

Rawls H.R., Mkwai-Tulloch N.J., Casella R., Cosgrove R.: The measurement of toothbrush wear.  
J. Dent. Res. 1989 ; 68 : 1781-1785

Rawls H.R., Lentz D.L., Cobb G.W., Bailey M.S., Spencer J., Williams D.A., Walley D., Vidra J.: Interproximal penetration of commercial toothbrushes as determined by static and dynamic tests using recommended brushing techniques.  
J. Clin. Dent. 1993; 4: 88-95

Reiter C., Wetzell W.E.: Bearbeitung der Borstenenden bei Interdentälbürsten.  
Schweiz. Monatsschr. Zahnmed. 1991; 101: 431-437

Remizov S.M., Pruzhanskii L.I.: The effect of toothbrushes on human dental enamel and dentin wear.  
Stomatologija ( Mosk )1990; 4: 4-6

Rosema N.A.M., Timmerman M.F., Piscaer M., Strate J., Warren P.R., Van der Velden U., Van der Weijden G.A.: An oscillating/ pulsating electric toothbrush versus a high- frequency electric toothbrush in the treatment of gingivitis.  
J. Dent. 2005; 33: 29-36

Sander C., Sander F.M.: Abrasionswerte im Vergleich.  
Zm- online 2005;7: 44-50

Sander F.G., Völker K. : Putzeffizienz neuer Handzahnbürsten unter Verwendung eines 4- Achsen Roboters.  
Universitätsklinikum Ulm 2005; 14-20

Sander F.G.,Wiethoff H.C.: Das Abrasionsverhalten verschiedener Zahnpastatypen auf Acrylaten.  
Kieferorthopädie Uni. Ulm 2006: 67

Schemehorn B.R., Zwart A.C.: The dentin abrasivity potential of a new electric toothbrush.  
Am. J. Dent. 1996; 9: 19-20

Setzwein M.: Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der approximalen Reinigungswirkung von neuen Zahnbürstendesigns.  
Dissertation, LMU München: Mediz. Fakultät 2002; Abstract: 1

Sharma N.C., Galustians H.J., Qaqish J., Cugini M., Warren P.R.: A comparison of the Braun Oral-B 3D plaque remover and the Sonicare plus electric toothbrush in removing naturally occurring extrinsic staining.  
Am. J. Dent. 2000; 13(1): 17-20

Sharma N.C., Qaquish J.G., Galustians H.J., Cugini M., Thompson M.C., Warren P.R.: Plaque removal effiacy and safety of the next generation of manual toothbrush and angled bristle technology: results from three clinical studies.  
Am. J. Dent. 2005; 18: 3-7

Shory N.L., Mitchell G.E., Jamison H.C.: A study of the effectiveness of two types of toothbrushes for removal of oral accumulations.  
Journal Am. Dent. Ass. 1987; 115: 717-720

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

Sorensen J.A., Nguyen H.K.: Evaluation of toothbrush- induced dentin substrate wear using an in vitro ridged- configuration model.  
Am. J. Dent. 2002; 15(6): 416

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

Van der Weijden G.A., Timmerman M.F., Piscoer M., Ijzerman Y., Warren P., Van der Velden U.: A comparison of the efficacy of a novel electric toothbrush and a manual toothbrush in the treatment of gingivitis.  
Am. J. Dent. 1998; 11: 23-28

Van der Weijden G.A., Timmerman M.F., Danser M.M., Van der Velden U.: Relationship between the plaque removal efficiency of a manual toothbrush and brushing force.  
J. Clin. Periodontol. 1998; 25: 413-416

Van Nüss K., Friedl K.-H., Hiller K.-A., Hornecker E., Mausberg R.F., Ziebolz D.: Untersuchung zur Abnutzung von Handzahnbürsten unterschiedlicher Preiskategorie.  
Schweiz. Monatsschr. Zahnmed. 2010; 120: 756-763

Volpenhein D.W., Walsh M.D., Dellermann P.A., Burkett T.A.: A new method of in vitro evaluation of the interproximal penetration of manual toothbrushes.  
J. Clin. Dent. 1994; 5: 27-33

Walsh M., Glenwright H.: Relative effectiveness of rotary and conventional toothbrush in plaque removal.  
Commun. Dent. Oral Epidemiol. 1984; 12: 160-164

Warren P.R., Cugini M., Marks P., King D.W.: Safety, efficacy and acceptability of a new power toothbrush: a 3- month comparative clinical investigation.  
Am. J. Dent. 2001; 14(1): 3-7

Wetzel W.-E., Kröger T.: Vergleich der mikrobiellen Besiedelung von Zahnbürsten mit Bündelstanz-, Bündeleinspritz- und Bündeleinfügebsteckung nach zweiwöchigem Gebrauch.  
Polikl. Für Kinderzahnheilk. Justus-Liebig-Universität Gießen 2007: 42-49

Woodall I.R., Wiles C.: Oral Health Strategies: Preventing and Controlling Dental Disease.  
Comprehensive Dental Hygiene Care 1993; 4: 427-453

Ziebolz D., Van Nüss K., Hornecker E., Mausberg R.F.: Eine Untersuchung gebrauchter Handzahnbürsten- Ergebnisse einer Umtauschaktion. 28: 54-59  
Oralprophylaxe 2006;

Zimmer S., Didner B., Roulet J.F.: Klinische Studie zur Effektivität von elektrischen Zahnbürsten.  
Prophyl.-Impuls 1999; 3: 164-167

Zimmer S., Fabricius C.: Klinische Effektivität einer dreiköpfigen schallaktiven Zahnbürste im Vergleich zu einer einköpfigen schallaktiven Zahnbürste und einer Handzahnbürste.  
Polikl. für Zahnerh. Uni. Düsseldorf 2008: 81-82

## Danksagung

Mein Dank gilt dem Anwenderzentrum Material- und Umweltforschung der Universität Augsburg für die großzügige Bereitstellung des Rasterelektronenmikroskopes.