

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. dent. R. Hickel

**Quantifizierung der Dentin-Abrasion am menschlichen Zahn -
methodische Überlegungen und experimentelle In-vitro-Studien unter
Verwendung von Zahnbürsten und einer „Zahnputz-Maschine“**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von
Jörg Bark
aus
Magdeburg
2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. K.-H. Kunzelmann

Mitberichterstatter: Prof. Dr. D. Edelhoff
Priv. Doz. Dr. A. Büttner

Mitbetreuung durch den
Promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 19.10.2006

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. Kunzelmann für die freundliche Überlassung des zwar aufwendigen, aber interessanten Themas, für sein Interesse am Fortgang der Arbeit sowie für fruchtbare Diskussionen und wertvolle Hinweise.

Mein weiterer Dank richtet sich an die Herren Gloger und Hiebel für kluge Ratschläge zur Informationsverarbeitung sowie für die qualifizierte technische Umsetzung der Veränderungsvorschläge bei der Modifizierung der „Zahnputzmaschine“.

Schließlich danke ich all´denen, die mir beim „Sammeln“ der extrahierten Zähne behilflich waren.

1	Einleitung	1
2	Theoretische Bemerkungen	3
2.1	Zahnaufbau	3
2.2	Keilförmige Defekte der Zähne	4
2.3	Gingivaläsionen durch Zahnbürsten	5
2.4	Physikalische Überlegungen und Voraussetzungen	5
3	Fragestellungen	7
4	Methode	8
4.1	Verwendete Zahnbürsten	8
4.1.1	Elmex inter X sensitive	8
4.1.2	Elmex inter X medium	10
4.1.3	Oral B Cross Action	11
4.1.4	Oral B Advantage Plus	15
4.1.5	Blend-a-dent Professional sensitive	17
4.1.6	Blend-a-dent Professional mittel	20
4.1.7	Blend-a-dent Professional hart	22
4.1.8	Dr. Best Brillant sensitive	24
4.1.9	Dr. Best X-Sensorkopf sensitive	26
4.1.10	Dr. Best X-Sensorkopf mittel	28
4.1.11	Meridol	30
4.1.12	ADA Control	31
4.2	Putzmaschine	32
4.3	Dentinproben	34

4.3.1	Gewinnung der Proben	35
4.3.2	Einbettung der Proben	36
4.4	Standard-Abrasivslurry-Lösung	37
4.5	Versuchsdurchführung	38
4.5.1	Probeneinbau	39
4.5.2	Bürsteneinbau	40
4.5.3	Vorbereitungen an der Maschine	41
4.5.4	Zyklenzahl	42
4.5.5	Anpreßdruck der Bürsten auf die Proben	42
4.6	Gewinnung der Meßdaten	42
4.6.1	Probenbehandlung	43
4.6.2	Funktionsweise des Laserscanners	44
4.6.3	Verwendete Software	45
4.7	Statistik	45
4.8	Maßnahmen zur Randomisierung und Fehlerminimierung	46
5	Ergebnisse der Abrasions-Studie	49
6	Diskussion und Schlußfolgerungen	53
6.1	Ergebnisdiskussion zur Abrasions-Quantifizierung	53
6.2	Kritische Würdigung von Fragestellung und Methodik	56
6.2.1	Fragestellung	56
6.2.2	Methodik	57

7	Zusammenfassung und Ausblick	63
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	68
9	Anhang: Abbildungen, Tabellen und Versuchsanleitungen	78
10	Lebenslauf	97

1 Einleitung

Die Diskussionen, Empfehlungen wie Spekulationen über notwendige Gesundheitsstrukturreformen reißen nicht ab. Einigkeit herrscht darüber, daß der Prophylaxe ein zunehmend hoher Stellenwert zukommt sowohl in der Humanmedizin als auch in der zahnärztlichen Versorgung; schließlich werden dadurch der Gesellschaft – wie auch dem einzelnen – Mühen und Kosten erspart.

Speziell für die Zahngesundheit gelten u.a. folgende Säulen als evident:

Es ist unbestritten, daß regelmäßige Kontrollen durch den Zahnarzt eventuelle Schäden frühzeitig erkennen lassen und somit ein rasches Eingreifen ermöglichen.

Hierbei hat in den letzten Jahren auch die Fissurenversiegelung als prophylaktische Maßnahme massiv an Bedeutung und Verbreitung gewonnen.

Fluoridierungsmaßnahmen erhöhen darüber hinaus die Widerstandskraft der Zähne gegenüber pathogenen Einflüssen und ermöglichen gegebenenfalls eine Remineralisation.

Ernährungsberatung und Ernährungslenkung gerade in Bezug auf die Reduzierung der Häufigkeit der Aufnahme niedermolekularer Kohlenhydrate ermöglichen es, den kariesmitverursachenden Mikroorganismen das notwendige Substrat zu entziehen.

Nicht zuletzt seien regelmäßige Reinigungsmaßnahmen erwähnt, um Zahnbeläge zu entfernen, bevor Schäden an Zähnen oder Zahnhalteapparat entstehen.

Hierbei ergänzen sich Zahnbürste, Zahnpasta, Mundspüllösungen, Zahnseide und eine geeignete Putztechnik zur effizienten Mundhygiene.

Unabdingbare Voraussetzung für eine wirksame Pflege der Zähne und eine hochwertige zahnärztliche Versorgung sind gezielte Forschung und Entwicklung auf diesen Gebieten.

So hat die Zahnbürste eine rasante technologische, aber auch ästhetische Entwicklung erfahren auf dem Wege der notwendigen Verbesserung von Zahnerhaltung und Mundhygiene.

Die vorliegende Studie widmet sich in diesem Sinne der Überprüfung von überwiegend in der täglichen Zahnpflege verwendeten Zahnbürsten mit Hilfe einer Zahnputzmaschine.

Dabei wird die Abrasion am Dentin überprüft mit dem Ziel der Feststellung von hervorragenden Eigenschaften bis hin zu Mängeln der Zahnbürsten und somit zu möglichen Schlußfolgerungen für weitere innovative Veränderungen bei deren Herstellung.

Ein nicht unerhebliches Ziel besteht zudem in der methodischen Bearbeitung von Versuchsaufbau und -durchführung zur Optimierung nachfolgender Experimente und Untersuchungen.

2 Theoretische Bemerkungen

2.1 Zahnaufbau

Der weitaus größte Teil des menschlichen Zahnes besteht aus Dentin, welches den ersten „Schutzmantel“ für die in ihm liegende Pulpa bildet. Der Hauptbestandteil ist locker gefügtes Bindegewebe mit zahlreichen Zellen, interzellulärer Grundsubstanz, retikulären wie auch kollagenen Fasern und nicht zuletzt auch Nerven und Gefäßen (Hellwig *et al.*, 1999b). Das Dentin wird wiederum im Kronenbereich von Zahnschmelz und im Wurzelbereich vom Wurzelzement bedeckt.

Schmelz, Dentin und Zement stellen gemeinsam die Zahnhartsubstanz des menschlichen Zahnes dar.

Hierbei ist der Zahnschmelz die härteste Substanz des menschlichen Körpers mit einer Vickershärte von 250-550 und einer Druckfestigkeit von 300-450 MPa. Sein Elastizitätsmodul beträgt 50000-85000 MPa (Körber, 1995).

Das Dentin hingegen ist wesentlich elastischer (Elastizitätsmodul 15000-20000 MPa), da es über einen deutlich höheren Anteil an organischer Substanz verfügt. Die Vickershärte beträgt beim Zahnbein 60-70 und die Druckfestigkeit liegt bei 200-350MPa (Körber, 1995).

Der Wurzelzement ist in seiner Struktur wie auch Härte dem menschlichen Knochen ähnlich, ohne wie dieser vaskularisiert zu sein.

Er gehört bereits zum Zahnhalteapparat, da an ihm die parodontalen Fasern ansetzen, die die Zähne in der Alveole beweglich verankern (Hellwig *et al.*, 1999b).

2.2 Keilförmige Defekte der Zähne

Keilförmige Defekte entstehen meist in direkter Nähe zur Schmelz-Zement-Grenze (Schröder, 1991). Diese keilförmige Läsion ist dabei primär im Zahnschmelz lokalisiert und findet sich vor allem im bukkalen und labialen Bereich von Frontzähnen und auch Prämolaren. Die ersten Prämolaren sind hierbei besonders häufig betroffen (Hellwig *et al.*, 1999a). Die Entstehung dieser Läsionen durch das Zähneputzen wurde bereits in In-vitro-Studien nachvollzogen (Litonjua *et al.*, 2004a).

Die im Längsschnitt dreieckigen Einkerbungen besitzen eine glatte, glänzende Oberfläche und reichen oftmals tief in das Dentin hinein. Unterminierungen des Schmelzes werden ebenso beobachtet. Die Ursache dieser Defekte wird überwiegend mechanisch-abrasiven Vorgängen zugeschrieben, ist aber abschließend noch nicht umfassend geklärt. Stark abrasiven Zahnpasten, einer falschen Putztechnik und nicht zuletzt ungeeigneten Zahnbürsten dürfte hier jedoch erhebliche Bedeutung zukommen.

Fehlbelastungen durch Zähneknirschen oder auch okklusale Störkontakte u.a. können zu einer Biege-und/oder Zugbelastung im Bereich der Zahnhäule führen und begünstigen somit - wie auch Attrition und Abrasion - die Entstehung solcher keilförmiger Defekte (Litonjua *et al.*, 2004b; Pintado *et al.*, 2000a).

2.3 Gingivaläsionen durch Zahnbürsten

Nach heutigem Erkenntnisstand scheinen zwei Ursachen für die Entstehung und Progredienz parodontaler Rezessionen zu existieren. Erstens mechanische Traumata durch aggressive, nicht korrekte Mundhygienemaßnahmen (Joshi *et al.*, 1994; Vehkjalathi, 1989) und zweitens bakterielle Infektionen des Parodonts (Schröder and Lindhe, 1976). Logischerweise schließen sich diese Ursachen gegenseitig nahezu aus, so daß im Einzelfall nur selten beide Ursachen gleichzeitig verantwortlich gemacht werden können (Flemming and Ehmke, 1997; Müller, 2001).

Zähneputzen mit zu hohem Anpreßdruck, allgemein falsche Zahnputztechniken, sehr harte Zahnbürsten, nicht abgerundete Borsten, chemisch aggressive Spüllösungen oder auch Zahnpasten können für einen Großteil der traumatisch entstandenen Schäden verantwortlich gemacht werden.

2.4 Physikalische Überlegungen und Voraussetzungen

Eine Zahnbürste besitzt viele, teilweise verschieden beschaffene Einzelborsten. Wie jedoch läßt sich das physikalische Verhalten einer einzelnen Borste beschreiben? Man kann die Borste im Prinzip physikalisch mit einem Klammerdraht vergleichen, der werkstoffkundlich bezüglich Auslenkung und Kraftverteilung bereits sehr genau und gut untersucht wurde (Marxkors and Meiners, 2001).

Die nachfolgende Formel kann mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Klammerdraht auf die Borste übertragen werden, da die Borste einen ebenso runden Querschnitt besitzt.

$$y = \frac{4 \cdot l^3}{3 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot E} \cdot K$$

Hier wird beschrieben, daß die Auslenkung y am Ende der Borste proportional zur senkrecht auf die Borste wirkenden Kraft K ist.

Dabei fällt die Auslenkung y umso größer aus, je länger (l) die Borste ist (l steht im Zähler).

Ein größerer Borstenradius (r) und ein großes Elastizitätsmodul (E) hingegen verringern die Auslenkung (y) bei gleicher Kraft (K), wie aus obiger Formel abgelesen werden kann.

Selbstverständlich ist das Verhalten eines kompletten Bürstenkopfes, der wiederum aus mehreren Büscheln mit zahlreichen Einzelborsten besteht, wesentlich komplexer als es die obige Formel darstellen kann.

So stützen sich benachbarte Borsten gegenseitig ab.

Außerdem erhöht sich die Kontaktfläche zwischen Zahn und Zahnbürste mit zunehmender Durchbiegung der Einzelborsten.

3 Fragestellungen

Auf dem Hintergrund der theoretischen Erörterungen ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Mit welcher Methode können validierbare Ergebnisse bezüglich der Dentinabrasion gewonnen werden?
- Hat das Bürstendesign Auswirkungen auf die Dentinabrasion; insbesondere interessiert in diesem Kontext die Wirkung der Borstenhärte und -anordnung.
- Ist ausschließlich humanes Dentin als Probenmaterial geeignet und steht es auch in hinreichender Menge zur Verfügung?

4 Methode

4.1 Verwendete Zahnbürsten

Es sollten aktuell frei käuflich erwerbbar Zahnbürsten der führenden Hersteller mit starkem Marktdurchsatz zum Einsatz kommen. Hierbei lag das Augenmerk insbesondere auf Bürsten mit modernem Bürstendesign, also mit gekreuzten Borstenbüscheln.

Als Referenz diente die Standardbürste der ADA, die „ADA-Control“.

Nachfolgend sollen genauere Beschreibungen der verwendeten Modelle die Ausgangssituation verdeutlichen.

4.1.1 Elmex inter X sensitive

Die „Elmex inter X sensitive“ existiert in zwei Ausführungen: erstens Normalkopf und zweitens als Kurzkopfvariante. In den Untersuchungen kam jedoch nur die Normalkopfversion zum Einsatz. Diese besitzt einen abgerundeten Bürstenkopf von ungefähr 30mm Länge und zirka 13,7mm Breite.

Sie besitzt insgesamt 36 Borstenbüschel. Davon sind 10 Büschel schräg angeordnet und bestehen aus farbigen (hier grünen) Borsten. Ein solches grünes Büschel besteht aus 50 Einzelborsten mit einer Gesamtlänge von je 11,75mm ab-



Abbildung 1: Bürstenkopf der Elmex inter X sensitive in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von oben nach unten)

solut und 11,5mm im rechten Winkel zur Bürstenoberfläche gemessen. Die weißen Büschel bestehen aus 52 Einzelborsten. Sie sind gerade (senkrecht zur Bürstenoberfläche) angeordnet und besitzen am Ende des Bürstenkopfes (5Büschel) eine Länge von 11,7mm. Die 19 weißen kurzen, ebenfalls gerade angeordneten Büschel haben eine Länge von 10,3mm. Die 2 restlichen weißen Büschel befinden sich am Übergang zwischen den kurzen und langen weißen Büscheln. Hier sind die Einzelborsten schräg abgetrennt. Die Länge der einzelnen Borsten variiert innerhalb dieser Büschel von 10,3mm bis 11,7mm. Die Büschel besitzen jeweils eine Metallverankerung. Unter dem Mikroskop lässt sich erkennen, daß die Borstenenden abgerundet sind, wie nachfolgende Abbildungen verdeutlichen.

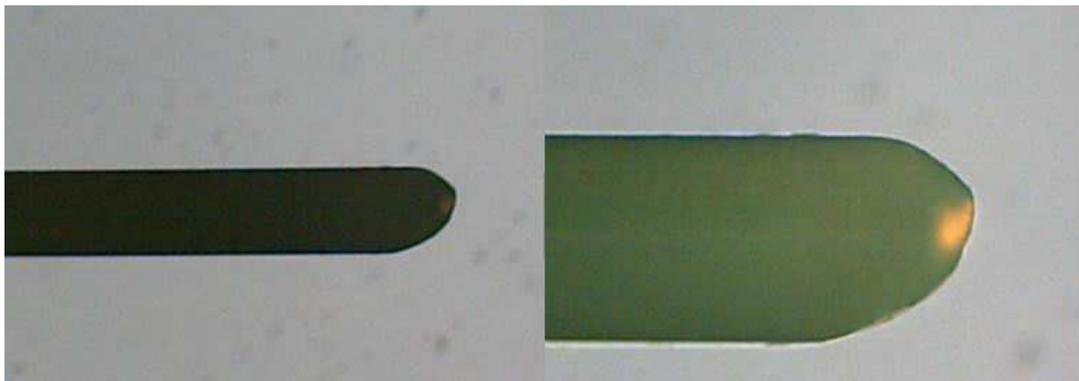


Abbildung 2: Ende der grünen Borste der Elmex inter X sensitive – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

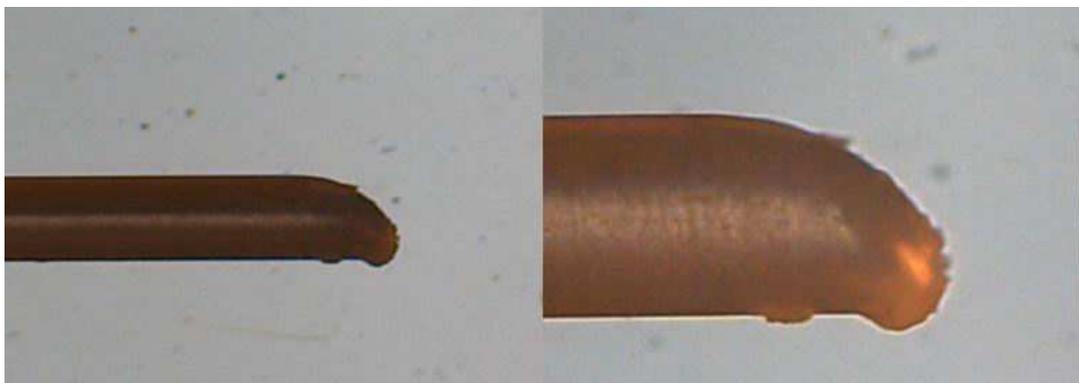


Abbildung 3: Ende der weißen kurzen Borste der Elmex inter X sensitive – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

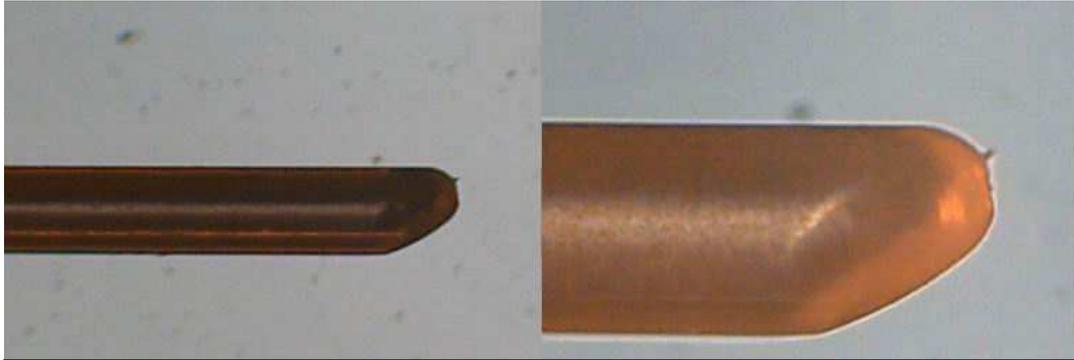


Abbildung 4: Ende der weißen langen Borste der Elmex inter X sensitive – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

4.1.2 Elmex inter X medium

Die „Elmex inter X medium“ stimmt mit der „Elmex inter X sensitive“ in Abmaßen und Form völlig überein. Die farbigen Borsten sind hier jedoch nicht grün, sondern orange. Die ebenfalls 36 Borstenbüschel besitzen die gleiche Anordnung und Länge wie die Büschel der „Elmex inter X sensitive“.

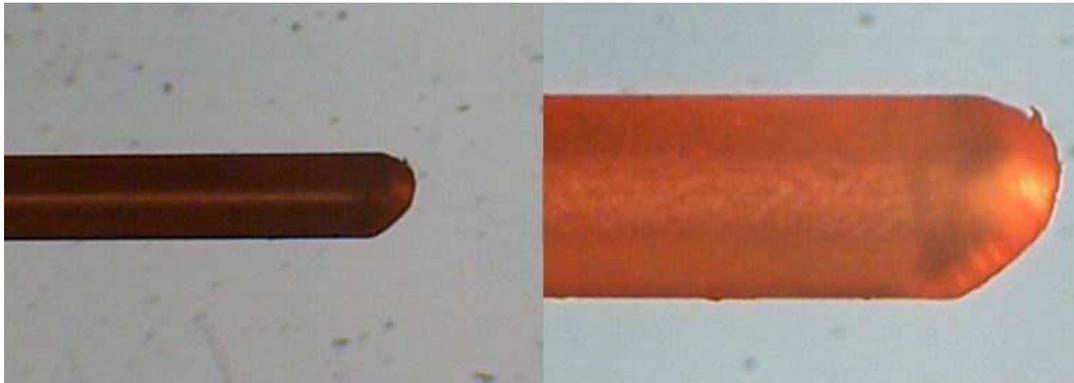


Abbildung 5: Ende der orangenen Borste der Elmex inter X medium – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Allerdings bestehen Unterschiede bezüglich der Borstenanzahl innerhalb der Büschel. Die langen weißen Büschel umfassen 36 Filamente, die

kurzen weißen bestehen aus 38 Einzelborsten und die schräg gestellten orangenen Büschel setzen sich aus 50 Borsten zusammen.

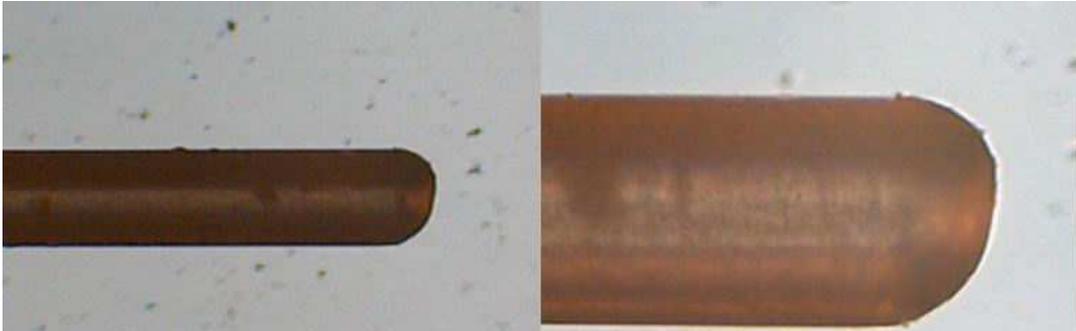


Abbildung 6: Ende der weißen kurzen Borste der Elmex inter X medium – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

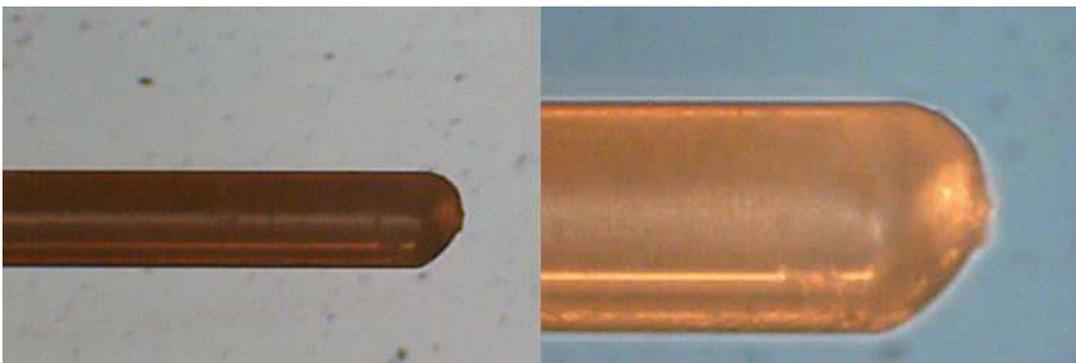


Abbildung 7: Ende der weißen langen Borste der Elmex inter X medium – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Auch hier findet sich in jedem Büschel ein Metallanker.

Die einzelnen Borsten sind ebenfalls abgerundet.

4.1.3 Oral B Cross Action

Die „Oral B Cross Action (Kurzkopf)“ besitzt ebenfalls einen abgerundeten Bürstenkopf von ungefähr 27mm Länge und 13mm Breite. Sie besitzt ins-

gesamt 25 Borstenbüschel, welche allesamt geneigt bzw. schräg zur Bürstenoberfläche angeordnet sind.

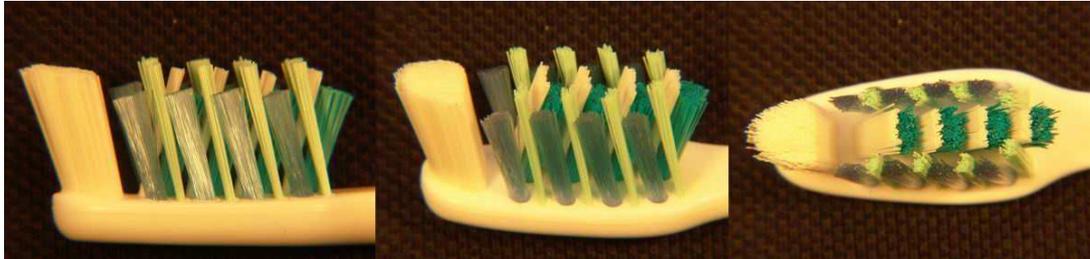


Abbildung 8: Bürstenkopf der Oral B Cross Action – Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

Die Verankerung geschieht durch Umspritzen mit Kunststoff. Das Design ist recht komplex, da 5 in Anordnung, Farbe, Länge und Borstenzahl verschiedene Büschel an dieser Bürste existieren:

- Ein Büschel am Ende des Bürstenkopfes mit weißen Borsten, die zum Kopfende geneigt sind. Dieses Büschel ist besonders dick und enthält gemäß unserer Zählung 754 Einzelborsten mit einer absoluten Länge von 11,8mm beziehungsweise einer senkrecht zum Bürstenkopf gemessenen Länge von 10,7mm.

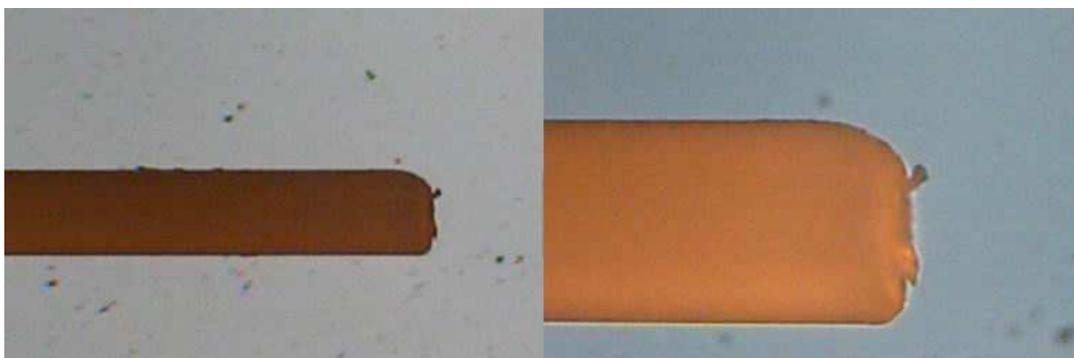


Abbildung 9: Ende einer weißen Borste (aus dem dicken Büschel am Kopfende) der Oral B Cross Action – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Acht (kurze) blaue, ebenfalls zum Kopfbende geneigte Büschel, die links und rechts an der Außenseite des Bürstenkopfes angeordnet sind. Hier enthält ein Büschel je 80 Einzelborsten von absolut 10,2mm Länge (10,7mm senkrecht zum Bürstenkopf).

Diese Borsten dienen als Indikatoren für einen Bürstentausch. Durch Verblässen der Farbe sollen sie den Nutzer auf einen fälligen Wechsel hinweisen.

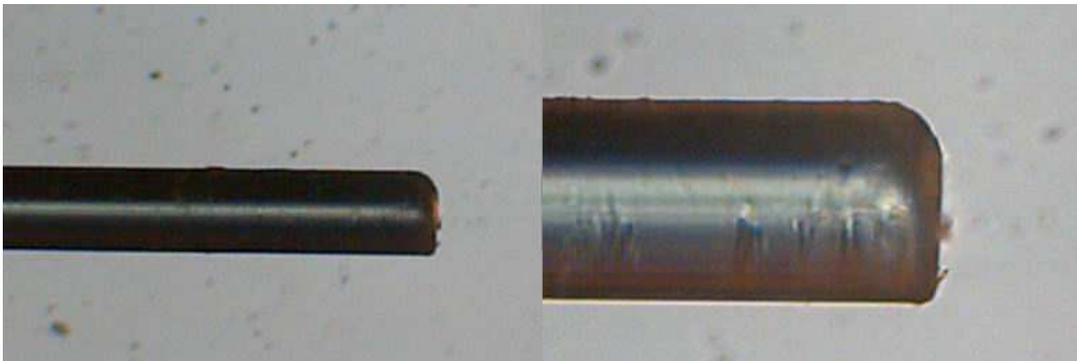


Abbildung 10: Ende einer kurzen blauen Borste an der Außenseite der Oral B Cross Action – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Alternierend zu den oben beschriebenen Büscheln finden sich noch acht (lange) hellgrüne, ebenfalls zum Kopfbende geneigte Büschel an den Außenseiten des Bürstenkopfes. Diese Büschel bestehen aus 40 Einzelborsten von absolut 12,5mm Länge (senkrecht zur Bürste gemessen 12,2mm).

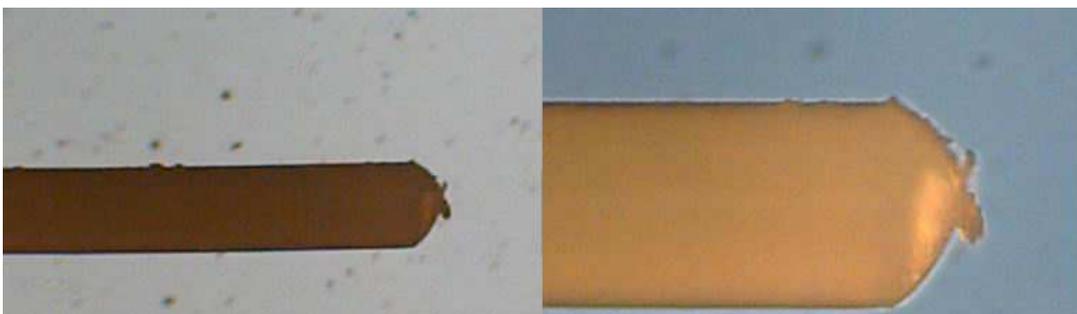


Abbildung 11: Ende einer langen grünen Borste an der Außenseite der Oral B Cross Action – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Vier weiße, zum Stiel geneigte (lange) Büschel befinden sich in der Mitte des Bürstenkopfes. Die Büschel beinhalten 68 Einzelborsten mit einer absoluten Länge von 12,2mm (senkrecht zur Bürste gemessen 11,8mm).

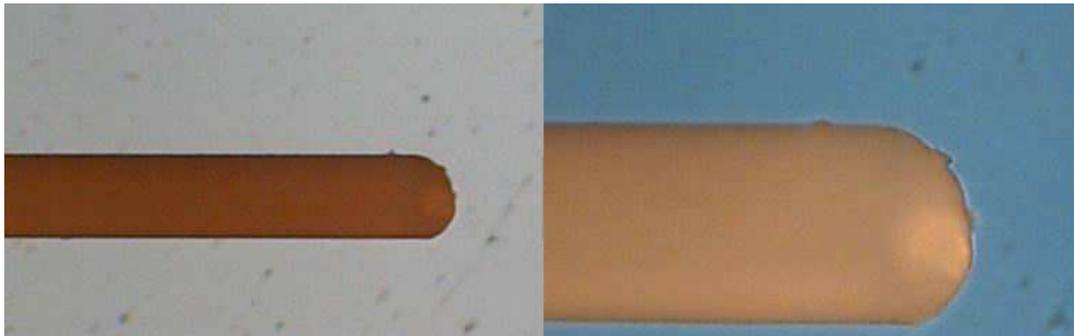


Abbildung 12: Ende einer langen weißen Borste an der Innenseite der Oral B Cross Action – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwischen den vorher beschriebenen Büscheln befinden sich wiederum vier dunkelgrüne (kurze), ebenfalls zum Stiel geneigte Büschel mit jeweils 202 Einzelborsten von absolut 9,6mm (9,0mm senkrecht zur Bürste gemessen) Länge.

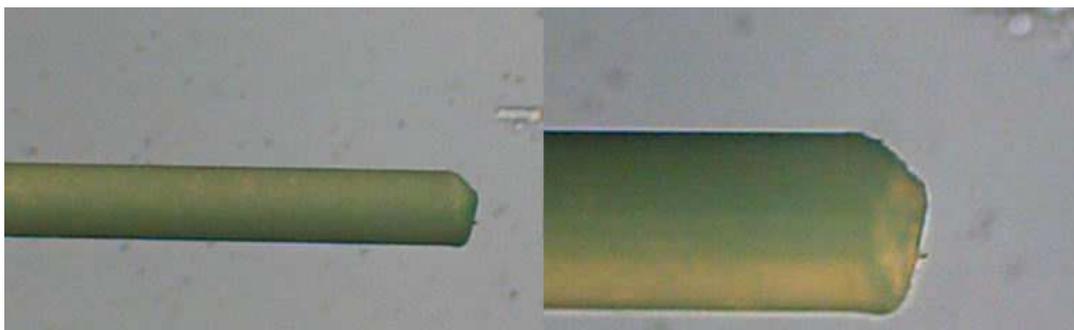


Abbildung 13: Ende einer kurzen dunkelgrünen Borste an der Innenseite der Oral B Cross Action – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Auch hier sind alle Borsten maschinell abgerundet (Zimmer, 2003; Zimmer, 2005d).

4.1.4 Oral B Advantage Plus

Die „Oral B Advantage Plus (Kurzkopf)“ besitzt einen abgerundeten Bürstenkopf von 11,4mm Breite und einer Länge von ungefähr 29mm.

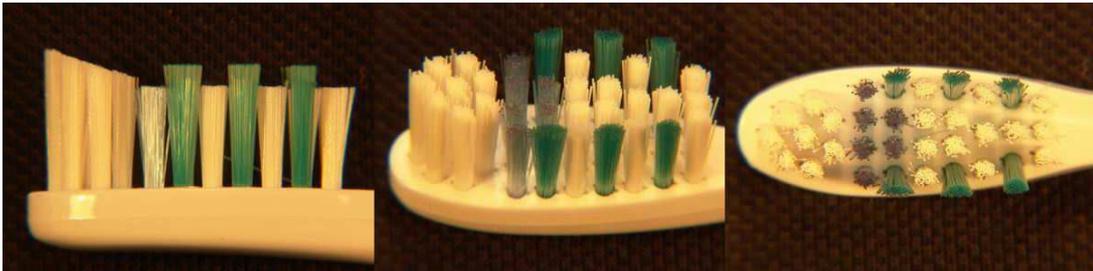


Abbildung 14: Bürstenkopf der Oral B Advantage Plus - Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

Sie besitzt ebenfalls mehrere verschieden beschaffene Borstenbündel, die ausnahmslos gerade, also senkrecht zum Bürstenkopf angeordnet sind:

- Dreizehn weiße (kurze) Bündel mit jeweils 76 Einzelborsten von 8,8 bis 9mm Länge.

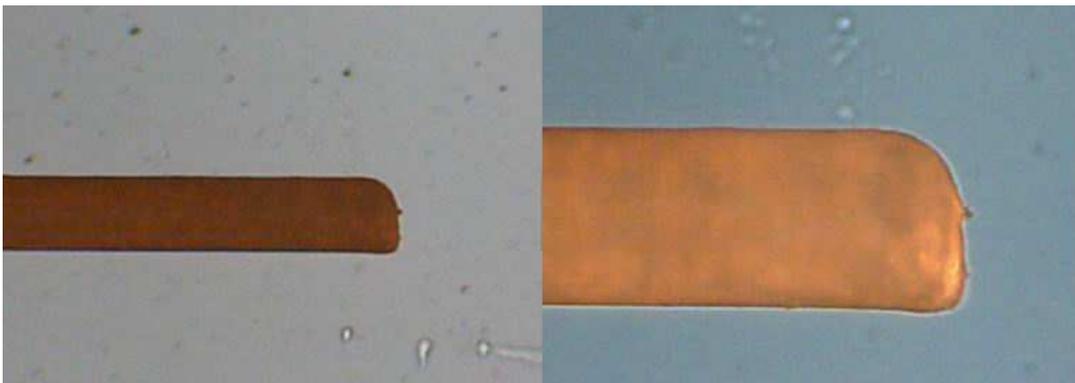


Abbildung 15: Ende einer kurzen weißen Borste der Oral B Advantage Plus – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Sechs türkisfarbene (lange) Büschel an den Außenseiten des Bürstenkopfes mit jeweils 54 Einzelborsten von 10,9mm Länge.



Abbildung 16: Ende einer langen grünlich-türkisfarbenen Borste an der Außenseite der Oral B Advantage Plus – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Sechs blaue (kurze) Büschel mit je 46 Einzelfasern von 9mm Länge. Diese Borsten haben wiederum Indikatorfunktion. Durch Verblässen der Farbe soll hierbei ein notwendiger Bürstentausch signalisiert werden.



Abbildung 17: Ende einer kurzen blauen „Indikator“-Borste der Oral B Advantage Plus – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Acht Büschel am Ende des Bürstenkopfes besitzen je 80 weiße Einzelborsten. Durch den schrägen Schnitt differieren diese in ihrer Länge von 9,5 bis 12mm.

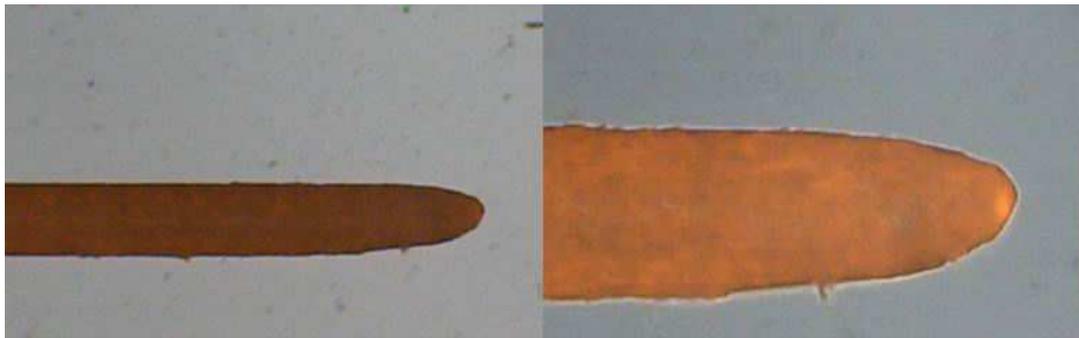


Abbildung 18: Ende einer langen weißen Borste vom Kopfende (dickes Büschel) der Oral B Advantage Plus – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Wiederum sind sämtliche Borsten maschinell abgerundet. Die Büschel besitzen einen Metallanker.

4.1.5 Blend-a-dent Professional sensitiv

Auch die „Blend-a-dent Professional sensitiv (regular)“ verfügt über einen abgerundeten Bürstenkopf.



Abbildung 19: Bürstenkopf der Blend-a-dent Professional sensitiv - Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

Der Kopf mißt 14,3mm in der Breite und ca. 33mm in der Länge. Insgesamt besitzt die Bürste 44 Borstenbüschel:

- Neun schräg abgeschnittene und zum Kopfende geneigte Büschel mit jeweils 46 violetten Borsten. Durch den Schrägschnitt ergeben sich Längen für die Einzelborsten von 9,8 bis 12,3mm.

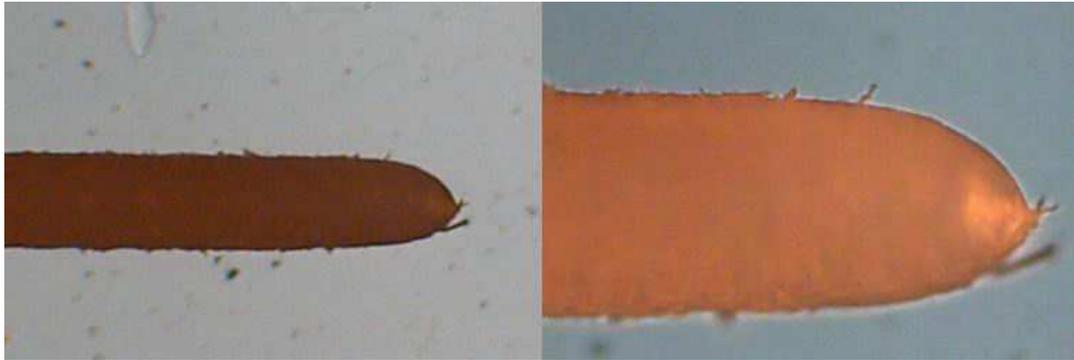


Abbildung 20: Ende einer violetten Borste vom Kopfende (schräg abgetrennte Büschel) der Blend-a-dent Professional sensitiv – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwölf weiße und gerade Büschel, die sich an den Außenseiten des Kopfes befinden. Jedes Büschel besteht aus 58 Einzelfilamenten von 11mm Länge.

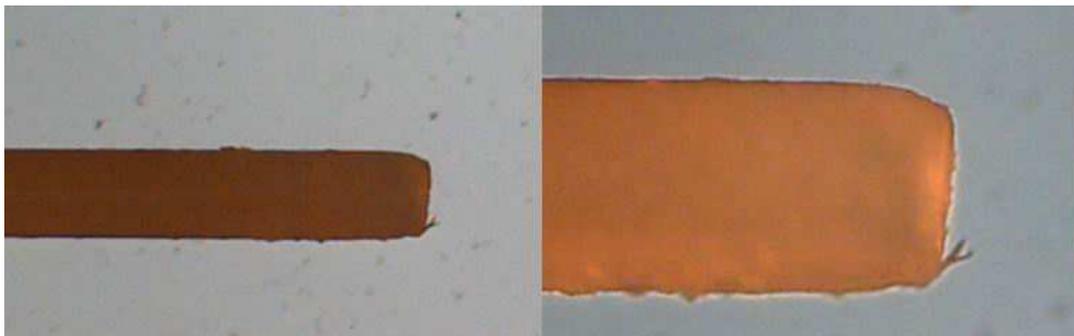


Abbildung 21: Ende einer weißen Borste der Blend-a-dent Professional sensitiv – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Elf blaue, in verschiedene Richtungen geneigte Büschel in der Mitte des Bürstenkopfes. Jedes Büschel beinhaltet 30 Einzelfilamente von ebenfalls 11mm Länge.

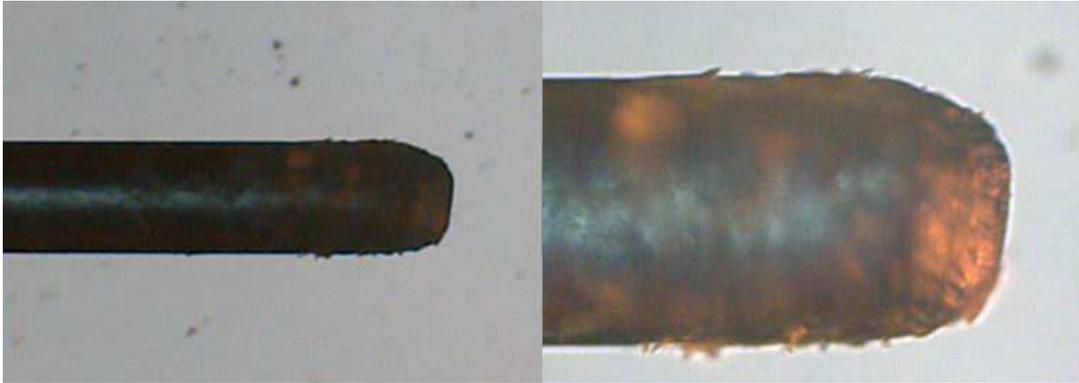


Abbildung 22: Ende einer blauen Borste der Blend-a-dent Professional sensitiv – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwischen den oben aufgeführten Büscheln befinden sich zusätzlich 12 violette, ebenfalls geneigte Büschel aus je 40 Einzelborsten von 11mm Länge.

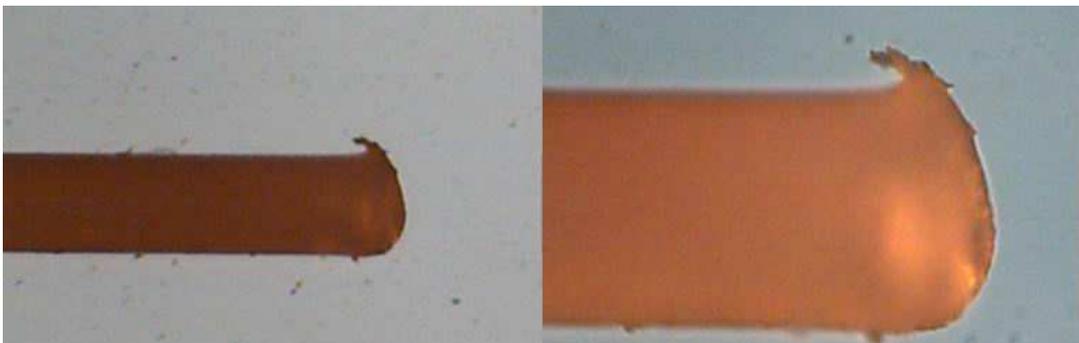


Abbildung 23: Ende einer violetten Borste der Blend-a-dent Professional sensitiv – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Die Borsten sind allesamt endabgerundet. Die Einzelbüschel besitzen einen Metallanker. Die verwendeten Materialien sind latexfrei (Zimmer, 2005c).

4.1.6 Blend-a-dent Professional mittel

Der prinzipielle Aufbau der „Blend-a-dent Professional mittel“ stimmt grundsätzlich mit der „sensitiv-Variante“ überein.

Auch hier finden sich 44 Büschel mit jedoch differenter Einzelborstenzahl:

- Neun violette Büschel am Kopfende mit je 36 Einzelborsten von 9,8 bis 12,4mm Länge (Schrägschnitt).

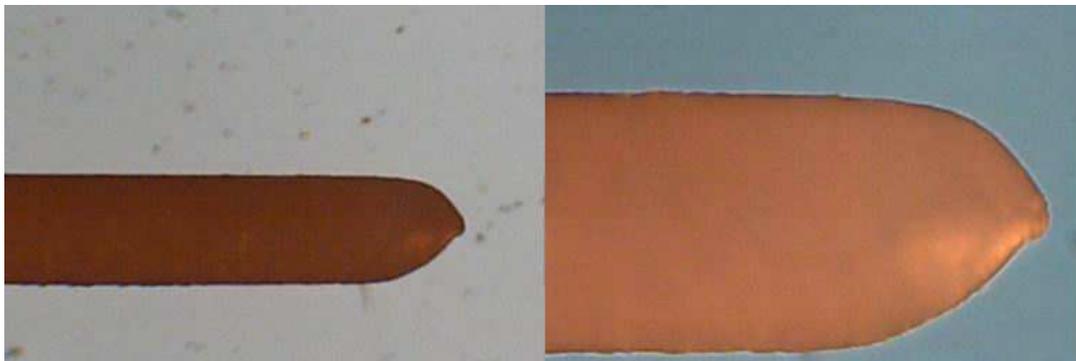


Abbildung 24: Ende einer violetten Borste vom Kopfende (schräg abgetrennte Büschel) der Blend-a-dent Professional mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwölf äußere weiße, gerade Büschel mit je 48 Einzelborsten und einer Länge von 11,1mm.

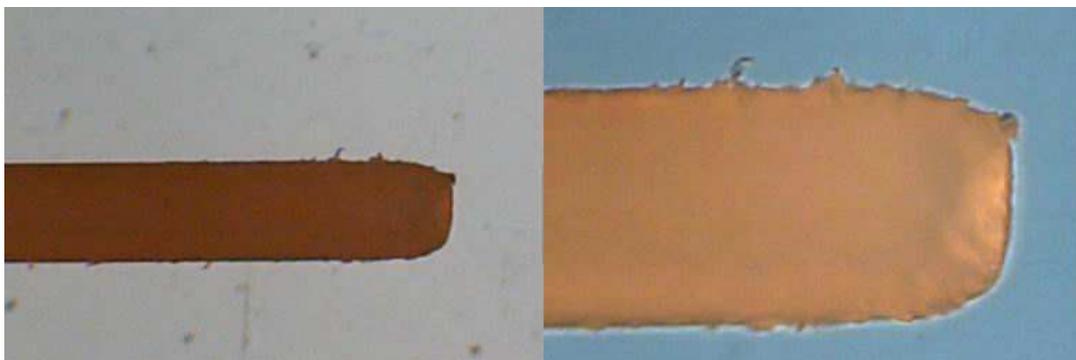


Abbildung 25: Ende einer weißen Borste der Blend-a-dent Professional mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Elf blaue geneigte Büschel in der Mitte des Kopfes und 28 Einzelborsten und 11,1mm Länge.

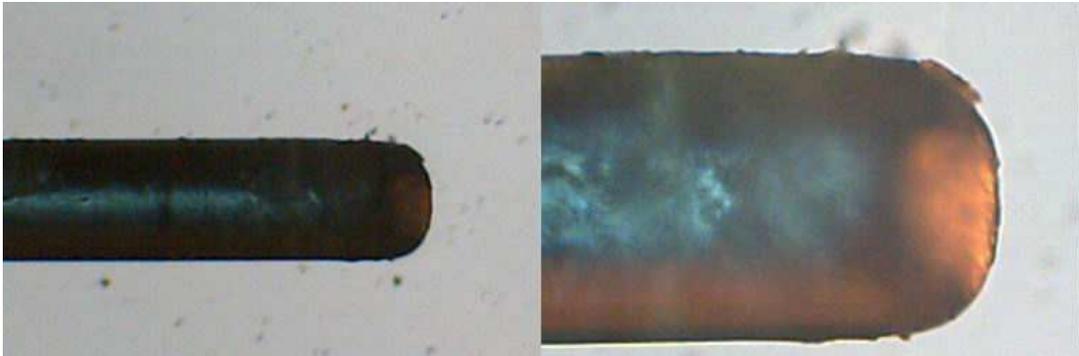


Abbildung 26: Ende einer blauen Borste der Blend-a-dent Professional mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwölf violette geneigte Büschel in der Mitte des Kopfes und je 34 Einzelborsten von 11,1mm Länge.

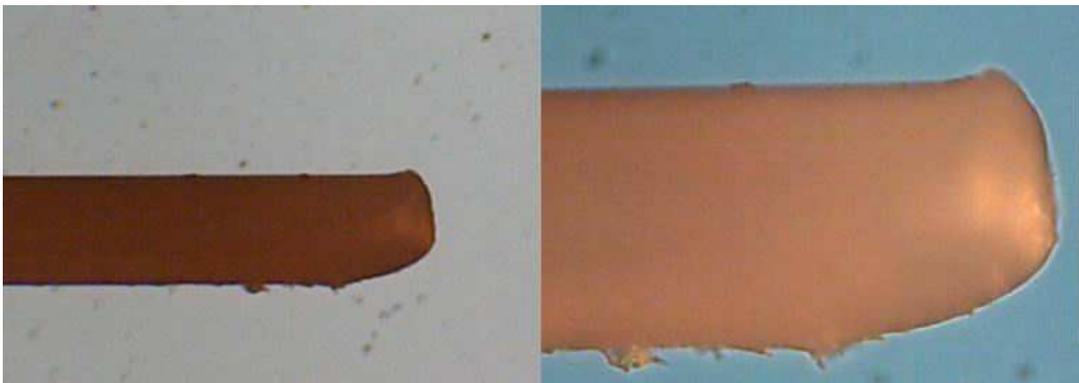


Abbildung 27: Ende einer violetten Borste der Blend-a-dent Professional mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Wiederum sind diese Borsten endabgerundet und mit Hilfe eines Metallankers befestigt. Die verwendeten Materialien sind latexfrei (Zimmer, 2005b).

4.1.7 Blend-a-dent Professional hart

Der prinzipielle Aufbau der „Blend-a-dent Professional hart“ stimmt grundsätzlich mit der „sensitiv- und mittel-Variante“ überein.

Wiederum 44 Borstenbüschel mit jedoch differenter Einzelborstenzahl und -länge:

- Neun violette Büschel am Kopfende mit je 26 Einzelborsten von 9,8 bis 12,5mm Länge (Schrägschnitt).

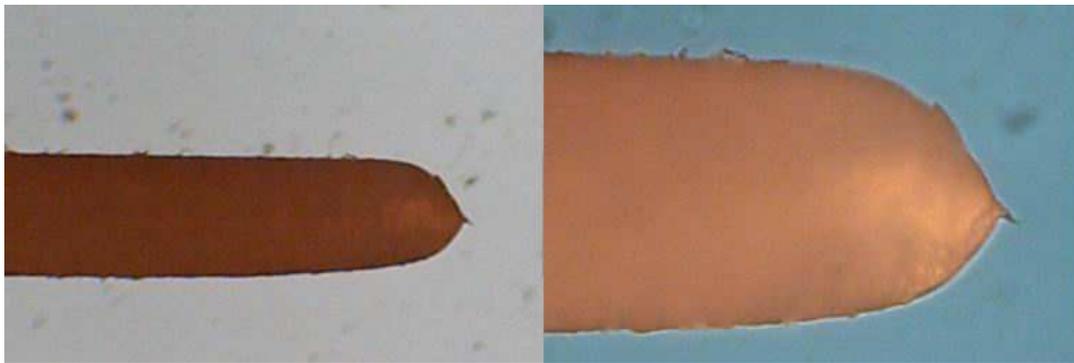


Abbildung 28: Ende einer violetten Borste vom Kopfende (schräg abgetrennte Büschel) der Blend-a-dent Professional hart – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwölf äußere weiße, gerade Büschel mit je 34 Einzelborsten und einer Länge von 11,5mm.

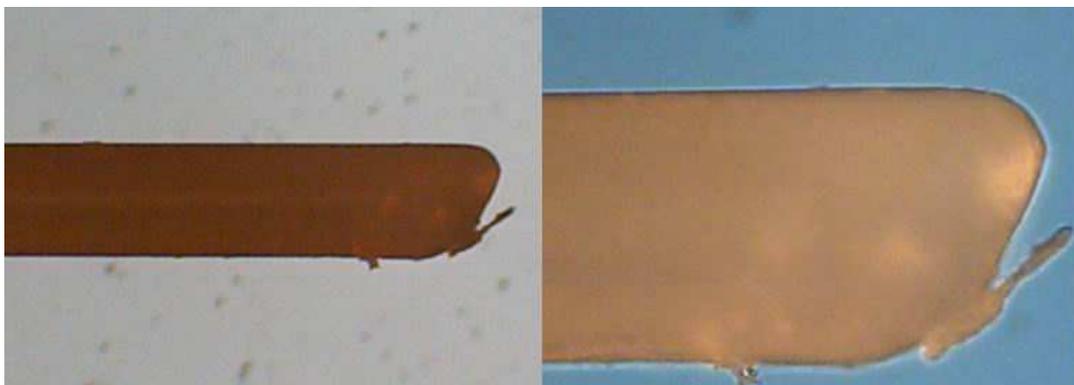


Abbildung 29: Ende einer weißen Borste der Blend-a-dent Professional hart – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Elf blaue geneigte Büschel in der Mitte des Kopfes und 22 Einzelborsten und 11,5mm Länge.

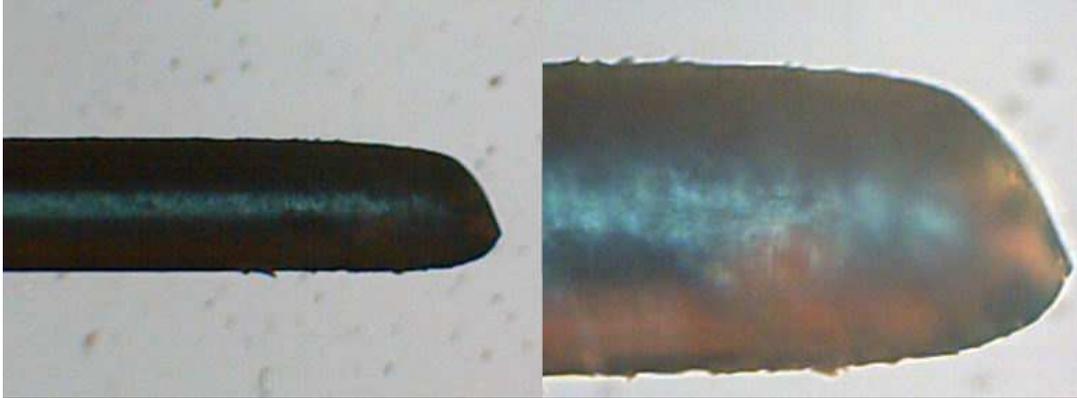


Abbildung 30: Ende einer blauen Borste der Blend-a-dent Professional hart – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Zwölf violette geneigte Büschel in der Mitte des Kopfes und je 30 Einzelborsten von 11,5mm Länge.

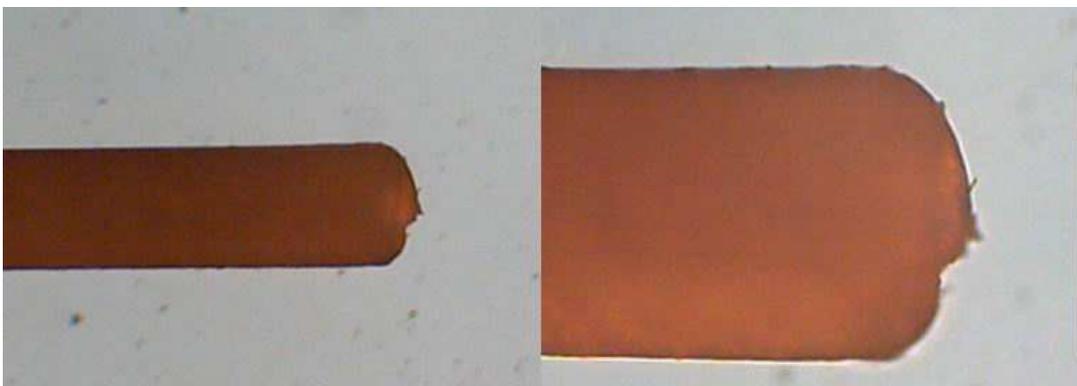


Abbildung 31: Ende einer violetten Borste der Blend-a-dent Professional hart – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Auch bei diesem Modell sind die Borstenenden abgerundet und die einzelnen Büschel metallverankert. Die verwendeten Materialien sind latexfrei (Zimmer, 2005a).

4.1.8 Dr. Best Brillant sensitive

Die „Dr. Best Brillant sensitive“ besitzt neben einem abgerundeten Kopf von 14mm Breite und ungefähr 30,5mm Länge mehrere gummigefederte Gelenke. Eines sitzt am kopfwärtigen Ende des Handgriffes, ein weiteres unmittelbar vor dem Bürstenkopf, schließlich noch eines innerhalb des Bürstenkopfes und trennt somit das Bürstenkopffende gegenüber dem Rest

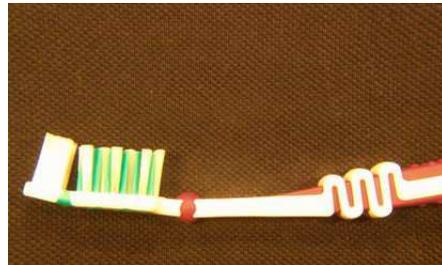


Abbildung 32: Übersicht - drei gummigefederte Gelenke der „Dr. Best Brillant sensitive“

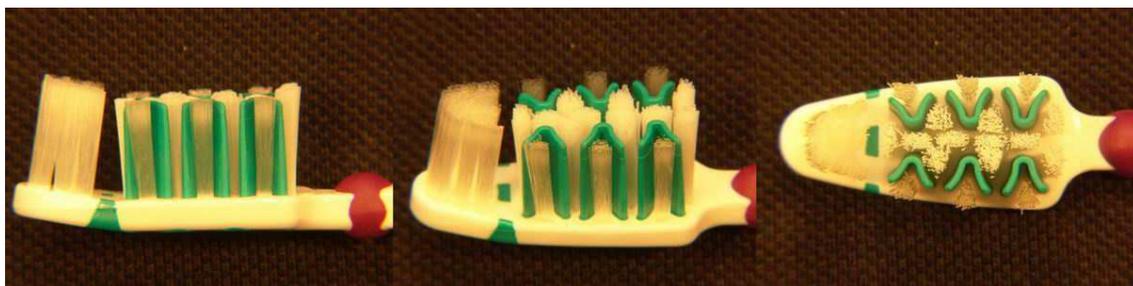


Abbildung 33: Bürstenkopf der Dr. Best Brillant sensitive - Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

des Kopfes ab, führt dort auch zu einer leichten Abwinkelung. Diese Gelenke sollen der Reduktion von zu großer Anpreßkraft dienen.

Als weitere Besonderheit findet man 6 Gummilamellen von V-förmigem Querschnitt zwischen den 24 Borstenbüscheln. Das Gummi der Lamellen und der Gelenke durchsetzt den gesamten Bürstenkopf und ist daher auch von der Rückseite des Bürstenkopfes erkennbar.



Abbildung 34: Rückseite des Bürstenkopfes der Dr. Best Brillant sensitive

Die Borstenbüschel unterscheiden sich wie folgt:

- Sechs transparente gerade Büschel am Hauptteil des Bürstenkopfes außerhalb der Gummilamellen. Hier besteht jedes Büschel aus 76 Fasern von zirka 11,4mm Länge (Schrägschnitt von innen nach außen).



- Elf weiße gerade Büschel zwischen den Gummilamellen mit je 126 Einzelborsten und 10,1mm Länge.



- Sieben transparente Borstenbüschel am vom restlichen Kopf durch das erwähnte Gummigelenk abgetrennten Ende. Obgleich gerade angebracht, erzielen diese Büschel dennoch durch die Abwinkelung eine

Neigung gegenüber den anderen Büscheln. Die Einzelborsten dieser Büschel sind ungefähr 11,4mm lang (leichte Differenzen bestehen durch

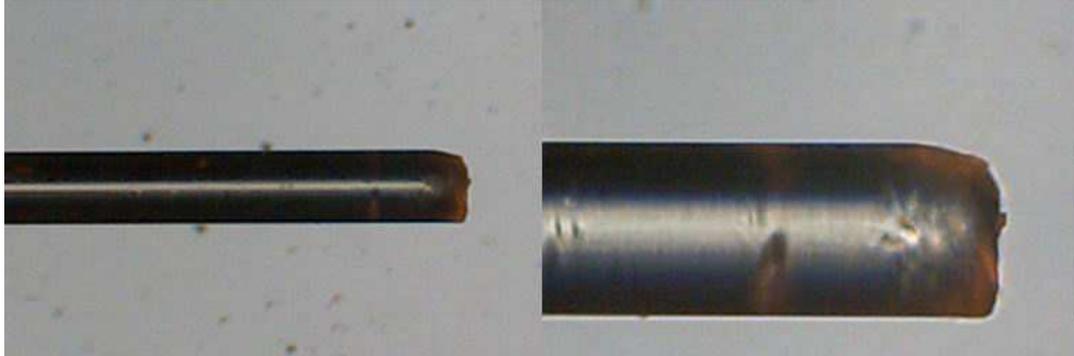


Abbildung 37: Ende einer transparenten Borste am Kopfende der Dr. Best Brilliant sensitive – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

diskreten Schrägschnitt). Die Anzahl der Einzelborsten differiert zwischen 292 am inneren, dicksten Büschel und 66 Stück am äußeren, dünnsten Büschel.

Wiederum sind sämtliche Borstenenden abgerundet. Die Verankerung scheint durch Verschweißen oder Eingießen in Kunststoff zu erfolgen. Ein Metallanker findet sich nicht.

4.1.9 Dr. Best X-Sensorkopf sensitive

Die „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“ besitzt einen abgerundeten Bürstenkopf von 14mm Breite und ungefähr 31,5mm Länge.

Auch bei diesem Modell sind Gummi-

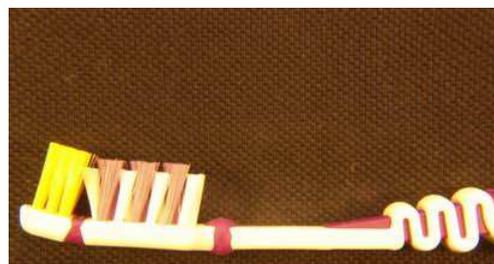


Abbildung 38: Übersicht der „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“ (die 3 Gelenke sind gut sichtbar)

gelenke wie bei der „Dr. Best Brillant sensitive“ zu finden.

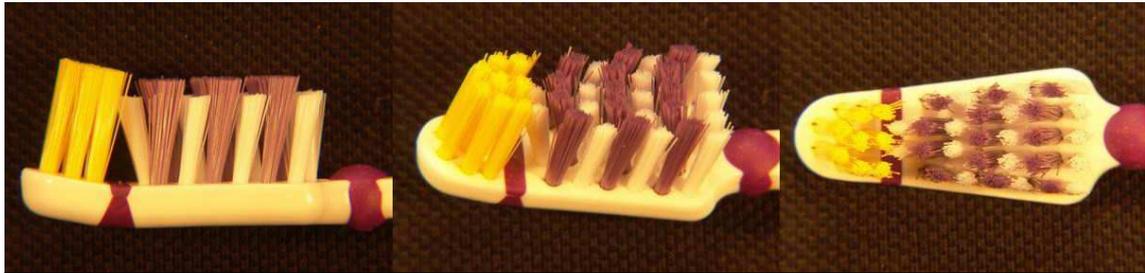


Abbildung 39: Bürstenkopf der Dr. Best X-Sensorkopf sensitive - Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

Insgesamt zählt man 38 Borstenbüschel:

- Sechzehn weiße kurze, in verschiedene Richtungen geneigte Büschel von je absolut 9,3mm Länge (senkrecht zum Bürstenkopf 9,0mm). Das Büschel besteht aus 76 Einzelborsten.



Abbildung 40: Ende einer (kurzen) weißen Borste der Dr. Best X-Sensorkopf sensitive – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

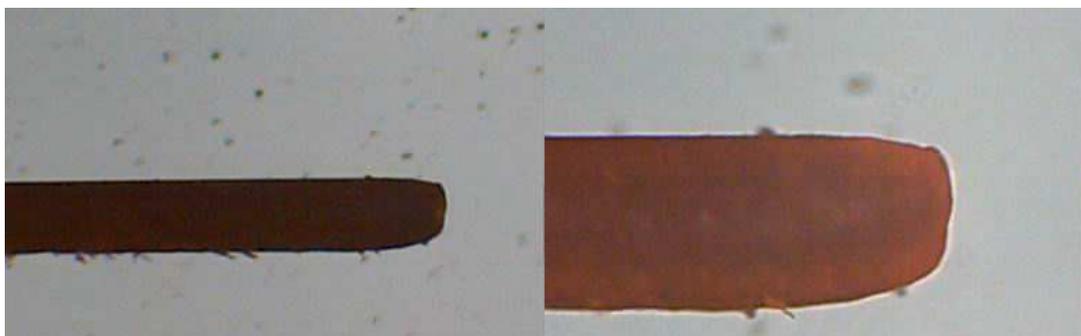


Abbildung 41: Ende einer violetten Borste der Dr. Best X-Sensorkopf sensitive – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Vierzehn farbige (hier violett) lange, in verschiedene Richtungen geneigte Büschel. Jedes Büschel besteht aus 78 Einzelborsten von absolut 11mm Länge (senkrecht zum Bürstenkörper 10,8mm).
- Acht Büschel am Kopfende, also jenseits des Gummigelenkes (innerhalb des Bürstenkopfes), die (eigentlich) gerade sind, aber bedingt durch das Gelenk beziehungsweise die aus dem Gelenk resultierende Abwinkelung eine Neigung erhalten. Die Borsten sind farbig (hier gelb) und absolut 11,6mm lang. Jedes dieser Büschel enthält 78 Einzelborsten.



Die Befestigung der Borstenbüschel im Bürstenkopf erfolgt mit Metallanker.

4.1.10 Dr. Best X-Sensorkopf mittel

Die „Dr. Best X-Sensorkopf mittel“ stimmt im Aufbau vollkommen mit dem „sensitive-Modell“ überein. Lediglich bei Farbe, Borstenlänge und -anzahl existieren Unterschiede:

- Sechzehn weiße kurze, in verschiedene Richtungen geneigte Büschel von je absolut 9,6mm Länge (senkrecht zum Bürstenkopf 9,4mm). Das Büschel besteht aus 40 Einzelborsten.

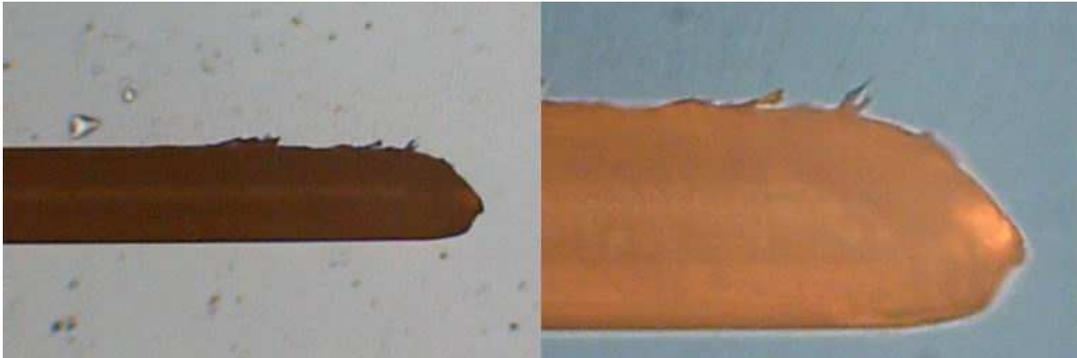


Abbildung 43: Ende einer (kurzen) weißen Borste der Dr. Best X-Sensorkopf mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Vierzehn farbige (hier blau) lange, in verschiedene Richtungen geneigte Büschel. Jedes Büschel besteht aus 50 Einzelborsten von absolut 11,1mm Länge (senkrecht zum Bürstenkörper 11,0mm).

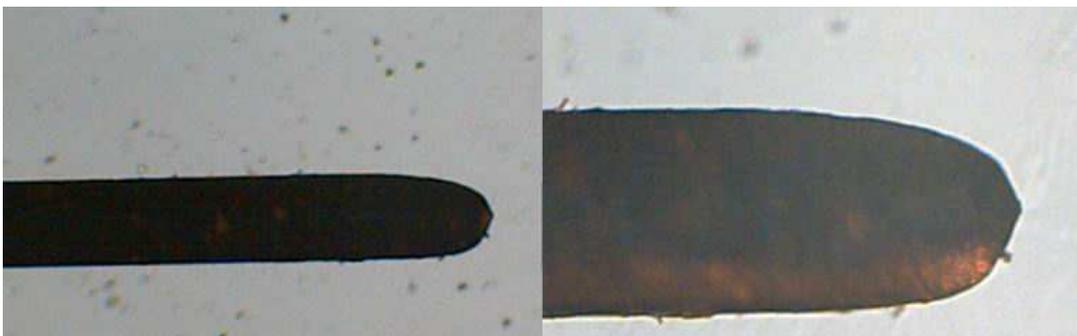


Abbildung 44: Ende einer blauen Borste der Dr. Best X-Sensorkopf mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

- Acht Büschel am Kopfende, also jenseits des Gummigelenkes (innerhalb des Bürstenkopfes), die (eigentlich) gerade sind, aber bedingt durch das Gelenk beziehungsweise die aus dem Gelenk resultierende Abwin-

kelung eine Neigung erhalten. Die Borsten sind farbig (hier gelb) und absolut 11,6mm lang. Jedes dieser Büschel enthält 50 Einzelborsten.

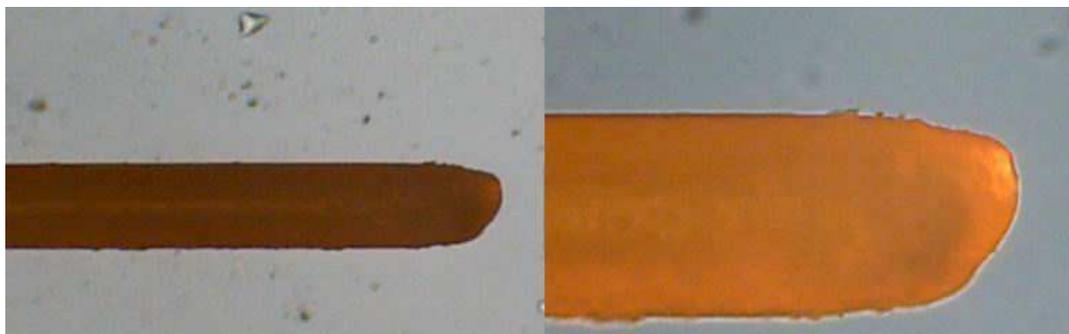


Abbildung 45: Ende einer gelben Borste vom Kopfe der Dr. Best X-Sensorkopf mittel – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Die Befestigung der Borstenbüschel im Bürstenkopf erfolgt mit Metallanker.

4.1.11 Meridol

Die Meridol – Zahnbürste besitzt einen abgerundeten Bürstenkopf mit einer Breite von 14,2mm und einer Länge von zirka 27mm.

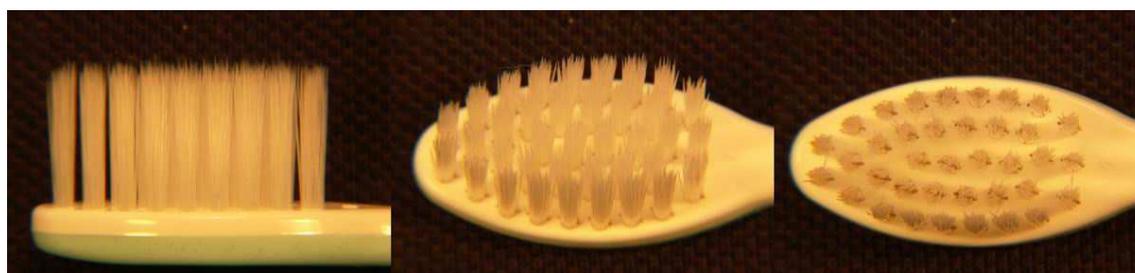


Abbildung 46: Bürstenkopf der Meridol - Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

Man zählt 37 gleichartige Borstenbüschel, die zwischen 48 und 52 weiße und gerade angeordnete Einzelborsten besitzen. Die Länge ist ungleichmäßig und liegt zwischen 10,8 und 12mm.

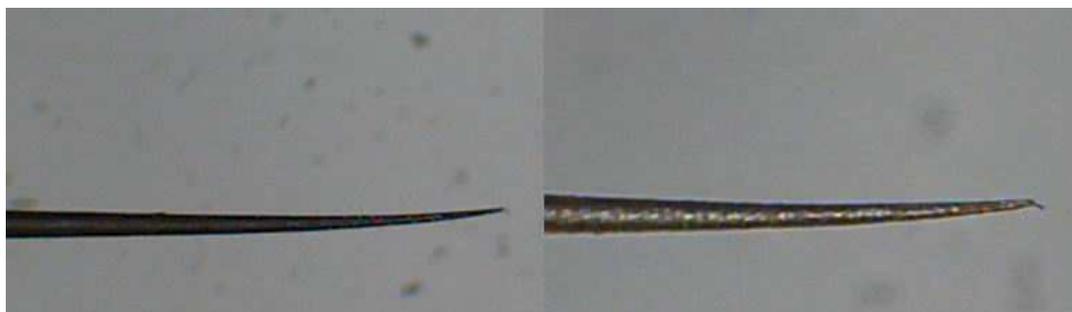


Abbildung 47: Ende einer Borste der Meridol – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Die Borstenenden sind mikrofein gestaltet und daher nicht abgerundet (siehe Abbildung 47). Diese feinen Borstenenden sollen eine das Zahnfleisch schonende Wirkung besitzen.

Die Borstenbüschel sind per Metallanker in der Zahnbürste befestigt.

4.1.12 ADA Control

Als Vergleichszahnbürste dient die ADA Control – Zahnbürste.

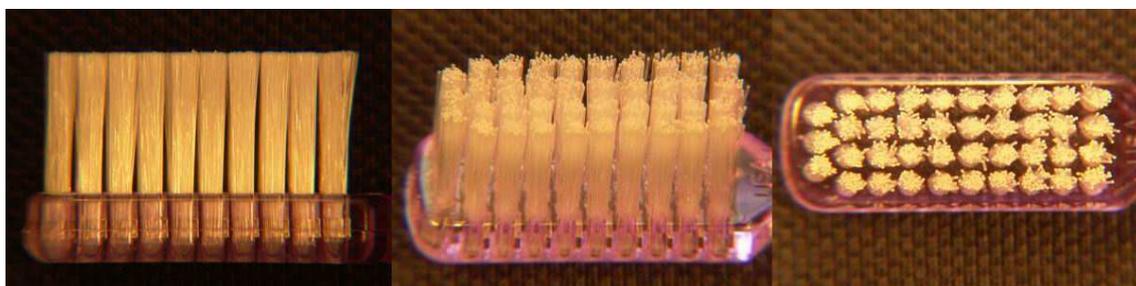


Abbildung 48: Bürstenkopf der ADA Control - Zahnbürste in Seit-, Schräg- und Draufsicht (von links nach rechts)

Sie besitzt 39 Borstenbüschel mit je 40 gerade angeordneten transparenten Einzelborsten. Diese Borsten besitzen eine Länge von je 11mm und sind an den Enden abgerundet.



Abbildung 49: Ende einer Borste der ADA Control – Zahnbürste bei 90-facher (links) und 225-facher (rechts) Vergrößerung

Die Büschel sind mit Hilfe eines Metallankers im 10,6mm breiten und 28mm langen abgerundeten Bürstenkopf befestigt.

4.2 Putzmaschine

Die Bürsten mußten nun zur Versuchsdurchführung in einer Maschine befestigt werden. Diese Putzmaschine ist eine Sonderanfertigung, die gleichzeitig 6 Bürsten und die dazugehörigen, zu bürstenden Proben aufnehmen kann.

Die Zahnbürsten lassen sich – im für die Untersuchung sinnvollen Bereich – in allen Achsen (Höhe und Neigung in sämtliche Richtungen zur Probenoberfläche) zwecks Justierung bewegen und anschließend arretieren. Somit ist es möglich, die Zahnbürste derart zu befestigen, daß die Oberfläche des Borstenfeldes exakt parallel zur Probenoberfläche ausgerichtet ist.

Auf diese Weise wird ein maximaler Kontakt zwischen Probe und Bürste sichergestellt.



Abbildung 50: Putzmaschine mit 6 eingebauten Bürsten in Sicht von frontal oben

Die Arme, an denen die Bürsten arretiert werden, sind mit verschiebbaren Feststell-Gewichten ausgestattet, die eine Eichung der Anpreßkraft der jeweiligen Bürste ermöglichen.

Außerdem besitzt die Maschine 6 Vorrichtungen zum Einbau der Proben. Diese werden verschraubt, um eine Lockerung während des Versuchsdurchlaufes zu vermeiden.

Während des Versuches bewegen sich die Proben linear (Amplitude: 45mm) in einer Achse innerhalb von Behältern, die die Universalzahnpaste, die sogenannte Universalslurry, enthalten. Die Zahnbürsten hingegen bleiben an Ort und Stelle. Bewegungen bzw. Schwingungen der Zahnbürsten wären nur als Folge von Unebenheiten der Probenkörper möglich.

Die Putzmaschine ist über ein einfaches LCD-Display und wenige Schalter an der Front programmierbar. Hier kann die Anzahl der Putzzyklen eingestellt werden, wobei ein Zyklus bzw.



Strike aus einer Hin- und Herbewegung besteht.

Ein Anschluß an einen externen Computer ist im Gegensatz zu älteren Modellen für die Versuchsdurchführung nicht nötig, daher auch nicht möglich.

Die Maschine verfügt selbstverständlich auch über einen Notschalter, der bei möglicher Gefahr eine sofortige Abschaltung der Maschine bewirkt.

Auf diese Weise ist auch in kritischen Situationen der Arbeitsschutz gewährleistet.

Im übrigen sei auf die im Anhang befindliche Betriebsanleitung verwiesen.

4.3 Dentinproben

Als Probenmaterial diente menschliches Dentin. Dafür wurden extrahierte Zähne als Grundlage verwendet. Diese Zähne wurden in physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Als antimikrobiologischer Zusatzstoff diente Natriumacid.

4.3.1 Gewinnung der Proben

Von den Zähnen werden mit Hilfe einer Niedriggeschwindigkeits-Diamantsäge in inziso-apikaler (Längs-)Richtung Scheibchen von ca. 2mm Dicke abgetrennt. Dabei gilt zu beachten, daß diese Regionen kariesfrei waren und sich dort weder Füllungen noch irgendwelche anderen Restaurationen befanden. Zudem mußte vermieden werden, Pulpenkanälchen oder gar das Pulpenkavum anzuschneiden (Aussortierung der Probe).



Abbildung 52: Low Speed Saw Isomet

Ein weiteres Ausschlußkriterium sind Verfärbungen, Unregelmäßigkeiten und andere Anzeichen von sklerosiertem Dentin, die bei der abschließenden optischen Kontrolle auffallen, wodurch das Zähnesammeln zwangsläufig zu einer Kraftanstrengung mit großer zeitlicher Ausdehnung wurde. Schließlich werden die unregelmäßig geformten Scheiben zugeschliffen, so daß rechteckige Scheiben von mindestens 3mm Breite und einer Mindestlänge von 15mm entstehen. Dabei wurden auch die Wurzelspitzen entfernt. Diese Kriterien (vor allem in Bezug auf die Mindestlänge) lassen sich am besten erfüllen, wenn obere Eckzähne, obere mittlere Schneidezähne oder Molaren mit kräftigen Pfahlwurzeln zur Probengewinnung zur Verfügung stehen, also auch standen.

4.3.2 Einbettung der Proben

Die o.g. Dentinproben werden danach mit Hilfe einer speziellen Form in selbsthärtenden Provisorienkunststoff eingebettet (Protemp 3 Garant, Hersteller: ESPE, Seefeld, Deutschland). Um den adhäsiven Halt im Kunststoff zu verbessern, werden die Rückseiten der Dentinscheiben mit einem selbstätzenden Dentin-Bonding-System (Prompt-L-Pop, Hersteller: ESPE, Seefeld, Deutschland) konditioniert.

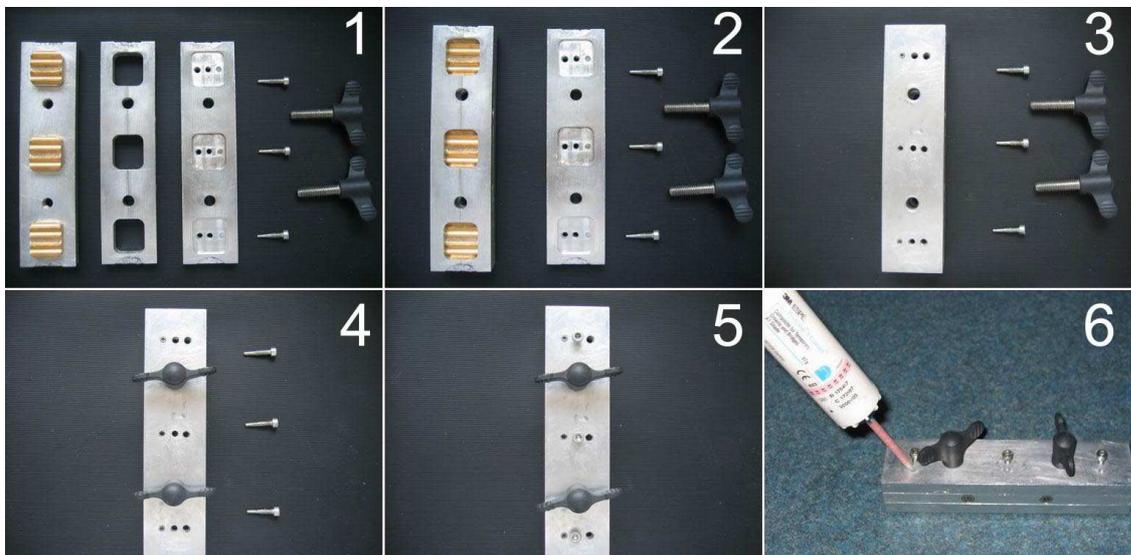


Abbildung 53: Schrittweiser Zusammenbau der Einzelteile der Matrize zur Probeneinbettung und Einfüllen des selbsthärtenden Kunststoffes

Eine Planschleifmaschine mit feinstem Schleifpapier sorgt für eine glatte ebene Oberfläche und befreit gleichzeitig die Dentinprobe von möglichen Kunststoffverunreinigungen.

Die Matrize dient dem Zweck, exakt gleich große Kunststoffblöcke mit folgenden Abmaßen ent-



Abbildung 54: Schleifmaschine Leco VP 100

stehen zu lassen: Breite: 24,5mm, Länge: 26mm, Höhe: 7mm. Diese Kunststoffblöcke passen exakt in die Halterungen der Zahnputzmaschine.



Abbildung 55: Eingebettete Probe aus zwei Perspektiven im Größenvergleich zu einem Euro-cent-Stück

Die Oberfläche ist komplex geformt und erscheint dem Betrachter wie drei nebeneinander befestigte Säulen von jeweils ca. 6mm Durchmesser, außen befindet sich nochmals je eine halbe Säule (siehe Abbildung 55). An der Oberfläche der mittleren Säule ist die Dentinprobe eingebettet.

Diese komplizierte Oberfläche soll die Beschaffenheit einer geschlossenen Zahnreihe simulieren.

Die eingebetteten Proben werden dann bis zum eigentlichen Versuchsbeginn in einer feuchten Kammer gelagert, um eine Austrocknung zu vermeiden.

4.4 Standard-Abrasivslurry-Lösung

Als „Zahnpasta“ dient bei diesen Untersuchungen eine Standard-Abrasivslurry-Lösung¹, da selbstverständlich die Bürsten nicht trocken,

¹ Zusammensetzung nach P&G Health and Beauty Care Europe TC, Mainz, Deutschland

sondern unter realistischen Bedingungen laufen sollen. Die Herstellung dieser Standardslurry geschieht in mehreren Schritten.

Dabei erscheint es sinnvoll, 24 Stunden vor der eigentlichen Slurry-Herstellung bereits die Tragant-Lösung, die eine Zutat der Standard-Abrasiv-Slurry darstellt, anzusetzen.

Es werden demnach 246,88g Glycerin in einem Becherglas vorgelegt und dann unter ständigem Rühren 6,24g Tragant (Hersteller: Merck, Darmstadt, Deutschland) hinzugefügt, beide Substanzen homogen vermischt, anschließend noch 246,88g deionisiertes Wasser hinzugegeben. Dies geschieht ebenfalls unter Rühren bis zum Erreichen eines homogenen Gemisches.

Bei der eigentlichen Slurry-Herstellung für die sechs Gefäße der hier verwendeten Putzmaschine werden 67,2g deionisiertes Wasser, 67,2g Glycerin und 265,2g Tragant-Lösung im Becherglas vorgelegt, unter Rühren 200,4g Calciumhydrogenphosphat portionsweise hinzugegeben und homogen vermischt. Hierbei ist wegen der hohen Viskosität ein Stabmixer von großem Nutzen.

4.5 Versuchsdurchführung

Nachdem die Proben eingebettet, die Standard-Abrasivslurry-Lösung hergestellt und die Bürsten beschafft sind, kann ein vollständiger Versuchsdurchlauf eingeleitet werden.

4.5.1 Probeneinbau

Zuerst werden die eingebetteten Proben in spezielle Haltevorrichtungen montiert. Diese Halter sorgen für einen festen Halt der Proben.



Abbildung 56: Probenhalter und eingebettete Probe aus zwei Perspektiven; Befestigung erfolgt durch Verschraubung

Da die Bürsten kontinuierlich mit der gesamten Fläche des Bürstenkopfes aufsitzen sollen, die eingebettete Probe dafür aber zu klein ist, werden Adapter angefertigt, die dieses Problem lösen.



Abbildung 57: Probenhalter mit verschraubter Probe und fest aufgestecktem Adapter zur Vergrößerung der Bürstenauflagefläche aus zwei Perspektiven

4.5.2 Bürsteneinbau

Nun werden die zu testenden Zahnbürsten montiert. Dafür war es unabdingbar, die Bürstengriffe zu kürzen und auch teilweise in ihrem Umfang zu reduzieren, um eine Montage grundsätzlich zu ermöglichen.

Bei der Montage wird darauf geachtet, den Bürstenkopf parallel zur Oberfläche der jeweiligen Probe zu orientieren. Hierfür besitzt die Maschine Haltevorrichtungen, die in allen Ebenen einstellbar sind. Auf diese Weise wird ein maximaler Kontakt zwischen Bürste und Probe gewährleistet.

Darüber hinaus sollte die Bürste mittig über die Probe laufen, um zu beiden Seiten des Bürstenkopfes ungeputzte Probenareale zu erhalten.

Diese ungeputzten Probenareale dienen in der späteren Auswertung als Referenzebene.

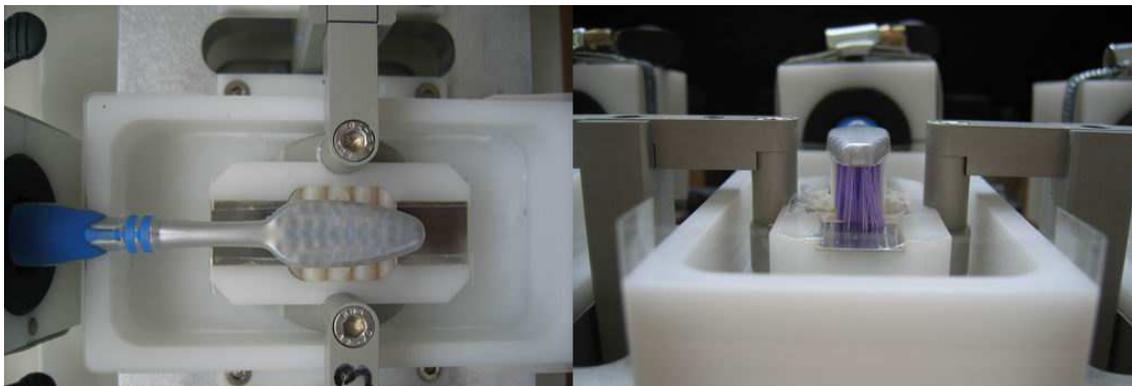


Abbildung 58: Bürste und Probe in Maschine befestigt; links erkennbar: Bürste steht mittig über der Probe in Putzrichtung; rechts: Bürste steht mittig und parallel zur Oberfläche auf der Probe

Teilweise wurden zusätzlich die Bürstenstiele mit einer Fräse modifiziert, um es während der Probenbewegung zu keinem Kontakt zwischen dem Bürstenstiel und dem Rand der „Standard-Abrasivslurry-Kammer“ kommen zu lassen.

Abschließend wird eine elektronische Feinwaage anstelle der Probe aufgestellt, um den Anpressdruck der Zahnbürste in der entsprechenden Position zu justieren.

4.5.3 Vorbereitungen an der Maschine

Nachdem alle Eichvorgänge durchgeführt wurden, werden die Probenhalter endgültig in der Maschine verschraubt und die Zahnbürsten auf die Proben aufgesetzt. Anschließend befüllt man die Wannen, in denen die Proben bewegt werden, mit Standard-Abrasivslurry-Lösung, bis die Proben leicht bedeckt und die Borsten entsprechend benetzt sind.

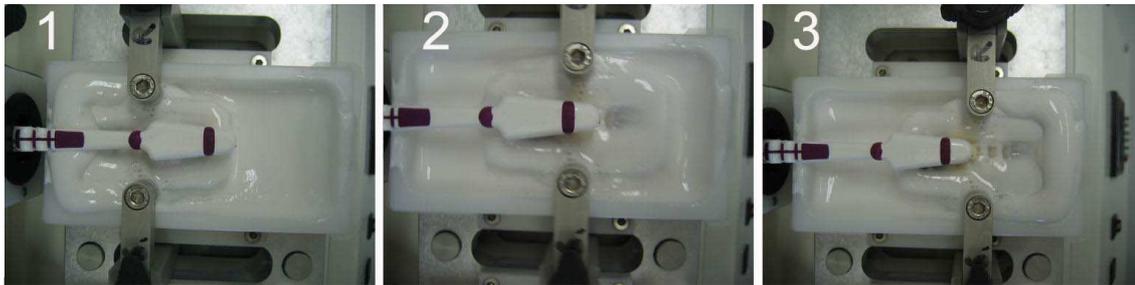


Abbildung 59: Bürste auf Probe mit Abrasivslurry in 3 Momentaufnahmen (Bewegung)

Es kann sich - vor allem zu Beginn des Versuches - als notwendig erweisen, vereinzelt Abrasivslurry nachzufüllen.

Mit Abschluß der Kontrolle der Stromversorgung wird am Display die Zyklenzahl für den Versuch ausgewählt. Per Knopfdruck wird dann der Versuch gestartet.

4.5.4 Zyklenzahl

Für die geplanten Versuche wählten wir eine Zyklenzahl von 12500, was heißt, daß im Verlauf des Versuches die Bürste 12500 mal über die Probe vor- und zurückläuft.



Abbildung 60: Display mit 12500 eingestellten Putz-Zyklen

4.5.5 Anpreßdruck der Bürsten auf die Proben

Bei der Eichung der Anpreßkraft wurde an der Feinwaage ein gemessenes Gewicht von 250g anvisiert. Von hoher Relevanz ist dabei, daß der Bürstenkopf zentral auf der Fläche der Waage aufsitzt.

Zur Justierung dienen verschiedene verschieblich montierbare Gewichte zu beiden Seiten des Achsdrehpunktes der Zahnbürstenhalter.

4.6 Gewinnung der Meßdaten

Zur Gewinnung der eigentlichen Meßdaten müssen die Proben nach Ablauf des Putzversuches wieder ausgebaut werden.

Anschließend werden diese gründlich mit Wasser in einem Ultraschallgerät gereinigt.

Die Vermessung beziehungsweise Bestimmung der Dentinabrasion an den Proben erfolgt sodann mit Hilfe eines Laserscanners.

4.6.1 Probenbehandlung

Um die korrekte Erfassung durch den Laserscanner zu gewährleisten, ist auszuschließen, daß das zu vermessende Material – bedingt durch Transparenzen – ein Eindringen des Laserstrahles ermöglicht; stattdessen ist eine optimale Reflektion erwünscht.

Dies wird erreicht, indem die Proben mit MET-L-CHEK developer „D70“ (Helling GmbH, Spökerdamm2, 25436 Heidgraben, Deutschland) besprüht werden. MET-L-CHEK wird üblicherweise (zum Beispiel) in der Luft- und Raumfahrt-Technik angewandt, um Metalloberflächen auf Dichtigkeit bzw. kleinste Defekte hin zu untersuchen.

Dieses Verfahren des Einsprühens mit MET-L-CHEK ist dem der Replikation der Probenoberfläche mit Modellgips überlegen.

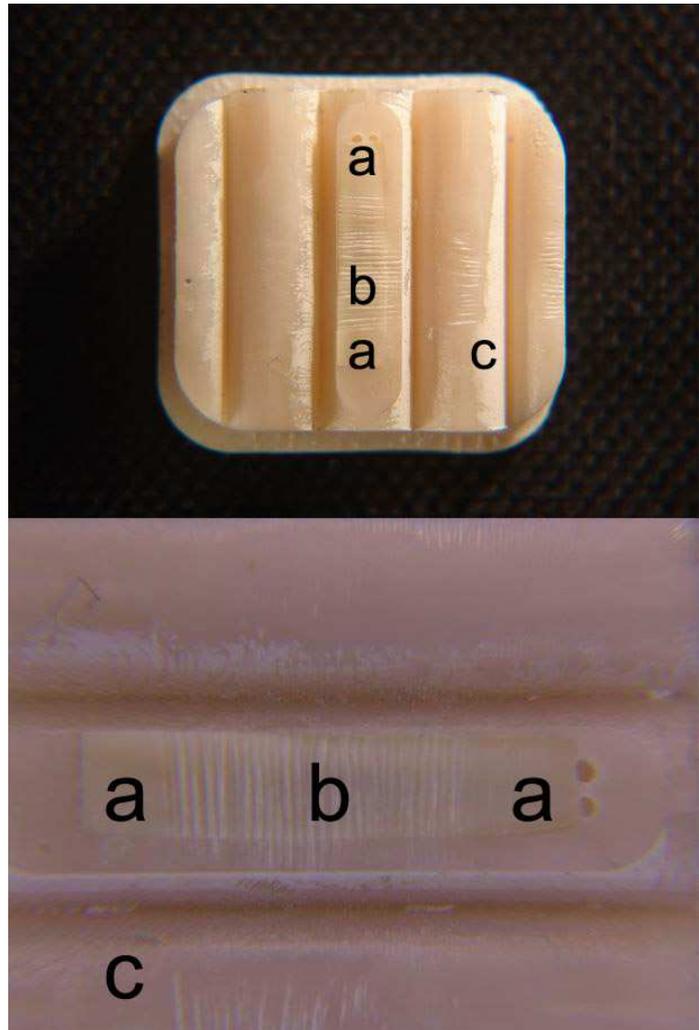


Abbildung 61: Probe nach Putzversuch; oberer Teil Übersicht; unterer Bildteil zeigt die gleiche Probe vergrößert und um 90° im Uhrzeigersinn gekippt; die „Riefen“ durch das Putzen sind bereits makroskopisch gut erkennbar

a- Probenteil ungeputzt (spätere Referenzebene)

b- Probenteil geputzt

c- Kunststoffeinfassung der Dentinprobe

Die Kristalle, die durch Besprühen auf der Oberfläche der Proben entstehen, sollen in ihrer Größe uniform sein (kleiner als 10µm) und in nur einer Schicht kristallisieren. Diesbezüglich ist den Angaben des Herstellers zu vertrauen, da keine weiteren Auskünfte über das Produkt erteilt werden.

4.6.2 Funktionsweise des Laserscanners

Das Gerät wurde ursprünglich entwickelt, um Zahnoberflächen zu vermessen. Daher ist es auch für den Zweck der geplanten Untersuchung hervorragend geeignet. Das 3D-Oberflächengerät arbeitet nach dem Triangulationsprinzip.

Die Proben werden hierbei auf einem Verschiebetisch schrittweise vorgeschoben und so Lichtlinie für Lichtlinie erfaßt und ausgewertet (Mehl *et al.*, 1996; Mehl *et al.*, 1997c).

Die Belichtungszeit für eine einzelne Lichtlinie beträgt 40ms und entspricht somit der europäischen Videonorm. Das gesamte Videobild wird sodann von einer CCD-Kamera in den Speicher geladen.

Die Leistungsfähigkeit des Systems zeigt sich unter anderem in seiner Geschwindigkeit. So kann beispielsweise die Erfassung von 10-20 Lichtlinien pro Sekunde erfolgen. Dies entspricht einer Abtastrate von 5000 bis 10000 Oberflächenpunkten innerhalb einer Sekunde (Mehl *et al.*, 1996; Mehl *et al.*, 1997b).

4.6.3 Verwendete Software

Die Steuersoftware ermöglicht eine genaue Einstellung der Anzahl, wie auch der Abstände der einzelnen Scanschritte.

Darüber hinaus läßt sich mit dieser Steuersoftware der Schrittmotor zur exakten Positionierung des zu scannenden Objektes genauestens ansteuern.

Weiterhin lassen sich die Schärfe der Lichtlinie bestimmen sowie die notwendigen Eichvorgänge und Justierungen durchführen (Mehl *et al.*, 1996; Mehl *et al.*, 1997a).

Für die eigentliche Erfassung der Oberflächenstruktur wird die Software „Scan-3D“ genutzt. Zum späteren Abgleich der geputzten Anteile mit der Referenzebene (ungeputzte Probenareale) und der entsprechenden quantitativen Erfassung erweist sich das Programm „Match-3D“ als effizient.

4.7 Statistik

In unseren Versuchen wurden zwölf verschiedene Bürsten getestet, von jeder Bürste wiederum 10 Exemplare.

Demnach entstanden 12 Gruppen mit einer jeweiligen Fallzahl $n=10$ und damit ebenso viele geputzte Dentinproben (120).

Es galt folglich, die Gruppen untereinander auf Unterschiede zu überprüfen.

Unterschiedshypothesen wurden dabei mit ANOVA bzw. ONEWAY überprüft, da es sich um mehr als zwei Gruppen handelt.

ANOVA steht dabei begrifflich für Analysis of variance. ONEWAY hingegen stellt lediglich den entsprechenden Programmierbegriff in SPSS dar,

dem Programm nämlich, auf dessen Grundlage sämtliche Daten ausgewertet wurden. Gleichzeitig bedeutet ONEWAY (Einweg-Varianzanalyse) eine spürbare Vereinfachung. Nach der Durchführung dieses Tests auf dem 5%-Niveau erkennt man lediglich, daß sich die Gruppen hinsichtlich ihrer Varianz unterscheiden. Ungeklärt bleibt jedoch, ob auch die Mittelwerte differieren.

Dafür wird anschließend gezielt der Tukey-Test als Post-hoc-Test durchgeführt. Der Tukey-Test wurde nicht zuletzt auch ausgewählt, da dieser die Ergebnisse der einzelnen Gruppen sehr anschaulich graphisch darstellt. Homogene Gruppen werden dabei mit Buchstaben oder Zahlen als Superscript gekennzeichnet.

4.8 Maßnahmen zur Randomisierung und Fehlerminimierung

Die Materialauswahl erfolgte sehr sorgfältig. So wurden die Zahnbürsten direkt von den Herstellern bezogen, die diese kostenlos zur Verfügung stellten. Folglich kann davon ausgegangen werden, daß keine Lagerungsfehler Auswirkungen auf die Beschaffenheit der Bürsten bewirken konnten. Die Dentinproben stammen von extrahierten humanen Zähnen, wobei auch streng darauf geachtet wurde, daß gleiche Lagerungsbedingungen eine konstant bleibende Qualität der Proben ermöglichen. Verfärbte oder gebleichte Zähne wurden a priori aussortiert und fanden keine Verwendung.

Lediglich kariesfreie Regionen von Zähnen wurden zur Probengewinnung herangezogen.

Nach dem Sägen erfolgte wiederum eine Sichtkontrolle auf Verfärbungen und Unregelmäßigkeiten, um kariöse Läsionen, Sklerosierungen oder ähn-

liche Veränderungen zu vermeiden. Derartig veränderte Proben wurden konsequent aussortiert.

Nach dem Einbetten und Planschleifen der Proben wurden diese stringent bis zum Putzversuch und der späteren Scanner-Abtastung in einer „feuchten Kammer“ gelagert, um Austrocknungen und Schrumpfungsvorgänge zu minimieren, möglichst zu vermeiden.

Da die Proben nicht gleich breit waren, sondern jeweils so groß wie möglich gestaltet, wurde nicht das abradierte Volumen per Scanner erfasst, sondern die Tiefe der Abrasionen. Der Mean (Mittelwert) dieser Tiefe stellt das eigentliche Ergebnis, das später statistisch ausgewertet wurde, dar.

Weiterhin sollten eventuell mögliche Unterschiede der verschiedenen Befestigungsarme der Maschine bzw. Unterschiede zwischen den verschiedenen Abrasivslurry-Bädern keinen Einfluß auf die Ergebnisse besitzen. Daher wurde streng darauf geachtet, daß die Bürsten der gleichen Sorte nicht überproportional häufig am gleichen Maschinen-Arm zur Befestigung kamen.

Zu diesem Zweck wurde folgende Systematik erdacht (Tab.1 folgend):

Es handelt sich um 12 verschiedene Bürsten, und die Maschine besitzt 6 Befestigungs-Arme, das heißt nach zwei Maschinenläufen war jede Bürste einmal im Test. Beim zweiten Durchlauf wird jede Bürste um eine Position nach rechts versetzt, und die letzte Bürste rückt an die erste Position. Diese Systematik wurde konsequent bis zum letzten Versuch eingehalten. Die folgende Tabelle erleichtert das Verstehen der Systematik.

Die sechs Spalten stehen in dieser Tabelle symbolisch für die sechs verschiedenen Abrasivslurry-Bäder bzw. Bürsten-Befestigungsarme. Die Zahlen 1-12 stellen lediglich eine Codierung der 12 verschiedenen getesteten Handzahnbürsten dar.

Bad 1	Bad 2	Bad 3	Bad 4	Bad 5	Bad 6
1. Bürstendurchlauf (insgesamt zwei Maschinendurchläufe 1. und 2.)					
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
2. Bürstendurchlauf (insgesamt zwei Maschinendurchläufe 3. und 4.)					
12	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11
3. Bürstendurchlauf (insgesamt zwei Maschinendurchläufe 5. und 6.)					
11	12	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10

Tabelle 1: Systematik der Bürstenanordnung; jede Zeile mit 6 Spalten symbolisiert hierbei die Zahnbürstmaschine mit ihren 6 Abrasivslurry-Bädern; Die Zahlen 1 -12 stehen für die 12 unterschiedlichen getesteten Zahnbürsten

5 Ergebnisse der Abrasions-Studie

Mit Hilfe des Laserscanners war es möglich, die Abrasionstiefen am Dentin in μm zu erfassen. Nach der Errechnung der Mittelwerte ergibt sich folgende Abbildung, die eine Rangliste der Handzahnbürsten bezüglich ihrer Abrasivität während unserer Untersuchungen gediegen graphisch darstellt.

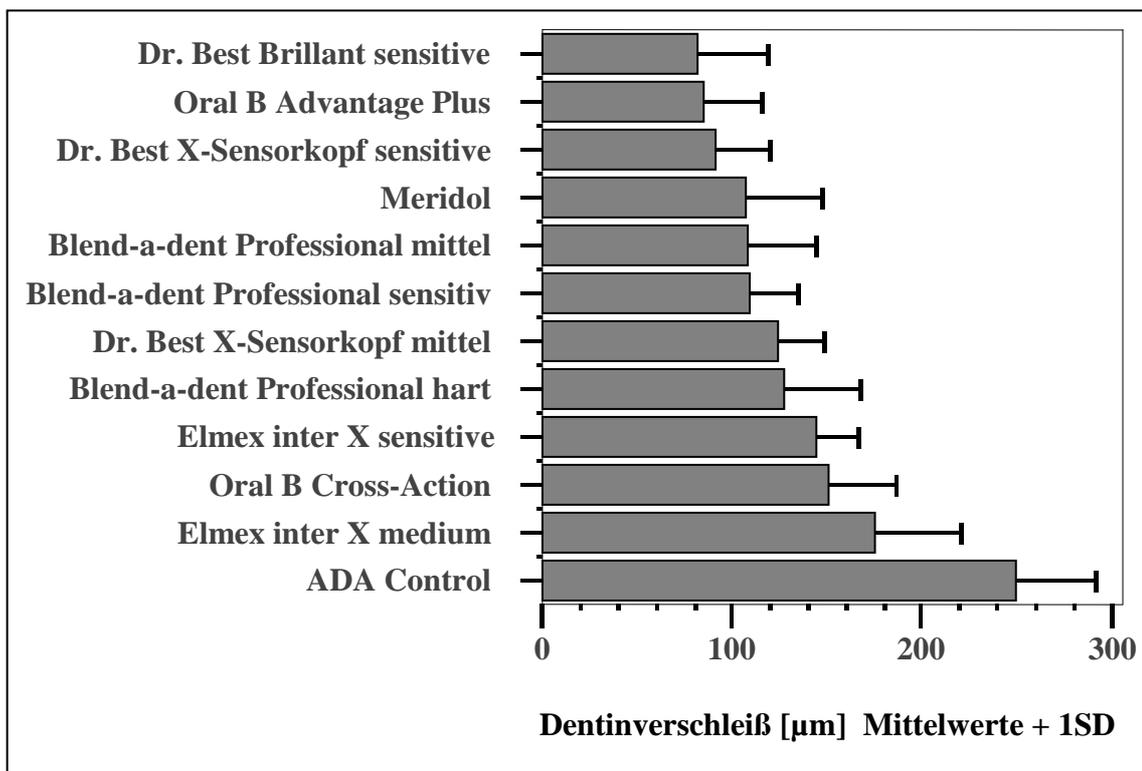


Abbildung 62: Rangliste der untersuchten Handzahnbürsten bezüglich Ihrer Abrasivität

Die Dr. Best Brillant sensitive - Zahnbürste zeigt die geringste Abrasivität, während die ADA Control - Zahnbürste die mit großem Abstand höchste Dentin-Abrasion bewirkt.

Allerdings zeigen die Oral B Advantage Plus - und die Dr. Best X-Sensorkopf sensitive - Zahnbürste einen annähernd gleich geringen Dentinverschleiß wie die Dr. Best Brillant sensitive - Zahnbürste.

Etwas höhere Dentin-Abrasionswerte auf annähernd gleichem Niveau bewirken im Versuch die Meridol -, Blend-a-dent Professional mittel - sowie die Blend-a-dent Professional sensitiv - Zahnbürste.

Ab der Dr. Best X-Sensorkopf mittel -, über die Blend-a-dent Professional hart -, die Elmex inter X sensitive -, die Oral B Cross-Action - bis hin zur Elmex inter X medium - Zahnbürste ist ein geradezu kontinuierlicher Anstieg der Dentin-Abrasion zu verzeichnen.

Hauptergebnis allerdings ist und bleibt der bei sämtlichen getesteten Zahnbürsten signifikant geringere Dentinverschleiß gegenüber der „ADA Control“

Über den Tukey-Test (als Post-hoc-Test) wurde die Beantwortung der Frage möglich, ob sich die Bürsten bezüglich ihrer Abrasivität signifikant (bei 5% Signifikanzniveau) unterscheiden. Die folgende Tabelle 2 stellt dabei übersichtlich und graphisch anschaulich die verschiedenen homogenen Gruppen zusammen und läßt die signifikanten Unterschiede auf einen Blick deutlich werden.

Der Tukey-B-Test berücksichtigt die alpha-Adjustierung für Vielfachvergleiche.

In der Tabelle 2 sind in einer Gruppe sämtliche Zahnbürsten zusammengefaßt, die sich auf dem adjustierten, also dem 5%-Signifikanzniveau nicht unterscheiden.

Die einzelnen Gruppen unterscheiden sich jedoch signifikant voneinander.

Die Tabelle 2 ist folgendermaßen interpretierbar:

Die Handzahnbürsten, die ein und derselben Gruppe zugehörig sind, unterscheiden sich nicht signifikant bezüglich der Dentinabrasion voneinander.

Zahnbürsten	N	Untergruppe für Alpha = .05.			
		1	2	3	4
Dr. Best Brillant sensitive	10	82.07			
Oral B Advantage Plus	10	84.36			
Dr. Best X-Sensorkopf sensitive	10	90.78			
Meridol	10	107.51	107.51		
Blend-a-dent Professional mittel	10	108.03	108.03		
Blend-a-dent Professional sensitiv	10	108.80	108.80		
Dr. Best X-Sensorkopf mittel	10	123.79	123.79		
Blend-a-dent Professional hart	10	127.56	127.56		
Elmex inter X sensitive	10		144.06	144.06	
Oral B Cross-Action	10		150.40	150.40	
Elmex inter X medium	10			175.22	
ADA Control	10				249.17

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

Tabelle 2: Darstellung der Mittelwerte im Tukey-B-Test; homogene Untergruppen sind hier von 1 bis 4 numeriert

Betrachtet man nun mehrere Gruppen, so ist zu konstatieren, daß einige Bürsten nur einer der jeweils beiden benachbarten Gruppe angehören (keine horizontalen „Überlappungen“ in der Zeile). Diese Bürsten sind signifikant unterschiedlich zur gesamten Nachbargruppe. So sind zum Beispiel die „Elmex inter X sensitive“ und die „Oral B Cross-Action“ signifikant stärker abrasiv als die gesamte Gruppe 1. Gruppe 3 ist signifikant abrasiver als sämtliche Bürsten der Gruppe 1. Die „Elmex inter X medium“ ist dabei signifikant abrasiver als die Gruppen 1 und 2. Die „ADA Control“ schließlich ist signifikant abrasiver als in Gänze die anderen getesteten Bürsten.

Am anderen Ende der Skala findet man die „Dr. Best Brillant sensitive“, die „Oral B Advantage Plus“ und die „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“, die die geringste Abrasivität aufweisen und sich in dieser Eigenschaft signifikant von den Bürsten der Gruppen 2, 3 und 4 unterscheiden.

Mit Blick auf weitere, detailliertere Ergebnisse und deren Interpretation sei auf die folgenden Kapitel sowie den Anhang verwiesen.

6 Diskussion und Schlußfolgerungen

6.1 Ergebnisdiskussion zur Abrasions-Quantifizierung

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, bestehen bezüglich der abrasiven Wirkung auf das Dentin erhebliche Unterschiede zwischen den getesteten Handzahnbürsten.

In einer Eigenschaft jedoch stimmen nahezu die gesamten überprüften Bürsten überein. Die Enden der Borsten sind bei mikroskopischer Betrachtung mehr oder weniger stark abgerundet. Lediglich die „Meridol“ nimmt hier mit ihren fein auslaufenden Filamenten eine Sonderstellung ein. Den Einfluß von Borstenbeschaffenheit sowie Art und Weise des Borstenschnittes auf die Abrasivität bezüglich Schmelz und Dentin wies bereits im Jahre 1990 *Remizov* (Remizov and Pruzhanskii, 1990) nach, so daß sich die Abrundung der Borstenenden bei allen führenden Herstellern als Selbstverständlichkeit durchgesetzt hat.

Die Mittelwerte der Dentinverschleißtiefe schwanken dennoch in einem Bereich zwischen 82.07 µm bei der „Dr. Best Brillant sensitive“ und 249.17 µm bei der „ADA Control“.

Drei Zahnbürsten („Dr. Best Brillant sensitive“, „Oral B Advantage Plus“, „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“) zeigten eine signifikant geringere Abrasivität auf humanes Dentin als die anderen getesteten Handzahnbürsten.

Im Gegensatz dazu steht die „ADA Control“, welche signifikant stärker abrasiv auf Dentin wirkt als sämtliche weiteren getesteten Bürsten.

Die ADA Control – Zahnbürste besitzt innerhalb des Testfeldes einen ohne Besonderheiten gestalteten Bürstenkopf. Einfache, gerade angeordnete Borsten ohne Überkreuzungen und ein planes Borstenfeld kennzeichnen die „ADA Control“, die übrigens als Referenzbürste mitgetestet wurde. Die „Dr. Best Brillant sensitive“, die Zahnbürste mit der geringsten Abrasivität im Testfeld, besitzt als einzige Gummilamellen im Bürstenkopf. Vermutlich sind diese Gummilamellen mit ursächlich für das Ergebnis. Es ist vorstellbar, daß diese Lamellen durch eine relativ große Auflagefläche (in Relation zur Auflagefläche von Borsten) die geringe Abrasion zum Großteil bedingen.

Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse lassen sich Rangfolgen und Unterschiede bezüglich der Abrasivität detailliert darlegen.

Deutliche Übereinstimmungen mit den Ergebnissen von *Harte* bei seinen Untersuchungen zum Einfluß von Marke und Härte der Bürsten auf die Dentinabrasion (Harte and Manly, 1975) finden sich auch in der hier vorliegenden Untersuchung. Bei Bürsten der gleichen Marke und Bauform mit lediglich unterschiedlichen Härtegraden der Borsten zeigen sich – wie zu erwarten war – unterschiedliche Dentinverschleißtiefen. Die härteste Bürste hat den größten Verschleiß im Vergleich zu der mittleren oder weichen Variante, wie nachfolgende Beispiele belegen:

Die „Elmex inter X medium“ besitzt als mittelharte Variante eine Abrasivität von im Mittel 175,22 μm , während die entsprechende weiche Variante „Elmex inter X sensitive“ nur einen Wert von 144,06 μm erreicht. Ähnlich zeigt sich das Verhältnis von „Dr. Best X-Sensorkopf mittel“ (123,79 μm) zu „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“ (90,78 μm) oder auch der Vergleich

von „Blend-a-dent Professional hart“ (127,56 μm) mit den weicheren Varianten „sensitiv“ (108,80 μm) und „mittel“ (108,03 μm).

Es läßt sich also abschließend feststellen, daß sowohl das Bürstendesign, als auch die Härte der einzelnen Borsten und die Gestaltung der Borstenenden einen Einfluß auf die Ausprägung des Dentinabriebes besitzen.

Ein Zahnarzt, dessen Patientenkollektiv sich überwiegend aus Patienten mit parodontalen Erkrankungen bzw. Vorschäden zusammensetzt, sollte demzufolge seine Empfehlungen zu einer speziellen Zahnbürstenauswahl auf die Gruppe 1 und hier vor allem auf die ersten drei Bürsten richten („Dr. Best Brillant sensitive“, „Oral B Advantage Plus“, „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“). Allerdings ist die Aussagekraft einer solchen Empfehlung eingeschränkt, da in den vorliegenden Versuchen die Reinigungswirkung der Bürsten nicht mit einbezogen und somit überprüft wurde.

6.2 Kritische Würdigung von Fragestellung und Methodik

6.2.1 Fragestellung

Hauptanliegen der Untersuchung war es herauszufinden, ob und in welcher Ausprägung der Dentinverschleiß beim Zähneputzen von der Gestaltung (Design des Bürstenkopfes, Beschaffenheit der Borsten etc.) der Zahnbürste abhängig ist.

Diesbezüglich konnte geklärt werden, daß erhebliche Unterschiede in der Abrasivität zwischen den verschiedenen getesteten Handzahnbürsten bestehen. Beispielsweise sind Bürsten mit hoher Härte der Borsten deutlich verschleißfördernder als Bürsten mit mittelharten oder weichen Einzelborsten.

So läßt sich eine Rangliste der getesteten Bürsten bezüglich des Dentinverschleißes aufstellen.

Allerdings darf die Aussagekraft einer solchen Liste nicht überschätzt werden, da nur der Dentinabrieb, nicht jedoch die Reinigungswirkung der verschiedenen Zahnbürsten getestet wurde. Daher ist es durchaus möglich, daß wenig abrasive Bürsten mit einer unterdurchschnittlichen Reinigungswirkung einhergehen. Nur bei einer zusätzlichen Testung der Reinigungseigenschaften, letzteres wie es *Setzwein* durchführte, ließen sich wirklich Empfehlungen aus der Ergebnisliste generieren (Setzwein, 2002). Allein die gleichzeitige Testung von Reinigungswirkung und Dentinabrasion läßt Aussagen über Empfehlungen zu.

6.2.2 Methodik

Bei der Frage, mit welcher Methode validierbare Ergebnisse bezüglich der Dentinabrasion gewonnen werden können, muß zuerst entschieden werden, ob die Versuche in vivo oder in vitro durchgeführt werden sollen. Zahlreiche Beispiele für beide Arten der Versuchsdurchführung bei der Testung des Dentinverschleißes finden sich in der Literatur. So verfolgt *Pintado* die Veränderung nicht kariöser Läsionen an Zahnhälsen in vivo am Einzelprobanden über einen Zeitraum von 14 Jahren (*Pintado et al.*, 2000b). Die überwiegende Mehrheit der Quellen ergibt sich jedoch aus In-vitro-Untersuchungen.

Auch in der vorliegenden Untersuchung wurde dieser Weg eingeschlagen. Dafür ist eine Reihe von Begründungen evident.

Die Ergebnisse sollten in einem überschaubaren Zeitraum gewonnen werden, nicht zuletzt auch, um die Aktualität zu wahren. Schließlich dürften die meisten getesteten Zahnbürsten nach einem Zeitraum von beispielsweise 14 Jahren nicht mehr im Handel zu erhalten sein. Ein weiterer Grund ist die Minimierung äußerer Einflüsse auf die Ergebnisse. Es ist kaum möglich, zwei gleiche Gruppen aus Patienten zu bilden, die sich anschließend korrekt miteinander vergleichen lassen; zu groß sind erfahrungsgemäß die Unterschiede in der Putztechnik, der ausgeübten Anpreßkraft oder auch jene Unterschiede in der Compliance bis hin zu Ausfällen von Probanden. Viel Aufwand und ein hoher Zeitbedarf für ein unsicheres Ergebnis ließen in der vorliegenden Studie allein schon aus diesem Grunde eine Longitudinalstudie in vivo nicht zu.

Unsere Methode sollte vergleichsweise mit DIN EN ISO 11609 „Zahnpasten“ validiert sein, weil perspektivisch die „radioactive dentine abrasion“ (RDA) bestimmt wird (CEN, 2005); kann sie allerdings bisher nicht sein, da das Isotopenlabor und ein notwendiger Kernreaktor in absehbarer Zeit nicht verfügbar sein werden. Die RDA-Werte zu bestimmen, wird in der DIN EN ISO 11609 „Zahnpasten“ gefordert. Diese Norm bezieht sich zwar auf die Testung der Zahnpasten und nicht primär der Zahnbürsten, ist aber dennoch - vor allem bezüglich des Anhangs A, Prüfverfahren für die Abriebeigenschaften (*Hefferren*) - durchaus auf die vorliegende Untersuchung übertragbar (*Hefferren*, 1976a).

In einem weiteren Punkt, nämlich der Anpreßkraft, unterscheiden sich die vorliegenden Untersuchungen von der ISO Norm 11609. *Hefferren* postuliert dort einen auf den Probenkörper ausgeübten Anpreßdruck von 150g (*Hefferren*, 1976b). In der vorliegenden Untersuchung wurde der Anpreßdruck auf 250g eingestellt, wie dies auch bei Untersuchungen von *Teixeira* festgelegt ist (*Teixeira et al.*, 2005). In der Literatur finden sich zudem weitere verschiedene Angaben; so arbeitete *Sorensen* mit unterschiedlichen Anpreßkräften zwischen 90g und 150g (*Sorensen and Nguyen*, 2002), *Sander* führte Putztests bei Gewichten zwischen 110g und 300g durch (*Sander et al.*, 2005), *Litonjua* arbeitete ebenfalls mit 300g (*Litonjua et al.*, 2004c) und *McCracken* ließ Kräfte zwischen 75 und 300g in seinen Untersuchungen wirken (*McCracken et al.*, 2003). *Hotta* wiederum arbeitete lediglich mit 200g (*Hotta et al.*, 2002), *Tomofuji* mit Kräften zwischen 100g und 250g (*Tomofuji et al.*, 2002) sowie *Wataha* mit Kräften unter 200g (*Wataha et al.*, 1999).

Van der Weijden stellte bei Untersuchungen zur Effizienz der Plaqueentfernung an 94 Probanden fest, daß die mittlere aufgewandte Kraft beim Putzen einem Gewicht von 330g entspricht (*Van der Weijden et al.*, 1998). Somit dürfte der Wert von 250g, der höher liegt, als in der ISO Norm gefordert (150g), durchaus zielnah gewählt sein, um realistische Ergebnisse zu erzielen oder auch bestenfalls leicht zu gering, betrachtet man *Van der Weijden's* Ergebnisse (ebenda).

Darüber hinaus ist eine Mindestbreite der Dentinprobe von 14mm - wie bei *Hefferren* gefordert (*Hefferren*, 1976c)- nicht ausreichend, bedenkt man, daß einige moderne Zahnbürsten so breite Köpfe besitzen, so daß keine ungeputzten Areale beidseits des Bürstenkopfes bleiben, um später als Referenzebene dienen zu können. Geeigneter wären Stücke von annähernd 20mm. Allerdings schränkt dies weiter die Verfügbarkeit von Probenmaterial ein, denn zumeist erfüllen lediglich Eckzähne oder mittlere obere Schneidezähne die Voraussetzungen zur Gewinnung derart großer Dentinproben beim Menschen, zumal diese Zähne selten kariesfrei extrahiert werden.

Gewiß ist der Einsatz humanen Dentins ein Versuch, realistische Ergebnisse zu erzielen. Allerdings verbergen sich in diesem Versuch einige Probleme und Risiken. Wie bereits erwähnt, ist es schwierig, entsprechend große Proben aus menschlichen Zähnen zu gewinnen. Darüber hinaus ist das Angebot an extrahierten Zähnen in Zeiten besserer Mundhygiene zunehmend eingeschränkt. Auch muß man sich die Frage gefallen lassen, ob nicht durchaus interindividuelle Unterschiede bezüglich der Härte und der Widerstandsfähigkeit des Dentins gegen Abrieb bestehen, die die Ergebnisse

verfälschen können - von der Infektionsgefahr beim Umgang mit humanen Proben einmal ganz abgesehen.

Die meisten Autoren arbeiten mit humanem Dentin, jedoch gibt es auch Versuche, in denen mit Rinderdentin gearbeitet wurde, so zum Beispiel bei *De Menezes' Tests zum Dentinabrieb verschiedener Zahnpasten* (De Menezes *et al.*, 2004). *Philpotts* führt hingegen sehr ähnliche Untersuchungen an Humandentin durch (Philpotts *et al.*, 2005).

Speziell zur Klärung des Sachverhaltes, ob bovines Dentin einen vollwertigen Ersatz für humanes Dentin in derlei Versuchsreihen darstellt, führte *Imfeld* eigene Untersuchungen durch. Er stellte dabei fest, daß Wurzeln unterer Rinderfrontzähne durchaus anstelle von humanem Dentin verwendet werden können, wenn es gilt, in In-vitro-Untersuchungen mechanische Effekte von Zahnbürsten oder Zahnpasten auf das Dentin zu erforschen (Imfeld, 2001).

Die Verwendung von Rinderdentin löst dabei einige der oben aufgeführten Probleme. So lassen sich - bedingt durch die Größe der Rinderzähne - Probengrößen nahezu nach Wunsch herstellen. Außerdem ist es möglich, aus einem Zahn mehrere Proben gleichen Ursprunges (aus der gleichen Dentinschicht) herzustellen, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse deutlich verbessern dürfte. Lagerungsfehler, die bei humanen Proben kaum überschaubar und nur schwer beeinflussbar sind, da häufig viele Quellen benötigt werden, um eine entsprechende Probenanzahl zu erlangen, können so nahezu ausgeschlossen werden.

Zudem ist das Angebot an Rinderzähnen deutlich größer und nicht so eingeschränkt wie bei extrahierten menschlichen Zähnen.

Auch das Infektionsrisiko ist bei bovinem Dentin für den Untersucher deutlich geringer - läßt man BSE außer acht.

Die Verwendung der „ADA Control“ als Referenz-Zahnbürste ist bei einschlägigen Versuchen durchaus üblich (Schemehorn and Zwart, 1996a; Schemehorn and Zwart, 1996b).

Bedingt durch die neuartige „Zahnputz-Maschine“ waren einige Änderungen unabdingbar, um die Methodik in der geplanten Form umsetzen zu können.

So mußten nicht nur die Zahnbürsten-Griffe modifiziert werden, um grundsätzlich einen Einbau in die Maschine zu ermöglichen; bei einigen Modellen galt es, Federungselemente zu entfernen und folglich die nun relativ instabilen Griffe an der Rückseite mit Federdraht zu unterstützen.

Auch die Bäder für die Universal-Abrasiv-Slurry mußten mit der Fräse modifiziert werden, um einen kontaktfreien Lauf (kontaktfrei zum Bad) von Probe und Bürste zu gewährleisten.

Tesa-Film bildete eine Begrenzung, um das Überlaufen der Abrasiv-Slurry zu vermeiden.

Die Befestigungselemente für die Zahnbürsten wiesen anfangs nicht die gewünschte Qualität auf, so daß mit Hilfe von Schlauchschellen improvisiert werden mußte.

Zudem wurden die Matrizen zur Probeneinbettung den aktuellen Bedürfnissen angepaßt, die Schlitze zur Probenaufnahme von 14mm auf Maximallänge gefräst, um möglichst große Proben einbauen zu können.

Da es sich bisher um Prototypen der Gerätschaften handelt, wurde aus Kostengründen Aluminium für die Matrize verwendet. Dementsprechend weich ist die Form und vor Beschädigungen unzureichend geschützt; die Gewinde besitzen nur eine geringe Haltbarkeit. Da sich die Form jedoch

grundsätzlich als tauglich erwiesen hat, sollte bei künftigen Versuchen eine solche Form gleicher Bauart, allerdings aus Stahl, eingesetzt werden.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Prophylaxe gewinnt nicht zuletzt auch angesichts des notwendigen finanziellen und gesellschaftlichen Sparpotentials immer stärker an Bedeutung; nicht zu Unrecht, da schließlich die meisten kariösen und parodontalen Läsionen durch rechtzeitige, fachgerecht und regelmäßig durchgeführte Prophylaxemaßnahmen in ihrer Entstehung vermieden werden könnten, so auch gesundheitliches Wohlbefinden fördernd.

Das nach wie vor verbreitetste und am häufigsten angewandte „Prophylaxe-Werkzeug“ ist zweifellos die Handzahnbürste.

Die vorliegende Untersuchung setzte sich zum Ziel, Unterschiede bezüglich der Dentinabrasivität zwischen verschiedenen aktuellen Handzahnbürsten mit hohem Marktdurchsatz zu ermitteln.

Wie sich herausstellte, erwiesen sich die ausgewählten modernen Handzahnbürsten mit ebensolchem Bürstenkopfdesign ausnahmslos als signifikant weniger abrasiv im Vergleich zu der Referenzzahnbürste, der „ADA Control“. Die ADA Control - Zahnbürste verfügt dabei über ein einfaches Design mit geraden Borsten und planem Borstenfeld.

Bereits dieses Ergebnis zeigt, eine wie rasante Entwicklung die Handzahnbürsten in den letzten Jahren genommen haben. Nicht nur das Aussehen hat dabei eine spürbare Verbesserung erfahren und sich dem Zeitgeschmack angepaßt, sondern auch die Eigenschaften wurden offensichtlich (hier die Abrasivität) deutlich verbessert.

Im gesamten Testfeld zeigten drei Zahnbürsten auffallend günstige Eigenschaften in Bezug auf den Dentinverschleiß. Die „Dr. Best Brillant sensitive“, die „Oral B Advantage Plus“ und die „Dr. Best X-Sensorkopf sensitive“.

ve“ zeigten die geringsten Dentinabrasionstiefen. Das Ergebnis läßt den Schluß zu, daß diese Bürsten Patienten mit parodontal vorgeschädigtem Gebiß besonders zu empfehlen sind. Gegen diese Empfehlung ist aus Sicht der Abrasionswirkung auch gewiß nichts einzuwenden, Aussagen über die Reinigungswirkung lassen sich daraus jedoch nicht ableiten.

Es ist durchaus denkbar (aber keinesfalls sicher, bewegen wir uns mit folgender Schlußfolgerung doch im spekulativen Raum), daß die Bürsten mit der geringsten abrasiven Wirkung nur eine unterdurchschnittliche Reinigungswirkung zeigen.

Hier liegt ein Schwachpunkt der Ergebnisse. Um zuverlässige Empfehlungen aussprechen zu können, sollte zukünftig parallel zum Verschleiß an der Zahnoberfläche auch die Reinigungswirkung getestet werden.

Schließlich ist in der Reinigung der eigentliche Zweck der Handzahnbürste zu sehen!

Ein weiteres Anliegen dieser Untersuchung war es, eine validierbare und zuverlässige Methode zur Testung von Zahnbürsten zu entwickeln.

Um die Leistungsfähigkeit des Versuchsaufbaues zu verbessern, mußten exemplarisch zahlreiche Modifikationen an der „Zahnputz-Maschine“ vorgenommen werden. Es wurden beispielsweise neue Halterungen für die Handzahnbürsten entworfen, da die neuen Bürsten über teilweise sehr dicke, ergonomisch gestaltete Handgriffe verfügen. Die alten Halter waren für obige Studie wertlos. Ebenso mußten die Eichgewichte am Putzarm neu hergestellt und in ihrer Bauform geändert werden, um unseren Ansprüchen gerecht zu werden. Die Abrasiv-Slurry-Bäder wurden modifiziert, um einen reibungslosen Versuchsablauf zu gewährleisten. Auch Adapter, die si-

herstellen, daß die Zahnbürsten während des gesamten Versuches in der vollen Länge des Bürstenkopfes aufliegen, wurden erdacht und hergestellt. Selbst die Matrize zur Probeneinbettung war zu ändern, die Schlitzfräsung wurde von 14mm auf Maximallänge von ca. 20mm vergrößert, um den Einbau größerer Proben zu ermöglichen, anderenfalls hätten zur Auswertung keine ungeputzten Dentinareale als Referenzflächen mehr genutzt werden können.

Da sich die Matrize als tauglich erwiesen hat, sollte eine weitere Matrizenvariante aus dauerhaftem Stahl hergestellt werden und die mechanisch anfällige Variante aus Aluminium ersetzen.

Im Rückblick sei auch kritisch vermerkt, daß sich der Nachschub an extrahierten menschlichen Zähnen zur Dentinprobengewinnung problematisch darstellt, herrscht doch oft Mangel an geeigneten Zähnen. Zudem lassen sich Störfaktoren von außen oder Lagerungsfehler nur schwer beeinflussen oder erkennen, da man notwendigerweise auf viele verschiedene Quellen zurückgreifen muß. Beispielsweise wurden stark gebleicht aussehende Zähne nicht zur Probengewinnung herangezogen, um Fehler zu vermeiden. Vermutlich wurden diese Zähne zu irgendeinem Zeitpunkt nicht in physiologischer Kochsalzlösung, sondern in Wasserstoffperoxid gelagert. Trotz Rückfragen war nicht verifizierbar, ob es tatsächlich zu solchen Lagerungsfehlern gekommen war.

Ogleich die Verwendung von humanem Dentin sehr realistische Ergebnisse erwarten läßt, stellt sich jedoch die Frage, ob interindividuelle Unterschiede in der Dentinfestigkeit nicht zufällige Fehler der Ergebnisse bedingen.

Bei bovinem Dentin hingegen bestehen kaum Nachschubprobleme. Außerdem lassen sich Proben in nahezu beliebiger Größe wählen und verändern. Nicht zuletzt ist es möglich, aus einem Rinderzahn, sogar aus ein und derselben Dentinschicht mehrere Dentinproben zu gewinnen, die in ihren Eigenschaften geradezu identisch sind.

Ein weiterer Vorteil bovinen Dentins ist die wesentlich geringere Infektionsgefahr für den Experimentator im Gegensatz zu menschlichem Dentin, sieht man von der Bovinen Spongiencephalopathie (BSE) ab.

Die Gleichwertigkeit bovinen Dentins im Vergleich zu humanem Dentin beim Einsatz in Abrasionsversuchen ist inzwischen wissenschaftlich gesichert (Imfeld, 2001).

Daher sollte in zukünftigen Untersuchungen vorrangig bovines Dentin als Probenmaterial eingesetzt werden.

Für die Zukunft gilt es, weitere Versuche nach dem Design der vorliegenden Untersuchung durchzuführen. Wenige, u.U. notwendige zusätzliche Modifikationen werden einen robusten und zuverlässigen Versuchsaufbau gewährleisten.

Allerdings erweist es sich als sinnvoll, diese Untersuchungen mit einer höheren Anzahl an Proben und auch mit einer größeren Zahl von Zahnbürsten durchzuführen, um noch aussagefähigere Ergebnisse zu erhalten, denn in bereits erwähnten Teilen unserer Untersuchung war aus obigen Gründen kritische Distanz zu den Ergebnissen geboten.

Eine Forderung an zukünftige Versuche ist auch die gleichzeitige Überprüfung der Reinigungswirkung neben der Abrasivität der getesteten Handzahnbürsten. Nur diese Kombination läßt Aussagen über Qualität und Empfehlungen zu deren Einsatz aus zahnärztlicher Sicht zu.

Die Reinigungswirkung könnte dabei auch mit Hilfe eines Biofilm-Modells überprüft werden, wobei ein oder mehrere Stämme kariogener Keime zum Einsatz kommen sollten, um selbst dabei realitätsnah zu arbeiten.

Dafür bieten sich unter anderem *Streptokokkus mutans*, *S. sanguis*, *S. mitis* oder auch *S. sobrinus* an, da sie unkompliziert anzüchtbar sind und vor allem schnell auf Zahn- oder Kunststoffoberflächen einen dichten Biofilm bilden.

Auswertbar wäre dann exemplarisch die Reduktion des Biofilmes nach einem Putzversuch unter dem Fluoreszenzmikroskop.

Die vorliegenden Ergebnisse eröffnen insgesamt die Möglichkeit zu weiteren gezielten Untersuchungen, von Zahnbürsten-Vergleichen bezüglich Abrasivität und Reinigungswirkung sowie zu Studien mit Blick auf weitere Wirkmechanismen und Interdependenzen von Abrasivität und Reinigungswirkung.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Addy,M and Hunter,ML (2003). Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J* 53 Suppl 3:177-186.
2. Almas,K and Atassi,F (2002). The effect of miswak and tooth brush filaments end-surface texture on enamel. A SEM pilot study. *Indian J Dent Res* 13(1):5-10.
3. Bal,G, Uctasli,S, and Bekiroglu,E (1999). PC controlled toothbrush/dentifrice abrasion machine. *J Med Syst* 23(1):27-33.
4. Barnes,CM, Russell,CM, Hlava,GL, Utecht,B, and Reinhardt,RA (2003). A comparison of a waterpik dual-motor powered toothbrush and a manual toothbrush in affecting interproximal bleeding reduction and dental biofilm accumulation. *J Clin Dent* 14(3):49-52.
5. Bergstrom,J and Lavstedt,S (1979). An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol* 7(1):57-64.
6. Bjorn,H and Lindhe,J (1966). Abrasion of dentine by toothbrush and dentifrice. A methodological study. *Odontol Revy* 17(1):17-27.
7. Breitenmoser,J, Mormann,W, and Muhlemann,HR (1979). Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. *J Periodontol* 50(4):212-216.
8. CEN. EN ISO 11609 Zahnpasten Anforderungen, Prüfverfahren und Kennzeichnung. 2005.
9. Danser,MM, Timmerman,MF, IJzerman,Y, Bulthuis,H, Van,d, V, and Van der Weijden,GA (1998). Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *J Clin Periodontol* 25(9):701-706.
10. De Menezes,M, Turssi,CP, Hara,AT, Messias,DC, and Serra,MC (2004). Abrasion of eroded root dentine brushed with different toothpastes. *Clin Oral Investig* 8(3):151-155.

11. Drisko,C, Henderson,R, and Yancy,J (1995). A review of current toothbrush bristle endo-rounding studies. *Compend Contin Educ Dent* 16(7):694, 696, 698.
12. Dyer,D, Addy,M, and Newcombe,RG (2000). Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *J Clin Periodontol* 27(2):99-103.
13. Dyer,D, MacDonald,E, Newcombe,RG, Scratcher,C, Ley,F, and Addy,M (2001). Abrasion and stain removal by different manual toothbrushes and brush actions: studies in vitro. *J Clin Periodontol* 28(2):121-127.
14. Efraimssen,HE, Johansen,JR, Haugen,E, and Holland,RI (1990). Abrasive effect of a rotating electrical toothbrush on dentin. *Clin Prev Dent* 12(4):13-18.
15. Flemming,TF and Ehmke,B (1997). Plastische und mukogingivale Chirurgie. In: Parodontologie (PdZ 4). München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg, pp. 229-232.
16. FORREST,WI (1952). A case of tooth-brush abrasion. *J R Nav Med Serv* 38(4):216-218.
17. Fujii,K, Arikawa,H, Kanie,T, and Ban,S (2004). Toothbrush abrasion of paint-on resins for shade modification and crown resins: effect of water absorption. *Dent Mater J* 23(2):223-229.
18. Gohring,TN, Besek,MJ, and Schmidlin,PR (2002). Attritional wear and abrasive surface alterations of composite resin materials in vitro. *J Dent* 30(2-3):119-127.
19. Harrington,E, Jones,PA, Fisher,SE, and Wilson,HJ (1982). Toothbrush-dentifrice abrasion. A suggested standard method. *Br Dent J* 153(4):135-138.
20. Harte,DB and Manly,RS (1975). Effect of toothbrush variables on wear of dentin produced by four abrasives. *J Dent Res* 54(5):993-998.
21. Heasman,PA, Heynderickx,I, de Jager,M, and Sturm,D (2001). Influence of a controlled pressure system on toothbrushing behavior. *J Clin Dent* 12(1):2-6.

22. Hefferren, JJ (1976b). A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res* 55(4):563-573.
23. Hefferren, JJ (1976a). A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res* 55(4):563-573.
24. Hefferren, JJ (1976c). A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res* 55(4):563-573.
25. Hellwig, E, Klimek, J, and Attin, T (1999a). Ätiologie, Histologie und Epidemiologie der Karies und anderer Zahnhartsubstanzdefekte. In: Einführung in die Zahnerhaltung. München, Jena: Urban & Fischer, p. 43.
26. Hellwig, E, Klimek, J, and Attin, T (1999b). Mikroskopische Anatomie der Zahnhartsubstanzen. In: Einführung in die Zahnerhaltung. München, Jena: Urban & Fischer, pp. 3-11.
27. Hotta, M, Sekine, I, Imade, S, and Sano, A (2002). Evaluation of tapered-end toothbrush bristles regarding efficacy of access to occlusal fissures. *J Clin Dent* 13(6):225-227.
28. Imfeld, T (2001). Comparison of the mechanical effects of a toothbrush and standard abrasive on human and bovine dentine in vitro. *J Clin Dent* 12(4):92-96.
29. Joshipura, KJ, Kent, RL, and DePaola, PF (1994). Gingival recession: intra-oral distribution and associated factors. *J Periodontol* 65(9):864-871.
30. Kalili, T, Caputo, AA, Mito, R, Sperbeck, G, and Matyas, J (1991). In vitro toothbrush abrasion and bond strength of bleached enamel. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 3(5):22-24.
31. Kielbassa, AM, Gillmann, L, Zantner, C, Meyer-Lueckel, H, Hellwig, E, and Schulte-Monting, J (2005). Profilometric and microradiographic studies on the effects of toothpaste and acidic gel abrasivity on sound and demineralized bovine dental enamel. *Caries Res* 39(5):380-386.
32. Klimek, J and Hellwig, E (1989). [Clinical comparison of newly introduced toothbrush with two presently available toothbrushes]. *Oralprophylaxe* 11(4):144-148.

33. Kodaka,T, Kuroiwa,M, Kuroiwa,M, Okumura,J, Mori,R, Hirasawa,S *et al.* (2001). Effects of brushing with a dentifrice for sensitive teeth on tubule occlusion and abrasion of dentin. *J Electron Microsc (Tokyo)* 50(1):57-64.
34. Körber,K (1995). Funktionslehre. In: Zahnärztliche Prothetik. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, pp. 3-7.
35. Krejci,I, Albertoni,M, and Lutz,F (1990). [An in-vitro test procedure for evaluating dental restoration systems. 2. Toothbrush/toothpaste abrasion and chemical degradation]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100(10):1164-1168.
36. Kugel,G and Boghosian,AA (2002). Impact of the sonicare toothbrush on plaque and gingivitis. *Compend Contin Educ Dent* 23(7 Suppl 1):7-10.
37. Lentz,DL, McDaniel,MD, Tolbert,WE, and Dean,DH (1991). Toothbrush abrasion caused by different dentifrices. *Quintessence Int* 22(12):985-988.
38. Lippert,F, Parker,DM, and Jandt,KD (2004). Toothbrush abrasion of surface softened enamel studied with tapping mode AFM and AFM nanoindentation. *Caries Res* 38(5):464-472.
39. Litonjua,LA, Andreana,S, Bush,PJ, Tobias,TS, and Cohen,RE (2004a). Wedged cervical lesions produced by toothbrushing. *Am J Dent* 17(4):237-240.
40. Litonjua,LA, Bush,PJ, Andreana,S, Tobias,TS, and Cohen,RE (2004c). Effects of occlusal load on cervical lesions. *J Oral Rehabil* 31(3):225-232.
41. Litonjua,LA, Bush,PJ, Andreana,S, Tobias,TS, and Cohen,RE (2004b). Effects of occlusal load on cervical lesions. *J Oral Rehabil* 31(3):225-232.
42. Lussi,A, Jaeggi,T, Gerber,C, and Megert,B (2004). Effect of amine/sodium fluoride rinsing on toothbrush abrasion of softened enamel in situ. *Caries Res* 38(6):567-571.
43. Lyons,K (2001). Aetiology of abfraction lesions. *N Z Dent J* 97(429):93-98.

44. Manly,RS and Foster,DH (1966). Improvement in method for measurement of abrasion of dentin by toothbrush and dentifrice. *J Dent Res* 45(6):1822.
45. Manly,RS, WIREN,J, MANLY,PJ, and KEENE,RC (1965). A METHOD FOR MEASUREMENT OF ABRASION OF DENTIN BY TOOTHBRUSH AND DENTIFRICE. *J Dent Res* 44:533-540.
46. Mantokoudis,D, Joss,A, Christensen,MM, Meng,HX, Suvan,JE, and Lang,NP (2001). Comparison of the clinical effects and gingival abrasion aspects of manual and electric toothbrushes. *J Clin Periodontol* 28(1):65-72.
47. Marxkors,R and Meiners,H (2001). Die partielle Prothese - Gebogene Klammern. In: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Köln, München: Dt. Zahnärzte-Verl., DÄV-Hanser, pp. 129-148.
48. Mc,CD and Conroy,CW (1967). Comparisons of abrasion produced by a simulated manual versus a mechanical toothbrush. *J Dent Res* 46(5):1022-1027.
49. McCracken,GI, Janssen,J, Swan,M, Steen,N, de Jager,M, and Heasman,PA (2003). Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush. *J Clin Periodontol* 30(5):409-413.
50. McKinney,J, Burns,S, and Killoy,W (1990). Comparison between the counter-rotational toothbrush and multi-action toothbrush. *J Clin Dent* 2(2):39-42.
51. McLey,L, Boyd,RL, and Sarker,S (1997). Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: relative degree of bristle end-rounding. *J Clin Dent* 8(3 Spec No):86-90.
52. Mehl,A, Gloger,W, Kunzelmann,K-H, and Hickel,R (1996). Entwicklung eines neuen optischen Oberflächenmeßgerätes zur präzisen dreidimensionalen Zahnvermessung. *Dtsch Zahnärztl Z* 51(1):23-27.
53. Mehl,A, Gloger,W, Kunzelmann,K-H, and Hickel,R (1997a). A New Optical 3-D Device for the Detection of Wear. *J Dent Res* 76(11):1799-1807.

54. Mehl,A, Gloger,W, Kunzelmann,K-H, and Hickel,R (1997b). A New Optical 3-D Device for the Detection of Wear. *J Dent Res* 76(11):1799-1807.
55. Mehl,A, Gloger,W, Kunzelmann,K-H, and Hickel,R (1997c). A New Optical 3-D Device for the Detection of Wear. *J Dent Res* 76(11):1799-1807.
56. Meiers,JC (2005). In vitro toothbrush-dentifrice abrasion of two restorative composites. *J Esthet Restor Dent* 17(3):181-182.
57. Meyer-Lueckel,H, Borchert,N, Roggensack,M, Munz,I, and Kielbassa,AM (2004). [Quality of the bristle-end rounding in ten brands of children's toothbrushes]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114(6):564-572.
58. Momoi,Y, Hirosaki,K, Kohno,A, and McCabe,JF (1997). In vitro toothbrush-dentifrice abrasion of resin-modified glass ionomers. *Dent Mater* 13(2):82-88.
59. Müller,H-P (2001). Epidemiologie der Parodontalerkrankung. In: Parodontologie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, pp. 44-56.
60. Niemi,ML (1987). Gingival abrasion and plaque removal after toothbrushing with an electric and a manual toothbrush. *Acta Odontol Scand* 45(5):367-370.
61. Niemi,ML, Ainamo,J, and Etemadzadeh,H (1988). [Gingival abrasion and plaque removal with manual vs. electric toothbrushes]. *Oralprophylaxe* 10(1):11-17.
62. Ogunyinka,A, Dosumu,OO, and Otuyemi,OD (2001). The pattern of toothwear amongst 12-18-year-old students in a Nigerian population. *J Oral Rehabil* 28(6):601-605.
63. Owens,BM and Gallien,GS (1995). Noncariious dental "abfraction" lesions in an aging population. *Compend Contin Educ Dent* 16(6):552, 554, 557-552, 554, 558.
64. Philpotts,CJ, Weader,E, and Joiner,A (2005). The measurement in vitro of enamel and dentine wear by toothpastes of different abrasivity. *Int Dent J* 55(3 Suppl 1):183-187.

65. Pintado,MR, DeLong,R, Ko,CC, Sakaguchi,RL, and Douglas,WH (2000a). Correlation of noncarious cervical lesion size and occlusal wear in a single adult over a 14-year time span. *J Prosthet Dent* 84(4):436-443.
66. Pintado,MR, DeLong,R, Ko,CC, Sakaguchi,RL, and Douglas,WH (2000b). Correlation of noncarious cervical lesion size and occlusal wear in a single adult over a 14-year time span. *J Prosthet Dent* 84(4):436-443.
67. Rajstein,J, Lustmann,J, Hershkovitz,J, and Gedalia,I (1979). In vitro evaluation of enamel and cementum abrasion after toothbrushing. *Refuat Hapeh Vehashinayim* 28(1):17-18.
68. Rees,JS and Jagger,DC (2003). Abfraction lesions: myth or reality? *J Esthet Restor Dent* 15(5):263-271.
69. Remizov,SM and Pruzhanskii,LI (1990). [The effect of toothbrushes on human dental enamel and dentin wear]. *Stomatologiia (Mosk)*(4):4-6.
70. Rosema,NA, Timmerman,MF, Piscoer,M, Strate,J, Warren,PR, Van,d, V *et al.* (2005). An oscillating/pulsating electric toothbrush versus a high-frequency electric toothbrush in the treatment of gingivitis. *J Dent* 33 Suppl 1:29-36.
71. Sander,FM, Sander,C, and Sander,FG (2005). Dental care with manual toothbrushes during fixed orthodontic treatment--a new testing procedure. *J Orofac Orthop* 66(4):299-306.
72. Satoh,Y, Ohtani,K, Maejima,K, Morikawa,M, Matsuzu,M, Nagai,E *et al.* (1990). Wear of artificial denture teeth by use of toothbrushes. Part 1: Abrasive wear of anterior teeth. *J Nihon Univ Sch Dent* 32(4):247-258.
73. Schemehorn,BR and Zwart,AC (1996a). Hard tissue abrasivity of an automatic interdental plaque remover. *J Clin Dent* 7(3 Spec No):78-80.
74. Schemehorn,BR and Zwart,AC (1996b). The dentin abrasivity potential of a new electric toothbrush. *Am J Dent* 9 Spec No:S19-S20.
75. Schröder,HE (1991). *Pathobiologie oraler Strukturen*. Basel: Karger.

76. Schröder,HE and Lindhe,J (1976). Conditions and features of rapidly destructive experimental periodontitis in dog. *J Periodontol* 51:6.
77. Setzwein,M (2002). Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der approximalen Reinigungswirkung von neuen Zahnbürstendesigns. Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München.
78. Sewerin,I (1970). [Complex toothbrush abrasions]. *Tandlaegebladet* 74(5):489-497.
79. Sharma,NC, Galustians,HJ, Qaqish,J, Cugini,M, and Warren,PR (2000). 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* 13(1):17-20.
80. Sicilia,A, Arregui,I, Gallego,M, Cabezas,B, and Cuesta,S (2002). A systematic review of powered vs manual toothbrushes in periodontal cause-related therapy. *J Clin Periodontol* 29 Suppl 3:39-54.
81. Sorensen,JA and Nguyen,HK (2002). Evaluation of toothbrush-induced dentin substrate wear using an in vitro ridged-configuration model. *Am J Dent* 15 Spec No:26B-32B.
82. Spieler,EL (1994). Toothbrush abrasion: prevention and the Alert toothbrush. *Compendium* 15(3):306, 308, 310-306, 308, 312.
83. Spieler,EL (1996). Preventing toothbrush abrasion and the efficacy of the Alert toothbrush: a review and patient study. *Compend Contin Educ Dent* 17(5):478-5.
84. Tanoue,N, Matsumura,H, and Atsuta,M (2000). Wear and surface roughness of current prosthetic composites after toothbrush/dentifrice abrasion. *J Prosthet Dent* 84(1):93-97.
85. Teixeira,EC, Thompson,JL, Jeffrey,RP, and Thompson,JY (2005). In vitro toothbrush-dentifrice abrasion of two restorative composites. *J Esthet Restor Dent* 17(3):172-180.
86. Tomofuji,T, Morita,M, Horiuchi,M, Sakamoto,T, Ekuni,D, Yamamoto,T *et al.* (2002). The effect of duration and force of mechanical toothbrushing stimulation on proliferative activity of the junctional epithelium. *J Periodontol* 73(10):1149-1152.

87. Torrado,A, Valiente,M, and Munoz,CA (2004). Cleaning power and abrasivity of a new toothpaste based on ion-exchange resins. *Am J Dent* 17(2):80-84.
88. Tuominen,M and Tuominen,R (1992). Tooth surface loss and associated factors among factory workers in Finland and Tanzania. *Community Dent Health* 9(2):143-150.
89. Van der Weijden,GA (2002). Models for assessing powered toothbrushes. *Adv Dent Res* 16(1):17-20.
90. Van der Weijden,GA, Timmerman,MF, Danser,MM, and Van,d, V (1998). Relationship between the plaque removal efficacy of a manual toothbrush and brushing force. *J Clin Periodontol* 25(5):413-416.
91. Van der Weijden,GA, Timmerman,MF, Versteeg,PA, Piscaer,M, and Van,d, V (2004). High and low brushing force in relation to efficacy and gingival abrasion. *J Clin Periodontol* 31(8):620-624.
92. Vehkjalathi,M (1989). Occurrence of gingival recessions in adults. *J Periodontol* 60:599.
93. Versteeg,PA, Timmerman,MF, Piscaer,M, Van,d, V, and Van der Weijden,GA (2005). Brushing with and without dentifrice on gingival abrasion. *J Clin Periodontol* 32(2):158-162.
94. Vieira,A, Overweg,E, Ruben,JL, and Huysmans,MC (2005). Toothbrush abrasion, simulated tongue friction and attrition of eroded bovine enamel in vitro. *J Dent*.
95. Wang,Y, Cui,G, and Liu,T (1995). [Relation of wedge-shaped tooth defects, the quality of toothbrush and toothbrushing methods]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 30(3):169-171.
96. Warren,PR (2005). Development of an oscillating/rotating/pulsating toothbrush: the Oral-B ProfessionalCare Series. *J Dent* 33 Suppl 1:1-9.
97. Wataha,JC, Lockwood,PE, Frazier,KB, and Khajotia,SS (1999). Effect of toothbrushing on elemental release from dental casting alloys. *J Prosthodont* 8(4):245-251.

98. Yankell,SL, Emling,RC, Petrone,ME, Rustogi,K, Volpe,AR, DeVizio,W *et al.* (1999). A six-week clinical efficacy study of four commercially available dentifrices for the removal of extrinsic tooth stain. *J Clin Dent* 10(3 Spec No):115-118.
99. Yesil,DZ, Orbak,R, and Dilsiz,A (2003). Abrasion resistance of veneering materials to tooth brushing. *Dent Mater J* 22(4):460-466.
100. Yuen,AF, Nelson,R, Johnson,MR, McInnes,C, Nguyen,HK, and Sorensen,JA (2004). In vitro evaluation of the efficacy and safety of the intelliclean system: interproximal biofilm removal and dentin substrate wear. *Compend Contin Educ Dent* 25(10 Suppl 1):44-50.
101. Zimmer,S (2005a). Die Handzahnbürste - ist sie noch verbesserungswürdig? *Zahnarzt & Praxis* 8(4):162-169.
102. Zimmer,S (2005b). Die Handzahnbürste - ist sie noch verbesserungswürdig? *Zahnarzt & Praxis* 8(4):162-169.
103. Zimmer,S (2005c). Die Handzahnbürste - ist sie noch verbesserungswürdig? *Zahnarzt & Praxis* 8(4):162-169.
104. Zimmer,S (2005d). Die Handzahnbürste - ist sie noch verbesserungswürdig? *Zahnarzt & Praxis* 8(4):162-169.
105. Zimmer,S (2003). Handzahnbürsten: Was gibt's Neues? *Zahnarzt & Praxis* 6(8):570-579.

9 Anhang:

Abbildungen, Tabellen und Versuchsanleitungen

	Zahnbürste	Fälle					
		Gültig		Fehlend		Gesamt	
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Mittelwerte	Elmex inter X sensitive	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Elmex inter X medium	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Oral B Cross-Action	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Oral B Advantage Plus	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Blend-a-dent Professional sensitiv	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Blend-a-dent Professional mittel	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Blend-a-dent Professional hart	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Dr. Best Brillant sensitive	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Dr. Best X-Sensorkopf sensitive	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Dr. Best X-Sensorkopf mittel	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	Meridol	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	ADA Control	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%

Tabelle A 1: Sämtliche verarbeitete Fälle (kein Ausfall einzelner Werte)

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Mittelwerte	Zwischen den Gruppen	242561,308	11	22051,028	18,135	,000
	Innerhalb der Gruppen	131320,904	108	1215,934		
	Gesamt	373882,212	119			
q50	Zwischen den Gruppen	337261,270	11	30660,115	22,823	,000
	Innerhalb der Gruppen	145086,424	108	1343,393		
	Gesamt	482347,694	119			

Tabelle A 2: ONEWAY ANOVA

	Zahnbürste	N	Untergruppe für Alpha = .05.			
			1	2	3	4
Tukey-HSD(a)	Dr. Best Brillant sensitive	10	82,07			
	Oral B Advantage Plus	10	84,36			
	Dr. Best X-Sensorkopf sensitive	10	90,78			
	Meridol	10	107,51	107,51		
	Blend-a-dent Professional mittel	10	108,03	108,03		
	Blend-a-dent Professional sensitiv	10	108,80	108,80		
	Dr. Best X-Sensorkopf mittel	10	123,79	123,79	123,79	
	Blend-a-dent Professional hart	10	127,56	127,56	127,56	
	Elmex inter X sensitive	10		144,06	144,06	
	Oral B Cross-Action	10		150,40	150,40	
	Elmex inter X medium	10			175,22	
	ADA Control	10				249,17
	Signifikanz			,150	,217	,056

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.
a Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

Tabelle A 3: Homogene Untergruppen - Mittelwerte

	Zahnbürste	N	Untergruppe für Alpha = .05.			
			1	2	3	4
Tukey-HSD(a)	Oral B Advantage Plus	10	72,11			
	Dr. Best Brillant sensitive	10	79,79			
	Dr. Best X-Sensorkopf sensitive	10	85,31			
	Meridol	10	85,38			
	Blend-a-dent Professional mittel	10	99,30	99,30		
	Blend-a-dent Professional sensitiv	10	104,11	104,11		
	Blend-a-dent Professional hart	10	115,93	115,93		
	Dr. Best X-Sensorkopf mittel	10	122,38	122,38		
	Elmex inter X sensitive	10		147,30	147,30	
	Oral B Cross-Action	10		149,90	149,90	
	Elmex inter X medium	10			184,15	
	ADA Control	10				266,25
	Signifikanz			,104	,099	,520

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.
a Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

Tabelle A 4: Homogene Untergruppen - q50

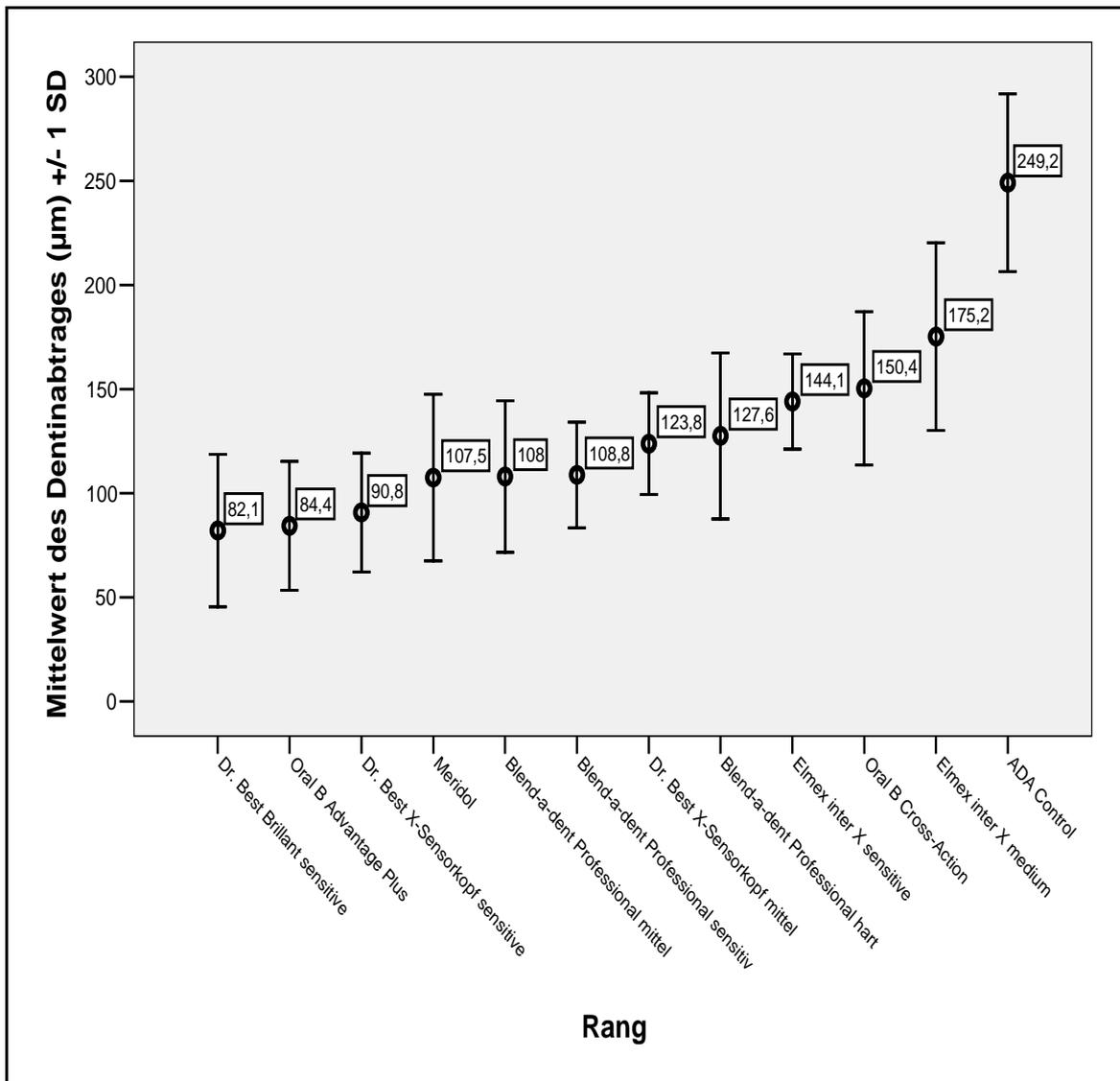


Abbildung A 1: Darstellung der Mittelwerte des Dentinabtrages für jede Gruppe von Zahnbürsten nach Rang geordnet

Anleitungen zu den Versuchen

Anleitung zur Herstellung der Standard-Abrasivslurry-Lösung:

- Herstellung der Tragant-Lösung:

Es ist sinnvoll, die Tragant-Lösung 24 Stunden vor der endgültigen Herstellung der Standard-Abrasivslurry-Lösung bereitzustellen.

Zusammensetzung: - 246,88g Glycerin
- 246,88g deionisiertes Wasser
- 6,24g Tragant (Fa. Merck, Darmstadt,
Deutschland,
Bestell-Nr.: 1.08405.0500)

Glycerin wird im Becherglas vorgelegt und Tragant unter Rühren hinzugegeben, bis beides homogen vermischt ist.

Anschließend wird - ebenfalls unter stetem Rühren - das deionisierte Wasser hinzugefügt, bis ein homogenes Gemisch entsteht.

- Herstellung der Standard-Abrasivslurry-Lösung:
(Mengenangaben ausreichend für die 6 Suspensionsgefäße in der Zahnbürst-Maschine)

Zusammensetzung: - 200,4g Calciumhydrogenphosphat (Fa. Merck,
Darmstadt, Deutschland,
Bestell-Nr.: 1.02144.5000)
- 67,2g deionisiertes Wasser
- 67,2g Glycerin
- 265,2g Tragant-Lösung

Deionisiertes Wasser, Glycerin und Tragant-Lösung werden im Becherglas vorgelegt und unter Rühren wird portionsweise Calciumhydrogenphosphat hinzugefügt und homogen vermischt.

Aufgrund der hohen Viskosität ist hier ein Stabmixer von großem Nutzen.

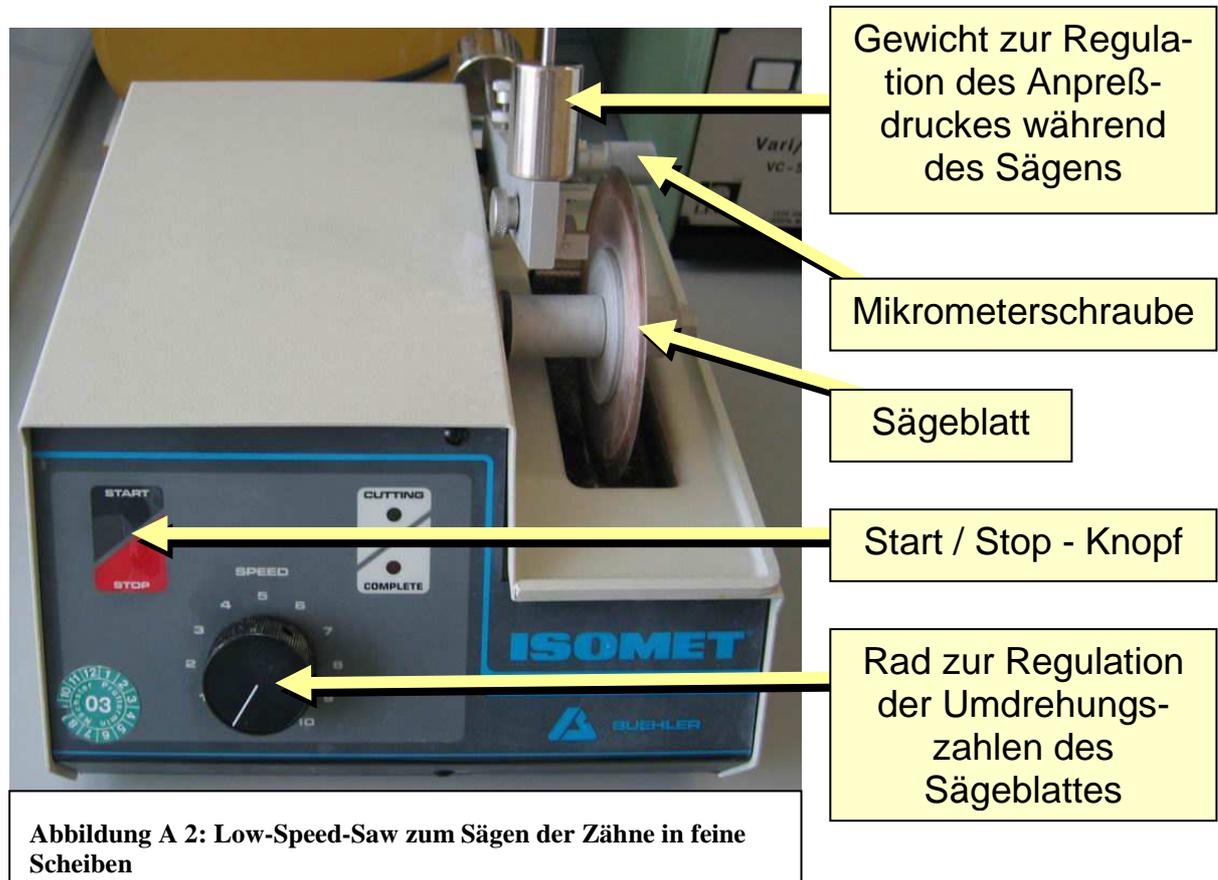
Bezugsadresse der entsprechenden Chemikalien:

Firma Kremer & Kreiler Tel.: 089-35652820
Heinrich-Kley-Straße 12 Fax.: 089-35625324
80807 München

Zusammensetzung und Mengenangaben nach P&G Health and Beauty
Care Europe TC

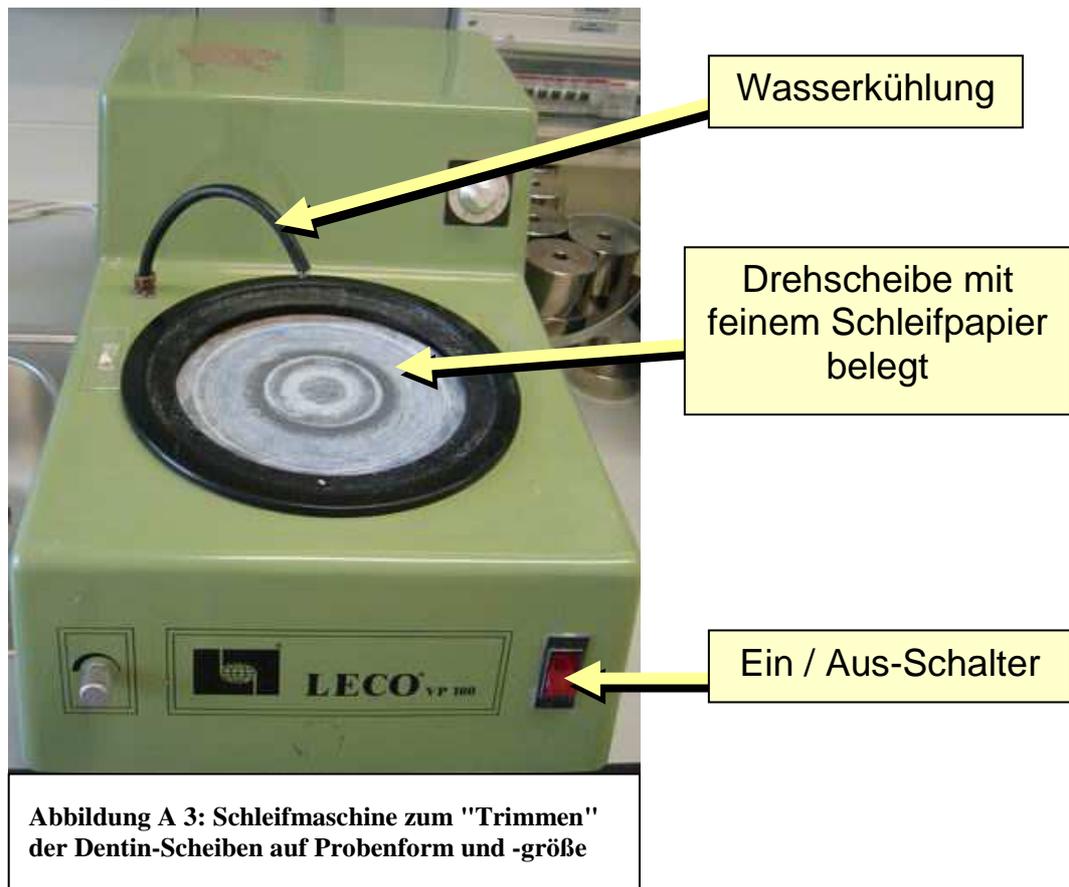
Herstellung und Einbettung der Dentinproben:

- Sammeln der extrahierten Zähne
- Sägen der Zähne (längs der Zahnachse) in dünne Scheiben mit der Low-Speed-Saw



Aus lichthärtendem Kunststoff wird eine Platte hergestellt, auf die mit Kerr-Masse die Zähne aufgeklebt werden. Die Platte kann dann entsprechend orientiert, an der Säge, über eine Verschraubung befestigt werden. Anschließend werden Feineinstellungen mit Hilfe der Mikrometerschraube an der Säge vorgenommen.

- Aussortieren von ungeeigneten Proben (verfärbt, beschädigt, mit kariösen Läsionen oder bei angeschnittenem Pulpenkavum)
- Zuschleifen der Proben auf Rechteckform und passende Größe (ca. 2mm Dicke, 20mm Länge und 2-3mm Breite); dabei werden - soweit vorhanden - Schmelz- und Wurzelspitzenanteile entfernt



- Lagerung der Dentinproben in einer „feuchten Kammer“, z.B. in einem luftdichten Behälter mit gut durchfeuchtetem Papier oder Schwämmen zur Aufrechterhaltung einer feuchtigkeitsgesättigten Atmosphäre bis zur Einbettung
- Einbettung der Proben in Kunststoff mit Hilfe der Matrize; Herstellung passender Proben zum Einbau in die Zahnputz-Maschine bzw. in die Spezialhalter (siehe nachfolgende Abbildungen, auch zur Verdeutlichung des schrittweisen Zusammenbaues der Einzelteile der Matrize)

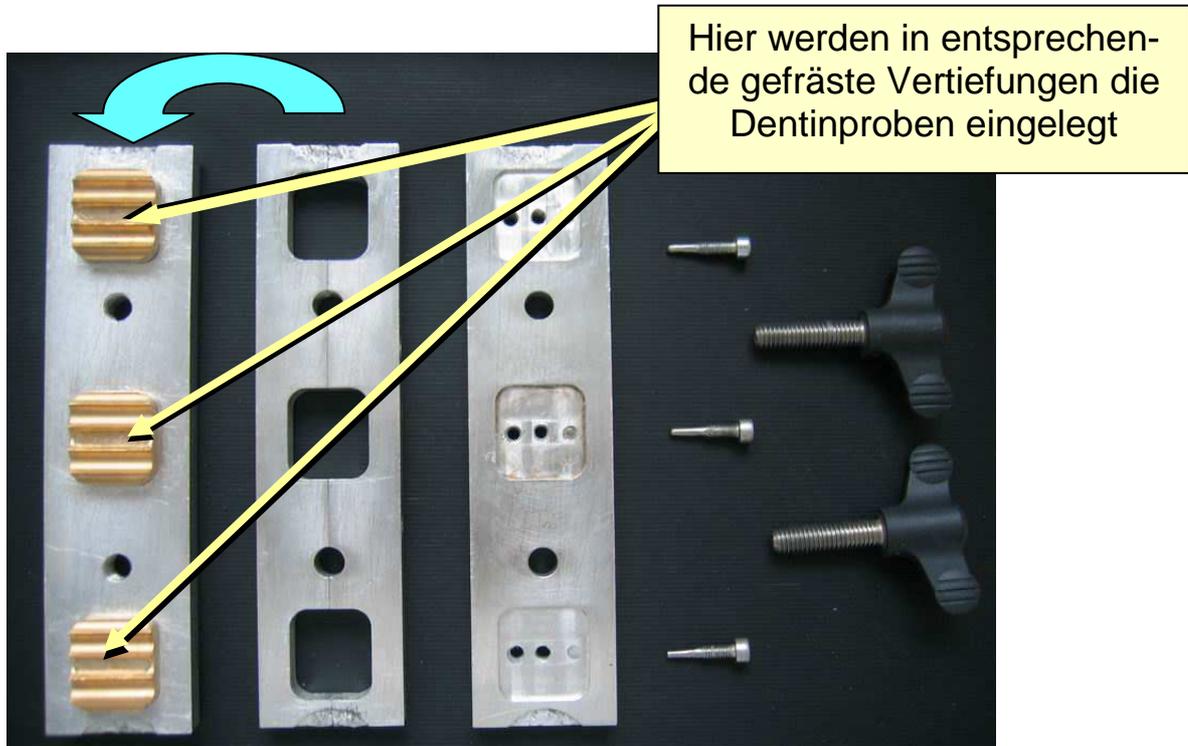


Abbildung A 4: Einzelteile der Matrize von links nach rechts: Bodenplatte mit Messingformen zur Probenaufnahme; Mittelteil der Matrize; Deckplatte der Matrize; 3x Inbusschrauben mit abgerundetem Ende (poliert, ohne Windungen) zur Probenfixierung; 2x Flügelschrauben für Zusammenhalt der Matrizeneinzelteile; 3 Proben können gleichzeitig eingebettet werden; Mittelteil wird auf Bodenplatte aufgesetzt (Rund-Pfeil)

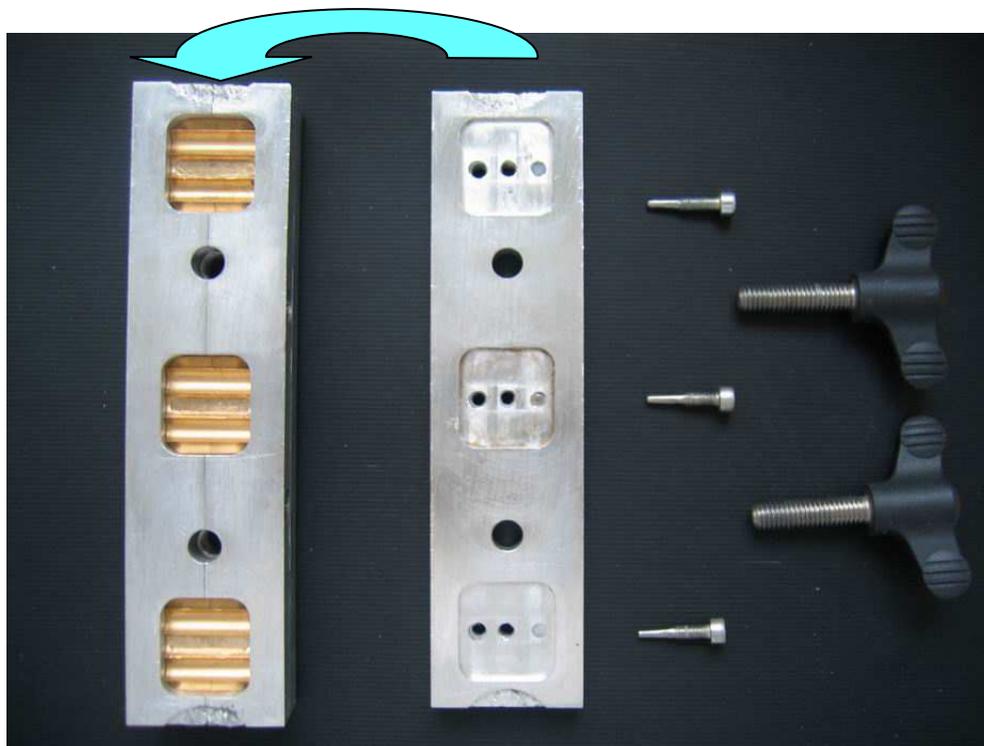


Abbildung A 5: Das Mittelteil ist bereits auf die Basis der Matrize gesteckt. Nun werden die Dentinproben in die entsprechenden Vertiefungen eingelegt (hier nicht sichtbar). Anschließend wird die Deckplatte aufgesetzt (Rund-Pfeil).

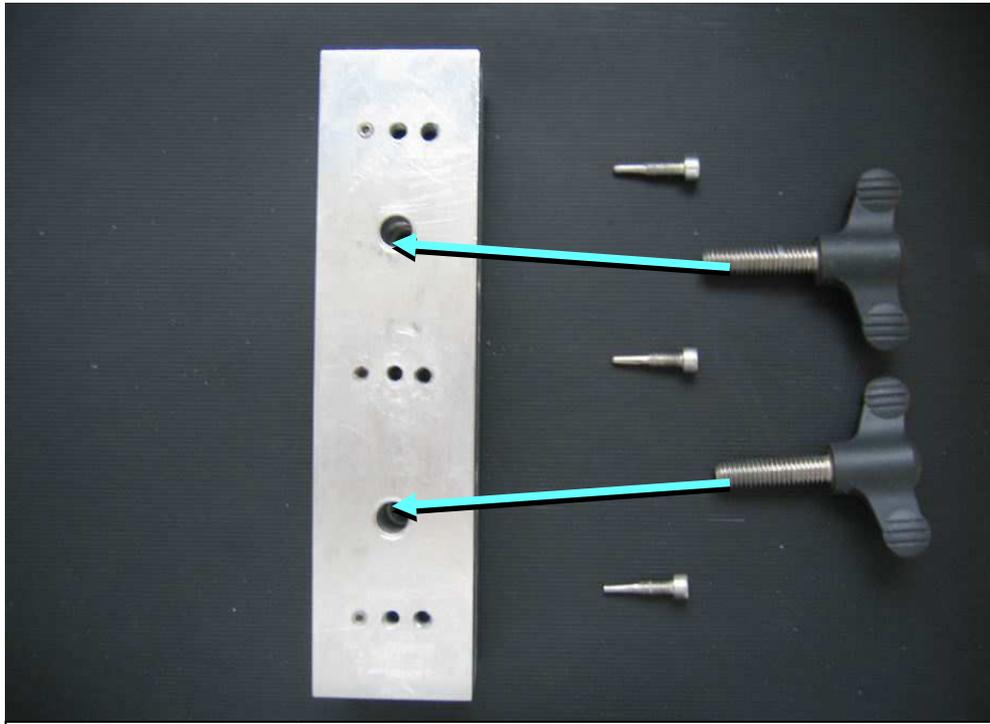
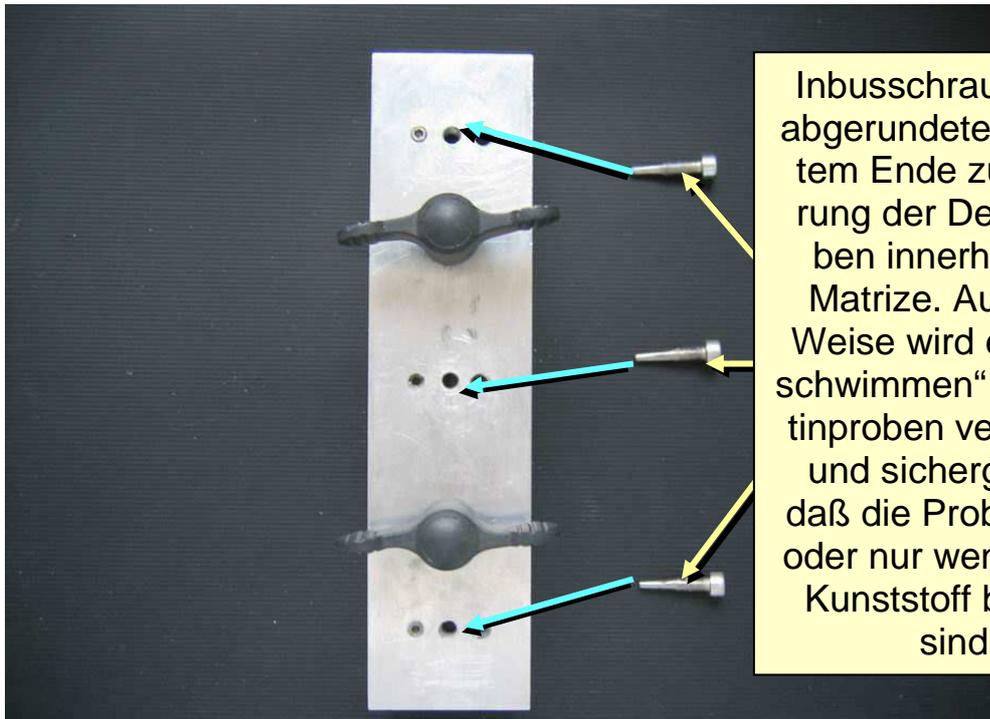


Abbildung A 6: Matrize mit eingelegten Dentinproben vollständig zusammen-gesteckt; die Flügelschrauben fixieren die Matrizeile letztlich



Inbusschrauben mit abgerundetem polier-tem Ende zur Fixie-rung der Dentinpro-ben innerhalb der Matrize. Auf diese Weise wird ein „Aufschwimmen“ der Den-tinproben vermieden und sichergestellt, daß die Proben nicht oder nur wenig durch Kunststoff bedeckt sind.

Abbildung A 7: Einzelteile der Matrize mit Flügelschrauben fixiert; die In-busschrauben werden jetzt vorsichtig eingeführt und angezogen, um die Den-tinproben innerhalb der Matrize temporär zu fixieren und ein Aufschwimmen beim Einspritzen des Kunststoffes zu verhindern

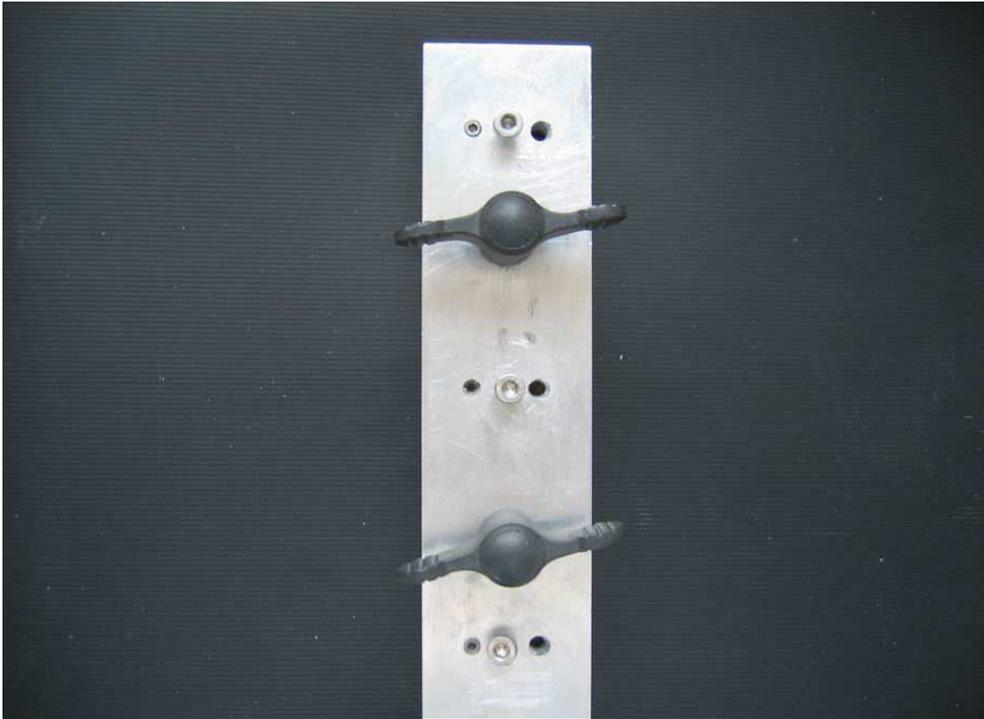


Abbildung A 8: vollständig zusammengefügte Matrize mit Flügelschrauben montiert und mit Inbusschrauben zur Probenfixierung (Draufsicht)



Abbildung A 9: vollständig zusammengefügte Matrize mit Flügelschrauben montiert und mit Inbusschrauben zur Probenfixierung (Seitenansicht schräg)



Abbildung A 10: Protemp 3 Garant; Kartusche und Applikationspistole; handelsüblicher Provisorienkunststoff (Fa. ESPE, Seefeld, Deutschland)

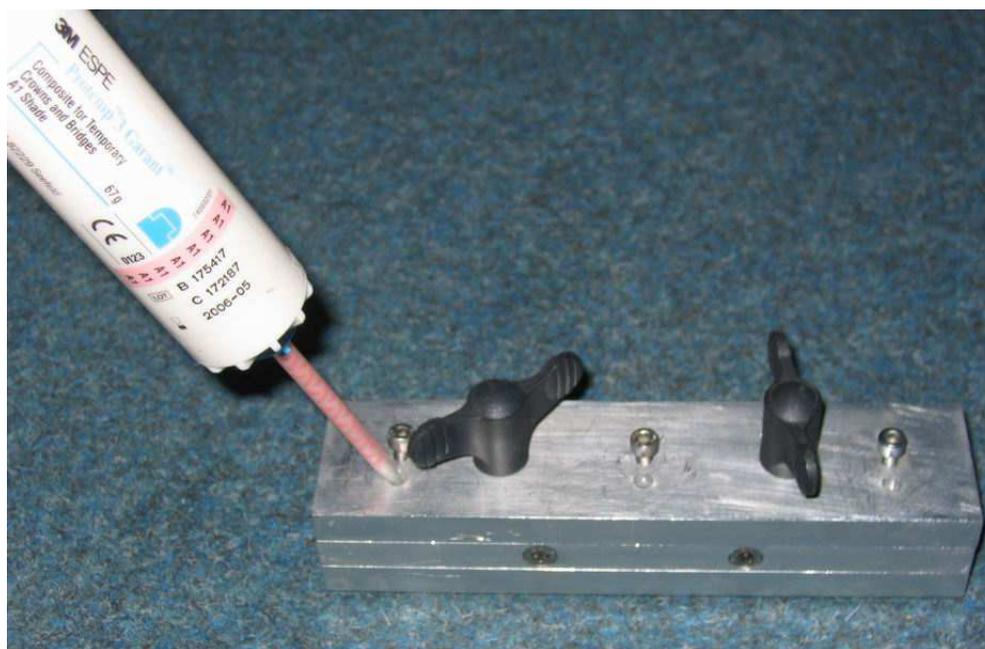
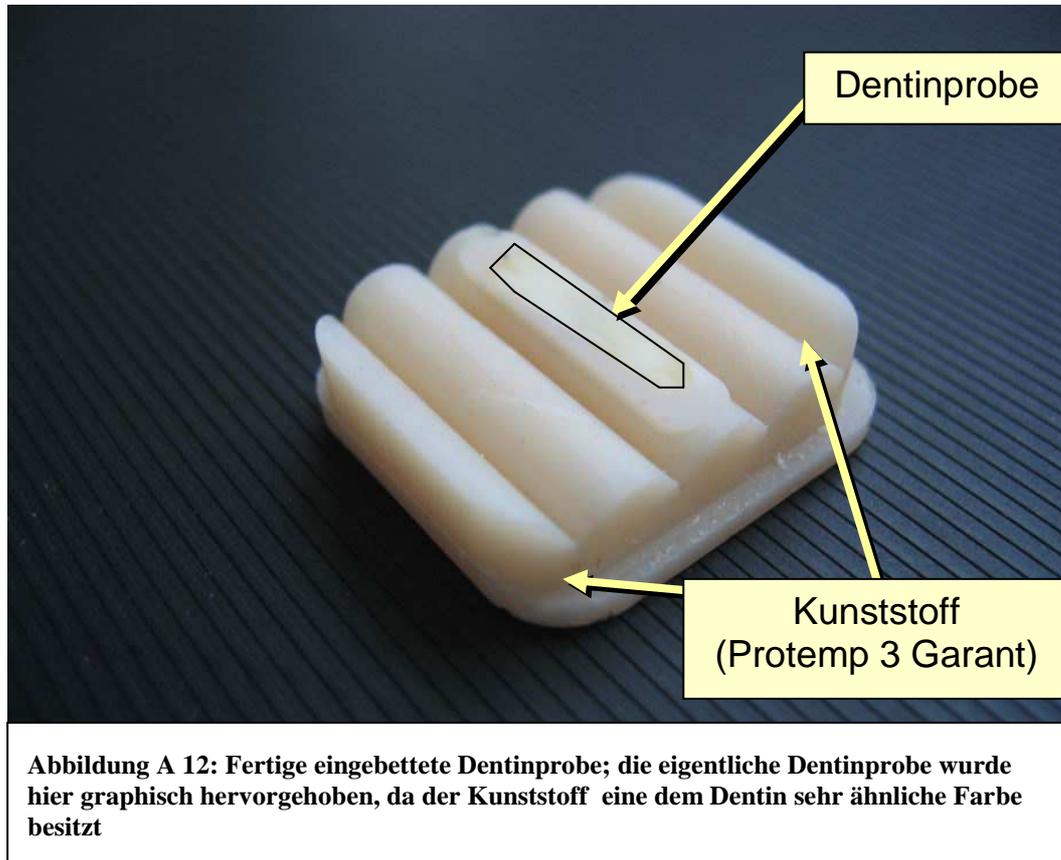


Abbildung A 11: Einbringen des Kunststoffes in die Matrizenform zur Einbettung der Dentinprobe in der linken Kammer; Befüllung mit entsprechendem Druck, bis überschüssiges Material an der Einfüllöffnung austritt

Die Demontage der Form erfolgt umgekehrt zur Montage. Dafür bestehen an beiden Seiten der Form Aussparungen, um mit Hilfe eines breiten Schraubendrehers die Einzelteile aufhebeln zu können.

Es werden jeweils 3 eingebettete Proben pro Durchlauf und Matrize hergestellt.

Anschließend werden wiederum mit der vorher dargestellten Schleifmaschine die eingebetteten Dentinproben oberflächlich abgeschliffen, um zu vermeiden, daß Kunststoff die Dentinoberfläche bedeckt.



Die Probe kann jetzt in die Spezialhalter der Zahnputz-Maschine eingebaut werden.

Vorbereitungen an der Zahnputzmaschine, Proben- und Bürsteneinbau sowie Versuchsstart

- Einschrauben der eingebetteten Dentinproben in die Spezialhalter zur festen Montage



- Aufsetzen des Flächenadapters, der bewirkt, daß die Bürste während des Versuches stets mit der gesamten Länge des Bürstenkopfes aufliegt



- Einbau der Spezialhalter in die Putz-Maschine

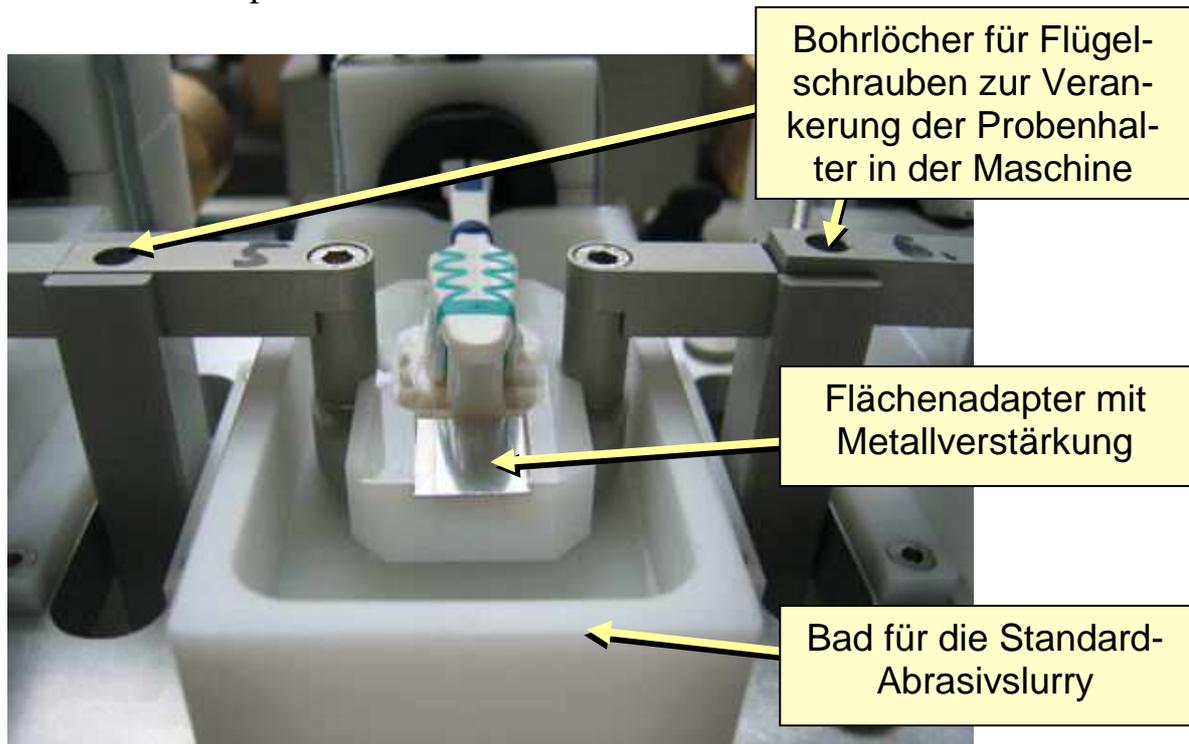


Abbildung A 15: eingebauter Probenhalter mit aufgesetzter Zahnbürste; erkennbar sind die Bohrlöcher zur Aufnahme von Flügelschrauben zur festen Verankerung der Probenhalter

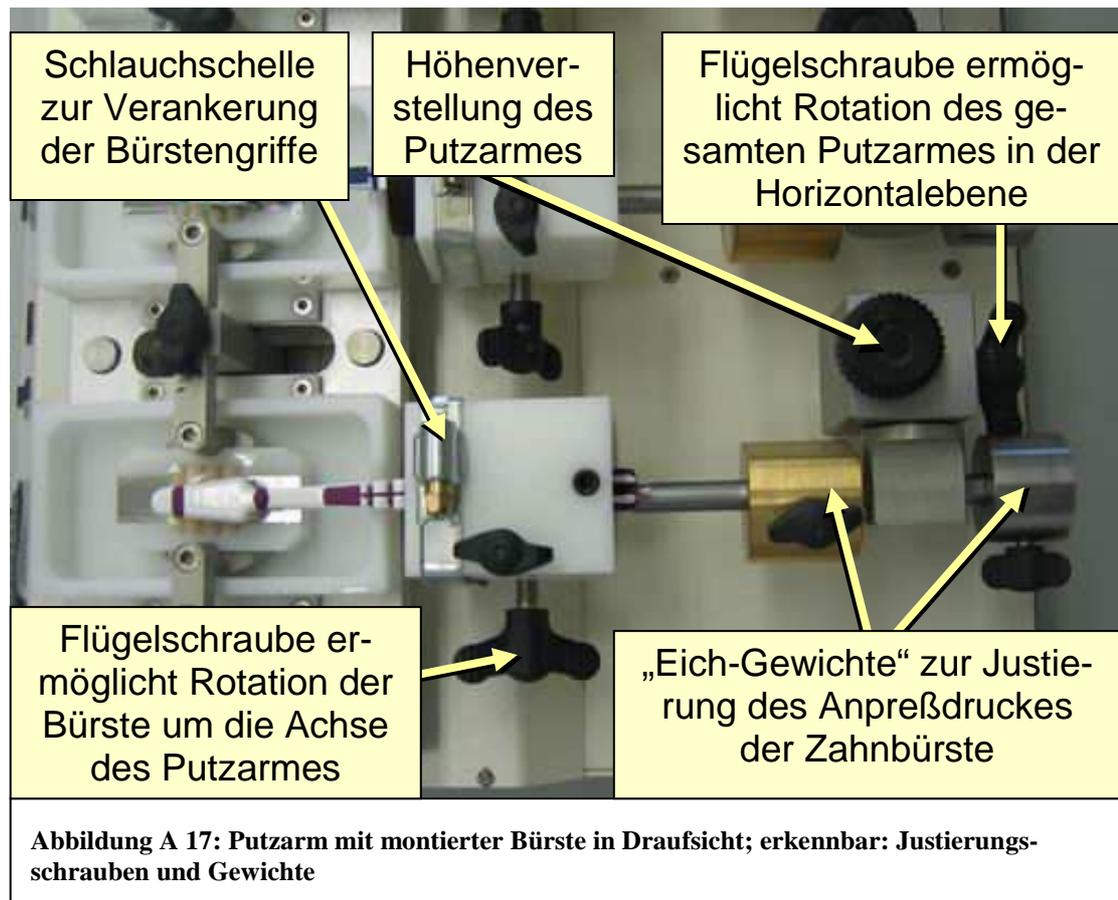
- Einbau der Zahnbürsten in die Putz-Maschine mit Justierung der Orientierung der Zahnbürsten zur Oberfläche der Probe



Abbildung A 16: eingebaute Zahnbürste in zwei Ansichten; die Montage erfolgt in einem schwarzen Kunststoffzylinder mit versenkbaren Madenschrauben. Dieser Zylinder wird wiederum in einem weißen teilbaren Kunststoffblock am Putzarm verankert (per Schlauchschelle (wie hier) oder per Verschraubung)

Bevor die Bürste eingebaut werden kann, wird der Griff modifiziert. Der Griff wird gekürzt und teilweise auch im Umfang reduziert (insbesondere bei voluminösen, ergonomischen Griffen mit weichen Griffauflagerungen).

Nachdem die Kunststoffzylinder mit den Bürsten an den Putzarmen verankert sind, erfolgt die exakte Justierung bezüglich Parallelität des Borstenfeldes zur Probenoberfläche mit Hilfe mehrerer Stellschrauben.



- Eichung des Anpreßdruckes der Zahnbürsten

Zur Eichung des Anpreßdruckes müssen die Proben nochmals aus der Maschine entfernt werden. Die räumliche Ausrichtung / Justierung der eingebauten Bürsten ist jedoch bereits erfolgt. Anschließend werden die Probenhalter durch eine Feinwaage ersetzt.

Die „Eich-Gewichte“ (siehe Abb. A 17) werden auf der Putzachse so lange verschoben, bis die Feinwaage bei zentraler Belastung durch den Bürstenkopf ein Gewicht von 250 g anzeigt.

- Befüllung der Bäder mit Standard-Abrasiv-Slurry

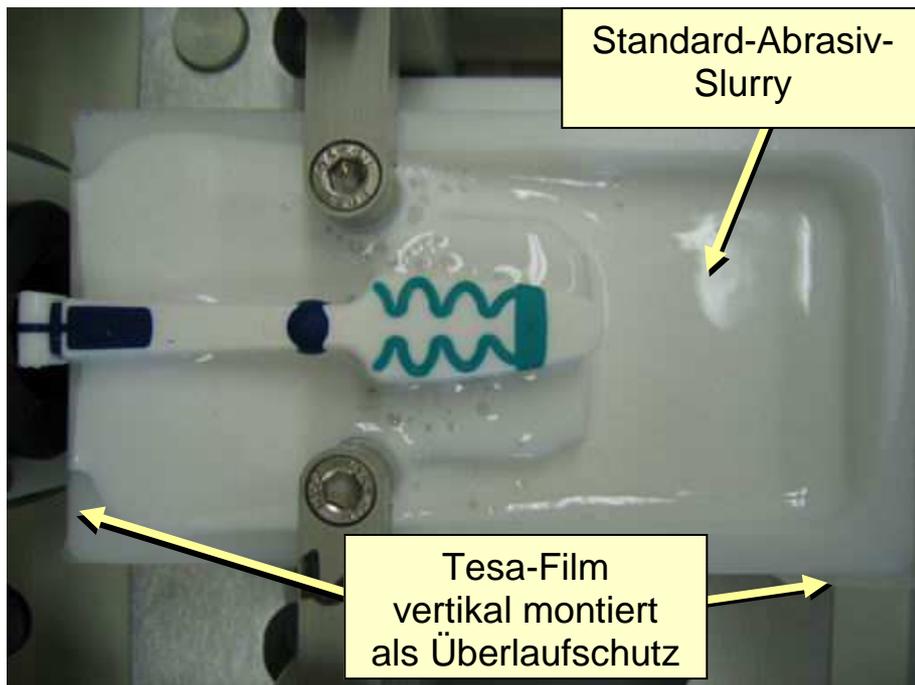


Abbildung A 18: Die Bäder werden jetzt mit Universal-Abrasiv-Slurry gefüllt. Dabei ist es wichtig, genügend Material einzubringen, um die Probe zu bedecken und die Borsten entsprechend zu benetzen. Um ein Überlaufen bei späterer Bewegung zu vermeiden, werden „Tesa-Streifen“ an beiden Enden der Bäder angebracht (hier eine Aufnahme in Bewegung).

- Sicherung der Maschine vor Verschmutzung mit Standard-Abrasiv-Slurry zur Schonung der Mechanik

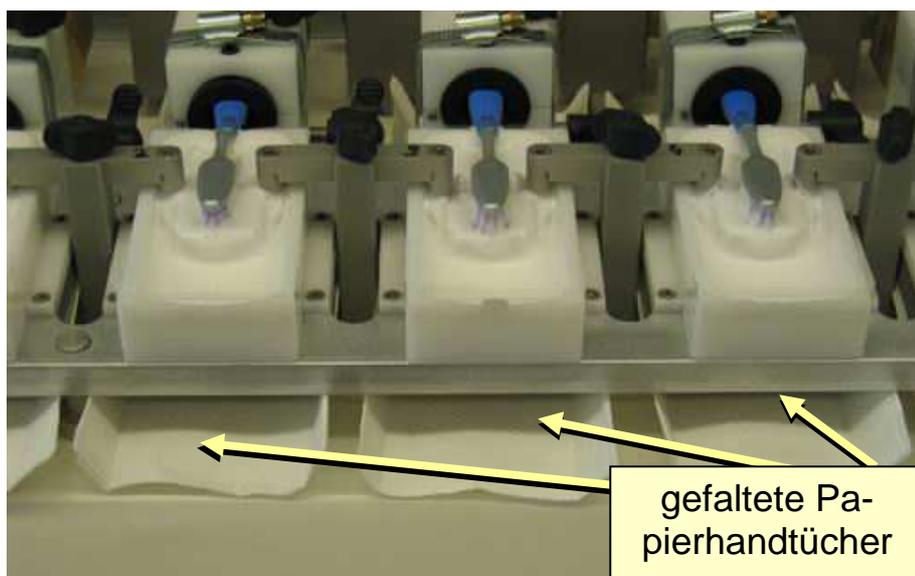
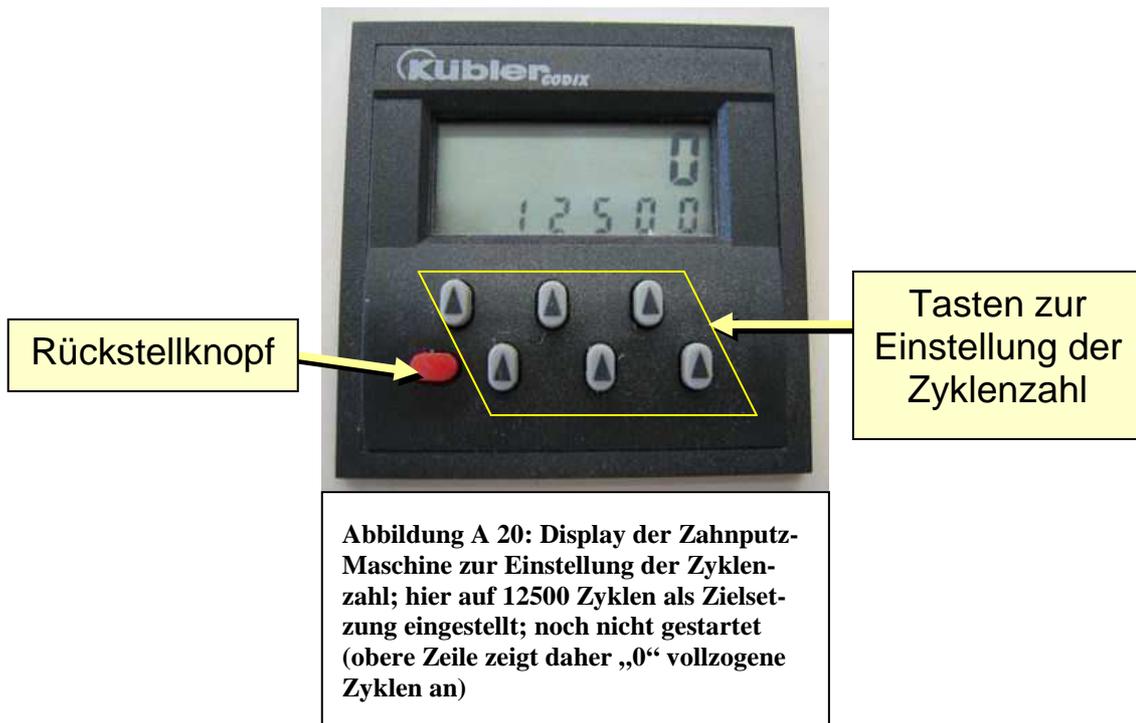


Abbildung A 19: passend gefaltete Papierhandtücher verhindern bei Überlaufen ein Eindringen der Slurry in die Maschine

- Einstellung der „Putz-Zyklen-Zahl“ (hier auf 12500 Zyklen)



- Versuchsstart

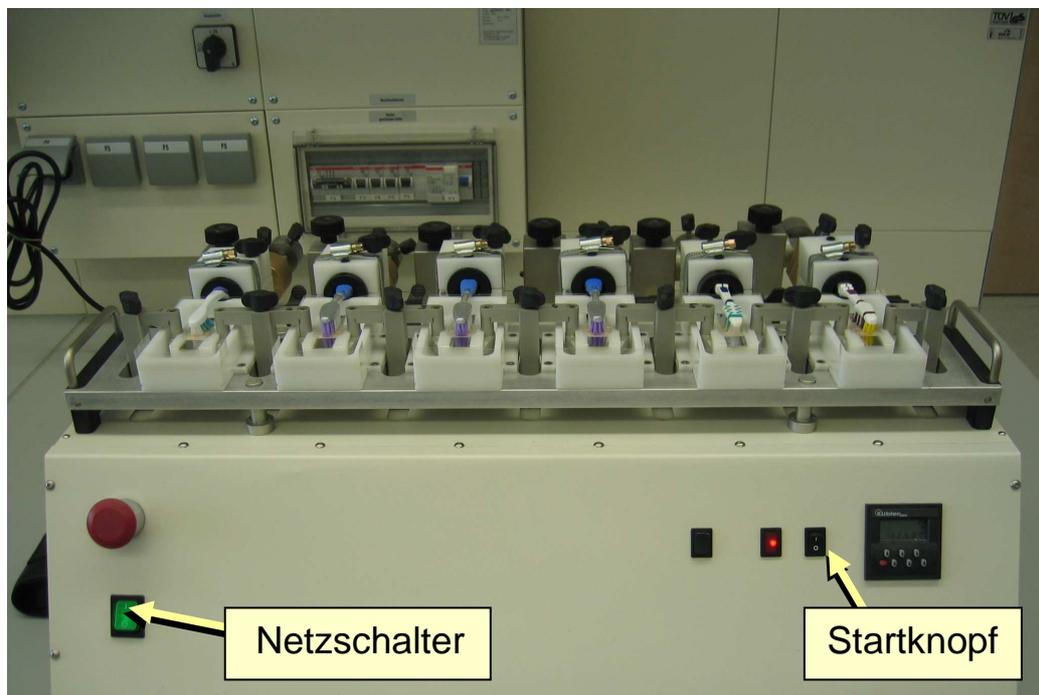


Abbildung A 21: Frontalansicht der Zahnputzmaschine; zum Starten:

1. Netzstecker überprüfen
2. Netzschalter betätigen
3. Startknopf aktivieren

- Ausbau der Proben bei Versuchsende in umgekehrter Reihenfolge und Reinigung
- Oberflächenerfassung der Proben mit Hilfe des Laser-Scanners nach Vorbehandlung mit MET-L-CHEK (Helling GmbH, Spökerdamm 2, 25436 Heidgraben, Deutschland)

10 Lebenslauf

Name:		Bark
Vorname:		Jörg
Geburtsdatum:		08. Juli 1970
Geburtsort:		Magdeburg
Familienstand:		ledig
Eltern:		Dr. Hartmut Bark und Ehefrau Barbara, geb. Georgi
Schulbildung:	1977 - 1986	Karl-Marx-Oberschule (Magdeburg)
	März 1986	Übersiedlung in die Bundesrepublik Deutschland aus politischen Gründen (anerkannter politischer Flüchtling)
	1986 - 1991	Gisela-Gymnasium (München)
Stipendien und Auszeichnungen:		
	1991 - 1998	Stipendium nach dem Bayerischen Hochbegabtenförderungsgesetz
	1991	Buchpreis des Fonds der Chemischen Industrie
	2000	Oskar-Karl-Forster-Stipendium
Studium:	1991 - 1993	Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität München

	1993	Fachrichtungswechsel in den Studiengang der Humanmedizin (nach Abschluß des vorklinischen Ausbildungsabschnittes der Zahnheilkunde) an der LMU München
	1999 - 2002	Fortsetzung des Studiums der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität München
Examina:	1993	Naturwissenschaftliche (zahnärztliche) Vorprüfung
	1994	Ärztliche Vorprüfung
	1996	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
	1998	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
	1999	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
	2000	Promotion zum Dr. med. an der LMU München
	2002	Staatsexamen der Zahnheilkunde an der LMU München
Beruflicher Werdegang:		
	2002	Wiss. Assistent an der Poliklinik für Prothetik der LMU München
	2005	Funktions-Oberarzt an der Poliklinik für Prothetik der LMU München
	2005	Beginn der Facharztausbildung an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München