

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

**Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung  
der approximalen Reinigungswirkung  
von neuen Zahnbürstendesigns**

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

Vorgelegt von  
Michael Setzwein  
aus  
Pfaffenhofen/ Ilm  
2002

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

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

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. P. Höppe

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.2002

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung und Problemstellung</b>	<b>5</b>
<b>2. Literaturübersicht</b>	<b>7</b>
<b>2.1. In-vitro-Zahnbürststudien</b>	<b>9</b>
2.1.1. Versuchsaufbau nach NYGAARD-ØSTBY	9
2.1.2. Versuchsaufbau nach RAWLS	15
2.1.3. Versuchsaufbau nach VOLPENHEIN	18
2.1.4. Ergebnisse der vorgestellten In-vitro-Methoden	25
<b>2.2. In-vivo-Zahnbürststudien</b>	<b>31</b>
<b>3. Zielsetzung der Studie</b>	<b>41</b>
<b>4. Material und Methode</b>	<b>43</b>
<b>4.1. Verwendete Zahnbürsten</b>	<b>43</b>
4.1.1. Oral-B P40	45
4.1.2. Oral-B Advantage	47
4.1.3. blend-a-dent professional interdental	49
4.1.4. Colgate Total Professional	51
<b>4.2. Versuchsaufbau</b>	<b>53</b>
4.2.1. Modell	53
4.2.2. Färbung/ Belagbildung	54
4.2.3. Computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine	56

4.2.4. Anfertigung von Dias	57
<b>4.3. Versuchsdurchführung</b>	<b>58</b>
<b>4.4. Auswertung</b>	<b>59</b>
<b>4.5. Statistik</b>	<b>59</b>
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>61</b>
<b>6. Diskussion</b>	<b>65</b>
<b>6.1. Material und Methode</b>	<b>65</b>
6.1.1. Verwendete Bürsten	65
6.1.2. Die Modellentwicklung	65
6.1.3. Verwendete Färbung/ Belagbildung	66
6.1.4. Computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine	67
6.1.5. Anfertigung von Dias	68
6.1.6. Versuchsdurchführung	69
6.1.7. Auswertung	69
<b>6.2. Ergebnisse</b>	<b>71</b>
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>75</b>
<b>8. Schlussfolgerung</b>	<b>77</b>
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	<b>79</b>
<b>11. Tabellarischer Anhang</b>	<b>91</b>

## 1. Einleitung und Problemstellung

Zahnbürsten gehören zu den am häufigsten verwendeten Hilfsmitteln zur Mundhygiene. Sie sollen Nahrungsreste, Plaque und Verfärbungen möglichst gründlich entfernen und dabei Zahnhartsubstanz und Gingiva nicht schädigen.

Die ersten Vorläufer unserer heutigen Zahnbürste wurden vor 3000 Jahren in China verwendet, der Griff bestand aus Elfenbein, in ihm waren Pferdehaare eingesetzt.

Bürsten, die den heute verwendeten sehr nahe kommen, hatten Schweineborsten, die in Ochsenknochen eingesetzt waren. Diese wurden im 14. Jahrhundert ebenfalls in China verwendet.

Die aus Borsten bestehende Bürste scheint im 18. Jahrhundert wieder entdeckt worden zu sein, wenn auch ihre Kosten die weite Verbreitung einschränkten.

Die Nylonzahnbürste mit Plastikgriff wurde in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelt. Sie war relativ preisgünstig und es war nun eine weite Verbreitung möglich.

1960 wurden die ersten elektrischen Zahnbürsten eingeführt. Sie wurden als den Handzahnbürsten in der Effektivität gleichwertig eingestuft und für motorisch eingeschränkte Personen (z.B. Behinderte) empfohlen. (ADDY 1998)

H.C. GIFT et al. (1986) untersuchten in den USA den Gebrauch von Mundhygieneartikeln und zeigten, dass nahezu jeder U.S. Bürger eine Zahnbürste besitzt und 95-98% diese auch mindestens einmal pro Tag verwenden.

Allerdings schrieben A. FRANDSEN et al. (1986), dass das durchschnittliche tägliche Zähneputzen nur 50% der Plaque und Essensreste von der Zahnoberflä-

che entfernt, besonders unzureichend ist die Reinigung der approximalen Flächen.

In den vergangenen Jahren überstürzten sich die auf den Markt gebrachten Zahnbürsten mit ungewöhnlichem Bürstkopfdesign.

Die Handzahnbürste entwickelt sich so vom simplen Borstenträger hin zum High-End-Instrument, was sich auch im deutlich höheren Preis zeigt.

In der Werbung wird eine bessere Reinigungswirkung, vor allem im approximalen Bereich, versprochen. Die Schwächen der Putztechnik sollen kompensiert und alle Bereiche, Zahnzwischenräume, Zahnfleischrand und die Glattflächen gleichermaßen mit einem Arbeitsgang erreicht werden.

MINTEL (1992) zeigt, dass Leute, denen eine bestimmte Putztechnik demonstriert wurde, trotz anfänglicher hoher Motivation ihre gewohnte Technik beibehalten, egal welche Bürste sie verwenden.

Das Zähneputzen gestaltet sich sehr individuell, es summieren sich viele persönliche Parameter wie Putztechnik/ Putzbewegung, Geschicklichkeit, ausgeübter Druck, Dauer, Frequenz etc.. Auch gestalten sich die Rahmenbedingungen unterschiedlich. So beeinflusst z.B. beruflicher Stress, Motivation, Tagesverfassung etc., die Zahnpflege.

Ziel dieser Dissertation war es, einen In-vitro-Versuchsaufbau zu entwickeln und diese Vielfalt reproduzierbar zu standardisieren, um den approximalen Zugang von verschiedenen Bürstendesigns darstellen zu können.

## 2. Literaturübersicht

Bereits 1967 berichteten FANNING und HENNING, dass 51 verschiedene Zahnbürsten für Erwachsene und acht für Kinder im Süden Australiens erhältlich waren. Diese Bürsten hatten sowohl synthetische als auch natürliche Borsten.

Als CHONG et al. 1980-1981 in Australien Zahnbürsten untersuchte, fand er über 60 verschiedene synthetische Bürsten auf dem Markt, die große Anzahl der mit natürlichen Borsten ausgenommen. Er arbeitete die Unterschiede dieser Bürsten heraus. Er sah, wie schwierig es war, aussagekräftige In-vivo-Studien-ergebnisse zu erhalten, die individuellen Gewohnheiten der Menschen, den Einfluss der Bürste, den der Technik und den des Anwenders zu differenzieren.

Seine Ergebnisse waren infolgedessen breit gefächert.

Er forderte schon die Rundung der Borstenenden, um eine schädliche Wirkung zu minimieren. Hierzu machte er mikroskopische Untersuchungen. Obwohl viele Hersteller dies auf der Packung versprachen, waren oft nur unter 50 Prozent gerundet.

Ein weiteres Anliegen war ihm die Härte der Borsten, da hierdurch die meisten Gingivaläsionen verursacht werden.

Es wurden auch die verschiedenen Bestandteile einer Zahnbürste untersucht, so die Griffe, welche ein leichtes Erreichen aller Zahnflächen und Mundwinkel gewährleisten sollen.

Die Größe des Bürstenkopfes darf die Bewegungsfreiheit an jeder Stelle der Mundhöhle während des Putzens nicht einschränken.

Naturborsten lehnt er wegen der mangelnden Hygienefähigkeit ab. Da Haare einen zentralen Hohlraum besitzen, sind sie eine Brutstätte für Bakterien. Außerdem brechen sie leicht.

Nicht nur die verwendete Bürste trägt zur Effektivität der Plaqueentfernung bei, sondern auch Art und Dauer ihrer Anwendung. So verglichen SAMUEL L. YANKELL et al. (1981) die geschätzten und die reellen Bürstzeiten von 189 Versuchspersonen im Alter zwischen 13 und 73 Jahren.

Die geschätzte Zeit betrug durchschnittlich 154,6 Sekunden im Vergleich zu durchschnittlich reell gebürsteten 56,7 Sekunden.

## 2.1. In-vitro-Zahnbürststudien

### 2.1.1. Versuchsaufbau nach NYGAARD-ØSTBY

1982 stellten SAMUEL L. YANKELL und PER NYGAARD-ØSTBY et al. ihren Zahnputzapparat vor, dessen Grundlage NYGAARD-ØSTBY (1979) schuf. Dieser konnte horizontale und vertikale Bürstbewegungen mit verschiedenen Auflagedrücken simulieren. Die simulierten Zähne wurden mit druckempfindlichem Papier umgeben, um die Reinigungseffektivität und den approximalen Zugang zu messen.

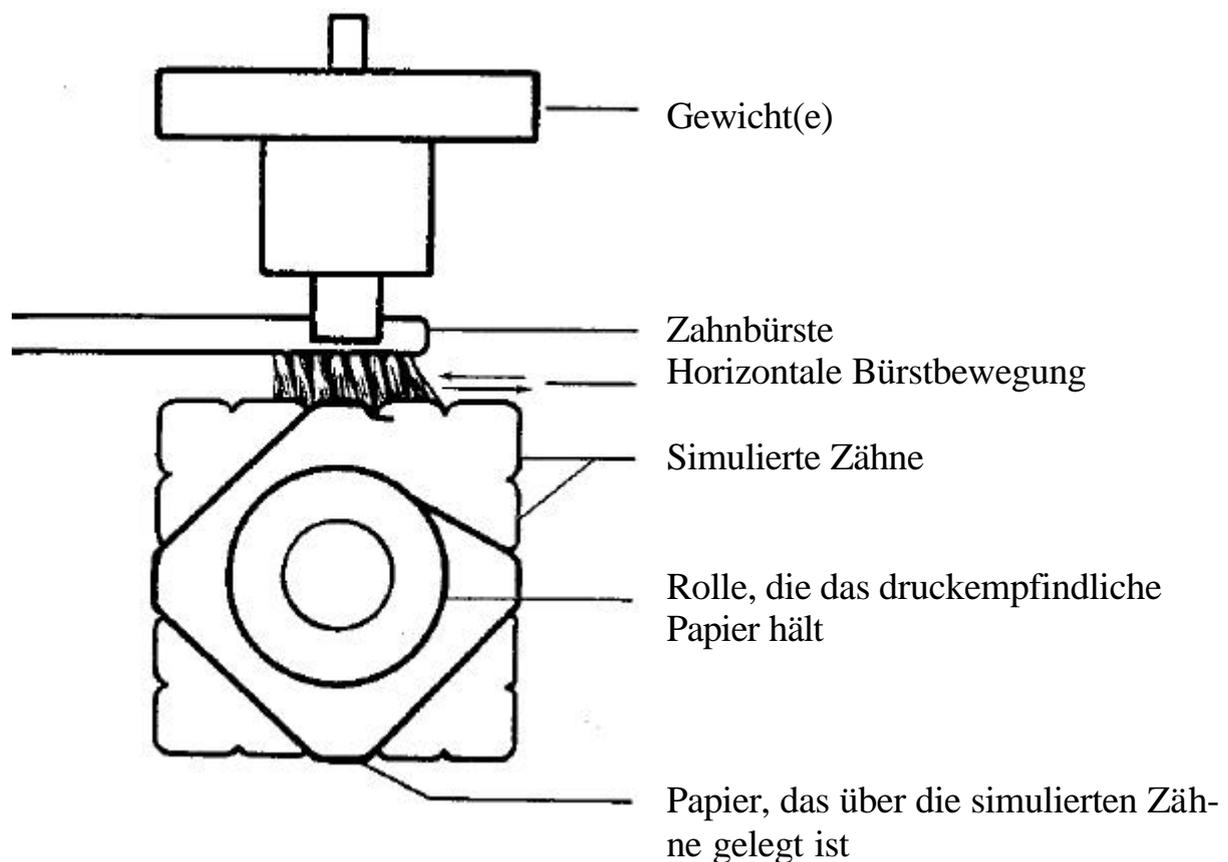


Abb. 2.1.: Schemazeichnung der erforderlichen Bestandteile des Zahnputzapparates

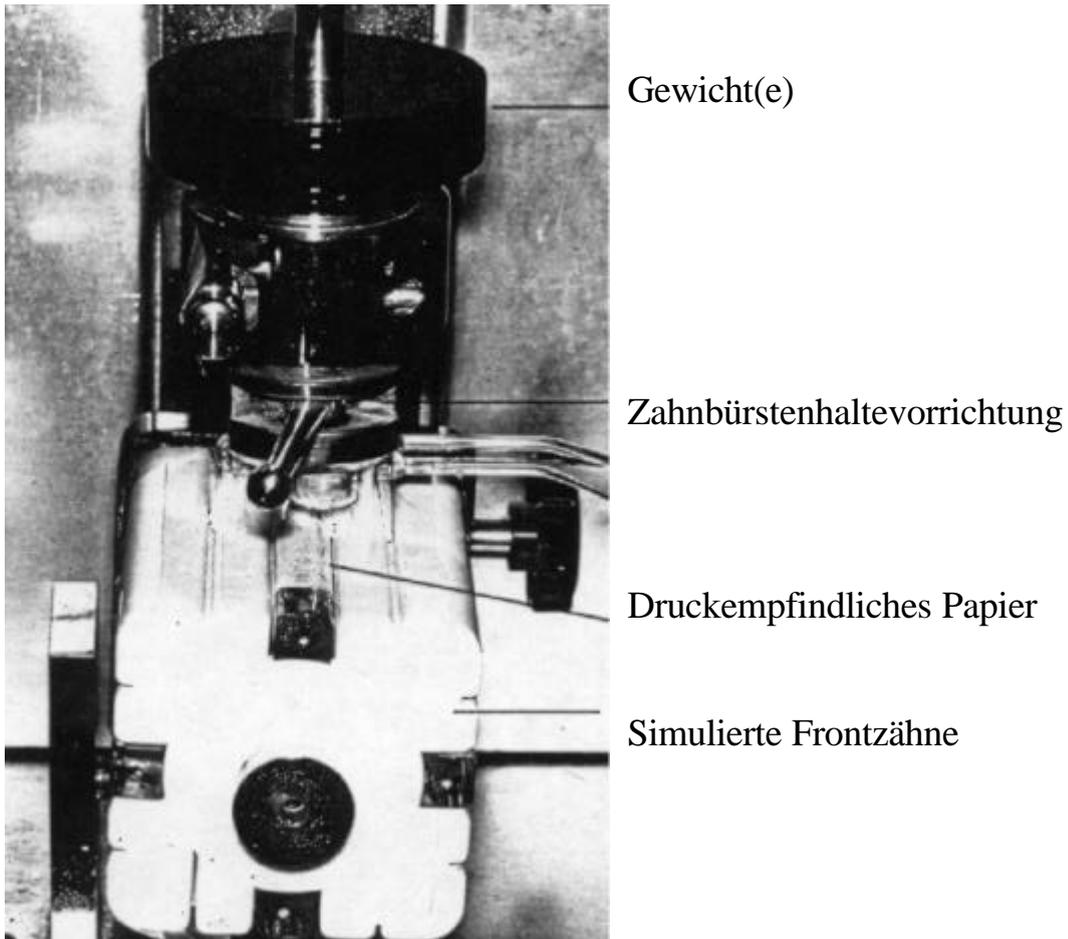


Abb. 2.2.: Versuchsaufbau, um die Biegung der Zahnbürstenborsten und den approximalen Zugang zu messen (YANKELL S.L. et al. 1992).

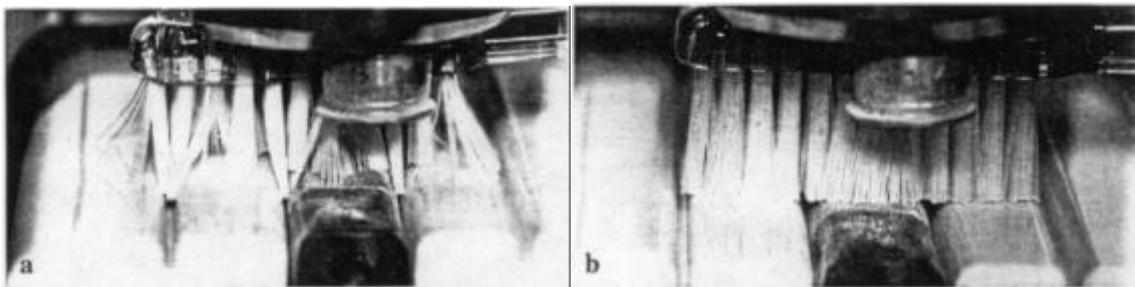


Abb. 2.3.: Approximaler Zugang bei 500 g Auflagedruck. (a) Colgate Precision und (b) Oral-B 40 (YANKELL S.L. et al. 1992)

In dieser Studie testeten sie 14 verschiedene Bürsten mit unterschiedlichem Bürstkopfdesign. Die Bürsten wurden unter drei Hauptgesichtspunkten überprüft: Bürstbewegung, Zahnform und Auflagedruck. Die Reinigungswirkung nahm mit der Weichheit der Borsten und dem Auflagedruck zu. V-förmige Borstenanordnungen reinigten die Approximalbereiche der Molaren besser, während das flache Borstendesign eine größere Wirkung bei den Frontzähnen zeigte. Unabhängig vom Härtegrad der Borsten (weich, mittel oder hart) schnitten die V-förmigen Anordnungen bei gleicher Beschaffenheit immer besser ab als die geraden.

Zum Zeitpunkt der Studie waren in Amerika die flachen, weichen Bürsten mit abgerundeten Borsten am weitesten verbreitet. An der Meinung, dass diese Ausführung einfache Handhabung, Effektivität, Reinigungsfähigkeit und einfache Beschaffenheit in sich vereinigt, hatte sich seit 1946, dem Jahr in dem Zahnbürsten in den Katalog der genehmigten Zahnpflegemittel aufgenommen wurden, kaum etwas geändert.

Es gibt keine standardisierten Methoden, um Zahnbürsten nach ihren Eigenschaften und Fähigkeiten zu testen. Seit 1979 bestimmt die „International Standards Organisation“ drei verschiedene Methoden eines Gefügestandards für Zahnbürsten von England, Frankreich und Norwegen. Zur Zeit hat jeder Hersteller seine eigenen Testverfahren, so dass die gleiche Bezeichnung oft nicht die gleiche Eigenschaft bedeutet.

Auch SAMUEL L. YANKELL und PER NYGAARD-ØSTBY (1981) fanden bei den vom Hersteller gerundeten Borstenenden eine bemerkenswerte Schwankung. Nicht gerundete Borstenenden führen zu einer erhöhten Irritation der Gingiva. Klinisch zeigt sich, dass sich die Borstenenden bei längerem Gebrauch immer mehr abrunden.

Ein Zahnbürstentestaufbau wurde entwickelt, bei dem das Entfernen von weichem Belag, der sich auf druckempfindlichem Papier, das sich über simulierten

Zähnen befand, ausgewertet wurde. Bürstbewegung, Zeit, Druck und Zahnform konnten verändert werden. Der approximale Zugang konnte gemessen werden. Bei dem Versuch wurde 50 Sekunden lang bei zwei Bewegungen pro Sekunde bei einer Strecke von 50 mm geputzt. Als Auflagedruck wurden 250 g, 500 g und 750 g verwendet, dies entspricht dem klinischen Gebrauch von Handzahnbürsten.

Ende der 70er Jahre kamen die ersten Bürsten mit erhöhten äußeren Borsten und um zehn Grad geneigtem Bürstenkopf (im Vergleich zum Griff) auf den Markt. Diese wichen von den 1939 von Hirschfeld empfohlenen Merkmalen (gerader Bürstenkopf, Borsten mittlerer Härte, Borsten mit ausreichenden Zwischenräumen) ab. Mittlerweile gibt es sehr viele unterschiedliche Designs.

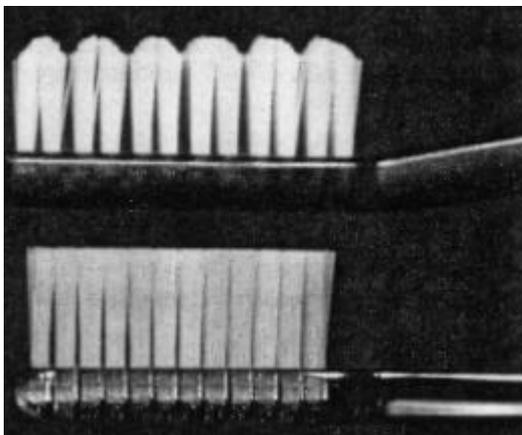


Abb.2.4.: Oben: Bürste mit gewelltem Borstendesign und gewinkeltem Griff (Colgate Plus). Unten: Bürste mit geradem Borstendesign und geradem Griff (Oral-B 40).

SAMUEL L. YANKELL et al. (1992) verglichen drei Zahnbürsten in vitro: Colgate Precision (Total), Oral-B 40 und Reach, auf ihre Fähigkeit, den Approximalraum zu reinigen.

Es wurden für die Versuchsreihe Bürsten mit unterschiedlichen Konzepten ausgewählt und im Einzelhandel gekauft und mindestens 72 Stunden vor den Tests in geschlossenen Gefäßen bei 67-70°F gelagert. Als Prüfanlage wurde das Modell von NYGARD-ØSTBY, EDVARDESEN und SPYDEVOLD (1979) verwendet. Bürstbewegungen wurden horizontal und vertikal ausgeführt. Es wurden simulierte Frontzähne und Molaren mit einem Anpressdruck von 250 g, 500 g oder 750 g, 60 Sekunden lang bei zwei Zügen pro Sekunde mit einer Bewegungsstrecke von 50 mm gebürstet. Der approximale Zugang wurde auf druckempfindlichem Papier, das die simulierten Zähne umgab, aufgezeichnet. Zur Auswertung diente ANOVA (analysis of variance). Unterschiede bei den Gruppen wurden mit dem post hoc Tukey Verfahren dargestellt.

Bei der vertikalen und horizontalen Bürstbewegung zeigte die Colgate Precision deutlich bessere Werte im approximalen Zugang bei allen verwendeten Gewichten, sowohl bei den simulierten Frontzähnen als auch bei den Molaren.

1993 vergleicht S.L. YANKELL et al. mit dem Versuchsaufbau von NYGAARD-ØSTBY die Handzahnbürste Colgate Plus mit gewelltem Bürstendesign mit der flachen Oral-B 40 Zahnbürste (Abb.2.4.), um ihre Effektivität in der Reinigung des Approximalraumes aufzuzeigen.

Die Colgate Plus reinigte bei den (geringen) Auflagegewichten von 250 g und 500 g signifikant besser. Die Reinigung war bei vertikaler Bewegung besser als

bei horizontaler. Die Länge der Bürstbewegung betrug 50 mm bei einer Bürstdauer von 60 Sekunden.

Das Ergebnis wurde so gedeutet, dass sich die unterschiedlich langen Borsten der Colgate Plus nicht gegenseitig behindern und sie so weiter in die Zahnzwischenräume vordringen können, um die hier befindliche Plaque besser zu erreichen.

ANTHONY R. VOLPE (Colgate-Palmolive Technology Center, Piscataway, New Jersey) beschrieb zusammen mit R.C. EMLING (International Dental Research Ltd, Moorestown, New Jersey) und dem Kliniker S.L. YANKELL (University of Pennsylvania, School of Dental Medicine, Philadelphia, Pennsylvania) (1992) die neue Colgate Precision (Total) Zahnbürste.

Bei der Entwicklung der Colgate Precision (Total) Zahnbürste war ein interdisziplinäres Team mit verschiedenen Zielen aus Wissenschaft und Vertrieb beteiligt.

Ihre Aufgabe war es, eine bei der Plaqueentfernung klinisch überlegene Zahnbürste zu entwickeln.

Als erstes beobachtete und analysierte das Team die unterschiedlichen Techniken, welche die Menschen zum Zähneputzen verwenden.

Zur Überwachung und zur Messung dieser dreidimensionalen Bewegungen wurden durch Computer unterstützte Software und Bewegungsprogramme verwendet.

Anhand dieser Daten konnte mathematisch jede Borstenposition auf der Zahnfläche errechnet werden. So wurden drei Umkehr- und drei Drehachsen in der Bürstbewegung errechnet. (MINTEL et al. 1992)

Daraufhin wurden Design-Merkmale ausgewertet, um eine Zahnbürste zu entwerfen, die eine hohe Effektivität bei der Reinigung im Zahnfleischrand- und im approximalen Bereich zeigt, da hier Gingivitis und Karies ein großes Problem darstellen.

Um die Bewegungsergebnisse in die Borstenanordnung umzusetzen, wurden abwechselnd lange und kurze Borstenreihen senkrecht zur Basis gestaltet, so dass sich die Borsten bei Biegung nicht gegenseitig beeinflussen. An den Außenseiten wurden längere Borsten gewinkelt von der Basis nach außen angeordnet, um auch im Zahnfleischrandbereich eine optimale Plaqueentfernung zu ermöglichen, selbst wenn die Bürste nicht angewinkelt verwendet wird.

Der Bürstengriff wurde in einem Winkel angeordnet, der es ermöglicht, dass der Bürstenkopf bei jeder Handbewegung Kontakt zu den Zahnreihen hat und so sicher in der Hand liegt.

Die Platzierung der Borsten wurde unter Laborbedingungen mit Pilotproduktionen getestet. Als Versuchsaufbau diente der von NYGAARD- ØSTBY (1979). Um die approximale und gingivale Plaqueentfernung in den anschließenden klinischen Versuchsreihen zu messen, bediente man sich des modifizierten Navy Plaque Index von RUSTOGI et al. (1992).

### 2.1.2. Versuchsaufbau nach RAWLS

H. RALPH RAWLS et al. (1993) untersuchten Zahnbürsten nach einem modifiziertem Verfahren. Er bemängelt an dem Aufbau von NYGAARD- ØSTBY (1979), dass die simulierten Zähne die Oberflächenstruktur von Ober- und Unterkieferzähnen nur unzureichend wiedergeben. Die größere flache Oberfläche des NYGAARD- ØSTBY Modells kann die Bürste am Biegen hindern. Auch kann die Zahnbürste nicht so positioniert werden, wie es die bestehenden Zahnpflege-Techniken empfehlen. Anstatt des empfohlenen 45° Winkels verwendet das

Modell 90° zur simulierten Zahnoberfläche. So wirkt sich diese Methode negativ auf den approximalen Zugang einer flachen Zahnbürste bei angewandten empfohlenen Putztechniken aus. Diese Tests wurden außerdem immer unter trockenen Bedingungen ausgeführt, so vernachlässigten sie den Einfluss von Feuchtigkeit und Zahnpasta, die ein leichteres Eindringen der Borsten durch gesteigerte Biegsamkeit und Schmierung ermöglichen.

Ziel dieser neuen Studie war es nun, eine Serie von statischen und dynamischen Tests durchzuführen, in denen die Modelle näher an die natürliche Zahnoberfläche herankommen. Es wurden Oberkiefermodelle der Firma Columbia Dentoform Corporation of New York verwendet. Der empfohlene 45° Bürstwinkel wurde mit der Bass-Technik simuliert. Es wurden Zahnbürsten von fünf Marktführern verwendet: Oral-B P-35, Crest Complete, J&J Reach Advanced Design, Colgate Plus und Butler Gum 407.

Bei der statischen Versuchsreihe wurden die Bürsten bei Berührung mit den Zähnen fotografiert.

Es wurden Auflagegewichte von 100 g, 300 g, 600 g und 1000 g verwendet. Nach Studien liegt der durchschnittliche Anpressdruck von Erwachsenen bei 575 g.

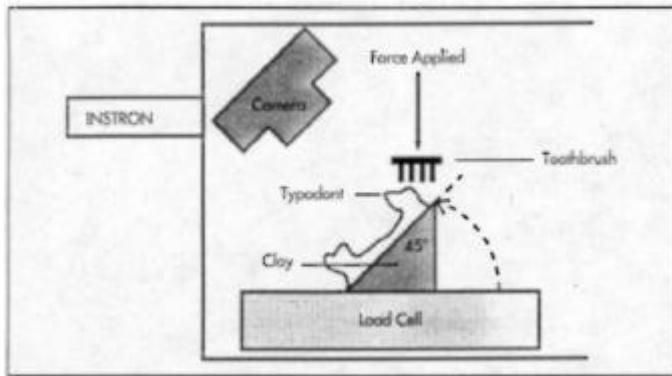


Abb. 2.5.: Statische Studie nach RAWLS: In der Schemazeichnung ist die Positionierung der Modellzähne und der Kamera zu erkennen. Die Kraft wirkt vertikal und wird über die „Load Cell“ gemessen.

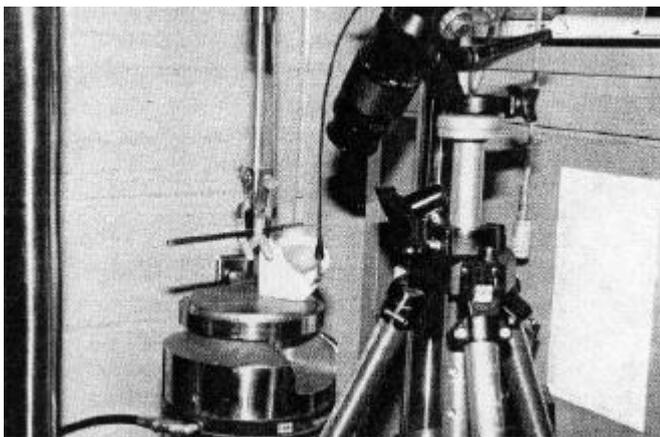


Abb. 2.6.: Aufbau des in Abb. 2.5. beschriebenen Versuches. Die Zahnbürste wird mit einer verwindungsfreien Metallklammer in Position gebracht.

Bei den ersten dynamischen Tests wurden die Bürsten mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitsvideovorrichtung fotografiert. Hierdurch konnte die relative Eindringtiefe gemessen werden. In einem weiteren Test wurde dann zusätzlich künstlicher Belag verwendet, um neben der Eindringtiefe auch noch das Plaqueentfernungspotential messen zu können.

Hierzu wurden die Bürsten vorher 20 Sekunden in destilliertes Wasser getaucht.

Als Belag diente ein blauer Ethylcellulosefilm. Es wurde mit 250 Zyklen bei einer Geschwindigkeit von 62,5 Zyklen/Minute gebürstet. Nach dem Bürstvorgang wurde der Zahn dem Modell entnommen und mit deionisiertem Wasser gespült. Der Zahn wurde mit image analysis vermessen. Statistisch ausgewertet wurde mit dem Student's t-test.

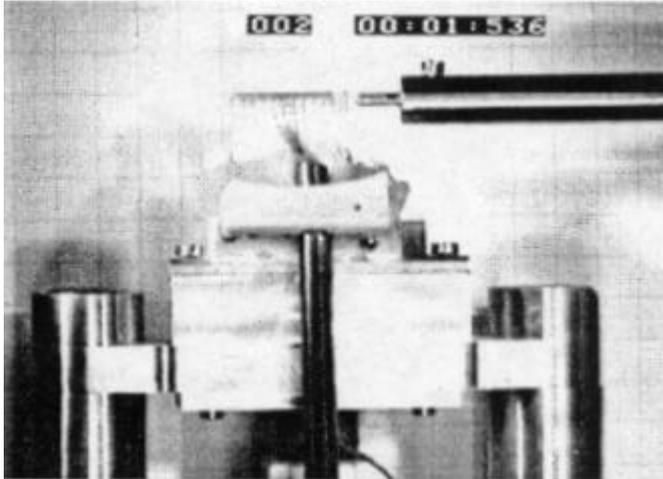


Abb. 2.7.: Vorrichtung und Platzierung der Kamera. Die Zahnbürste ist an einen verwindungssteifen Metallstab befestigt. Über einen Motor und ein Schwungrad werden Vor- und Rückbewegungen ausgeführt.

Die größte Eindringtiefe wurde am Umkehrpunkt der Bürstbewegung gemessen. Das Auflagegewicht wirkte sich mehr auf die Eindringtiefe aus als die verwendete Bürste. Erstaunlicherweise erreichte in dieser Studie, im Gegensatz zu anderen, die Oral-B P-35 Zahnbürste die besten Werte.

### 2.1.3. Versuchsaufbau nach VOLPENHEIN

D.W. VOLPENHEIN et al. (1996) verglichen die „in vitro interproximal penetration performance“ von der Improved Crest Complete gegen die Current Crest

Complete Zahnbürste, die Colgate Precision Zahnbürste und die Oral-B P40 Zahnbürste.

Die Studie nutzte ein von D.W. VOLPENHEIN et al. (1994) veröffentlichtes Modell, das die approximale Penetration von Handzahnbürsten misst. Es basiert auf der Auswertung von Videobändern, die die Benutzergewohnheiten zeigen. Das Modell berücksichtigt außerdem die Zahnmorphologie, die in vivo charakteristische Hartnäckigkeit von Plaque und verwendet die drei gebräuchlichsten Putztechniken (kreisförmig, auf und ab, vor und zurück mit beiden zur Zahnfläche gehaltenen Winkeln  $45^\circ$  und  $90^\circ$ ). Zusätzlich beziehen sich die Länge der Bürstbewegung, die Anpresskraft und die Bürstgeschwindigkeit auf eine Analyse der Bürstmuster von den Verbrauchern.

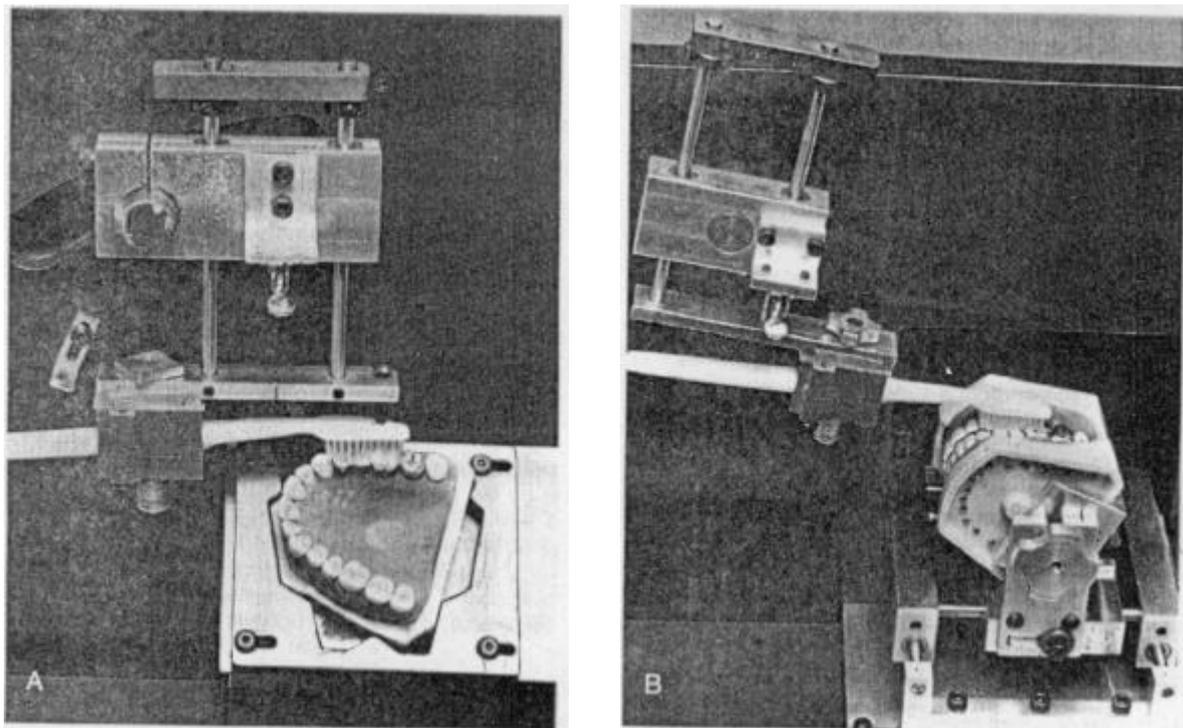


Abb. 2.8.: Das Modell in den Bürstmaschinen berücksichtigt die Zahnmorphologie. Es sind kreisförmige, horizontale und vertikale Bewegungen möglich. Maschine (A) putzt im  $45^\circ$ , Maschine (B) putzt im  $90^\circ$  Winkel.

Als effektivste stellten sich die gewellten Bürstendesigns dar, dennoch wurde auch durch sie nicht der gesamte Belag entfernt. Nun wurde das bewährte Design der Crest Complete Bürste verändert. Die Borstenlängen variierten bei der Crest Complete Zahnbürste von 9,0 mm zu 11,5 mm, bei der verbesserten Crest Complete Zahnbürste von 7,4 mm zu 11,5 mm. Die Wellenform wurde dadurch ausgeprägter gestaltet. Nun interessierte, welche Auswirkung diese Modifikation auf das proximale Reinigungsverhalten der Bürste hat. Um dies zu zeigen, vergleicht diese Studie die durchschnittlich erreichte proximale Fläche der verbesserten Crest Complete Zahnbürste relativ zu der herkömmlichen Crest Complete Bürste, der Colgate Precision Bürste und der Oral-B P 40 Bürste. Die proximale Penetration wurde bewertet, indem an sechs proximalen Flächen im zweiten Quadranten des Zahnmodells, beschrieben von VOLPENHEIN et al. (1994), einer Erwachsenenendition gemessen wurde.

Die klinischen Gegebenheiten sind zwar ideal für das Zeigen der Effektivität einer Zahnbürste, dennoch steigert die Möglichkeit, die Versuchsparameter in einem Laborversuchsaufbau isoliert zu untersuchen die Entwicklungsgeschwindigkeit und ist kosteneffektiver. Weiterhin kann es, wenn die angewendete in vitro Methode geeignet ist, die in vivo Bedingungen nachzuahmen, ein wertvolles Mittel sein, den klinischen Erfolg vorherzusagen.

Die von VOLPENHEIN et al. (1994) beschriebene Methode wurde für diesen Test benutzt, um die Verbrauchergewohnheiten mehr zu berücksichtigen als vorherige veröffentlichte Verfahren.

Frühere Verfahren, wie das von NYGAARD-ØSTBY et al. (1979) entwickelte zeigen den Vorteil von gewellten und zweistufigen Bürstenformen gegenüber flachen Bürsten (YANKELL S.L. et al. 1983; YANKELL S.L. et al. 1992) und in einem Fall den der zweistufigen über die gewellte Form (YANKELL et al. 1993).

Es gibt einige Einschränkungen in diesem Verfahren: Es beachtet nur Bürstkraft und Bewegung. Bürstwinkel, Zahl der Bewegungszüge, Bewegungszuglänge und Bürstgeschwindigkeit scheinen willkürlich gewählt und stimmen nicht mit den Bürstgewohnheiten überein.

Zum Beispiel wurde der Bewegungszug doppelt so groß gesetzt als er unter normalen Gebrauchsbedingungen beobachtet wurde, und die 60 Sekunden Putzzeit einer einzigen Zahnfläche wurden für den gesamten Mund gesetzt. Auch wurde die Penetration nur an ungefähren Zahnformen gemessen. Diese berücksichtigte nicht die natürliche Variation des Zwischenraumes wie sie beim Berühren von natürlichen Zähnen und am Zahnfleischbereich auftritt. Schließlich wurde die Penetration mit druckempfindlichem Papier gemessen. Es ist unklar, inwieweit sich diese Aufzeichnung auf das Entfernen von Plaque im Mund übertragen lässt.

Kürzlich wurde von RAWLS et al. (1993) ein weiterer In-vitro-Aufbau vorgestellt. Er verwendet zwar als Verbesserung der Methode von NYGAARD-ØSTBY (1979) für die Nachahmung der Zahnflächen Modellzähne, scheint aber Bürstbewegung und Bürstzeit willkürlich zu setzen. Auch scheint der als künstliche Plaque benutzte Ethylzellulosefilm nicht mit in vivo Plaque und seiner Hartnäckigkeit zu der Zahnoberfläche vergleichbar zu sein. Es wurde nur eine Zahnfläche gemessen, so dass nur begrenzte Daten zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse von diesem Modell, welche keine Vorteile von einem gewellten Bürstendesign gegenüber einer flachen Zahnbürste zeigen, widersprechen direkt den Entdeckungen von NYGAARD-ØSTBY et al. (1979) und YANKELL et al. (1993).

Nun wurden vier verschiedene Arten von Bürsten mit weichen Borsten und geradem Griff in dieser Studie untersucht. (VOLPENHEIN et al. 1996)

Die Testbürsten stellen eine repräsentative Auswahl der Vielfalt von erhältlichen Bürstenformen dar: Traditionell flach (Oral-B P40, Oral-B Laboratories, Bel-

mont, CA), vielstufige Form (Colgate Precision, Colgate-Palmolive Company, New York, NY), gewellte Form (original Crest Complete, The Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH) und die tiefer gewellte Form (improved Crest Complete).

Die improved Crest Complete Bürsten wurden für die Versuche bei Anchor Brush Company Morristown, TN in Auftrag gegeben. Die anderen drei verwendeten Bürsten wurden in Einzelhandelsgeschäften im Raum Cincinnati, Ohio gekauft.

In den Versuchen wurden von jeder Bürste 24 miteinander verglichen. Die Versuche bestanden aus acht Sitzungen, die sich jeweils aus 12 Bürstdurchgängen zusammensetzten (drei Durchgänge mit jeder von den vier Bürstenarten).

Zur Versuchsvorbereitung wurden die oberen ersten und zweiten Molaren und die ersten und zweiten Prämolaren des zweiten Quadranten von einem Columbia Dentoform Zahnmodell (Modell #R861) mit einer künstlich erzeugten Plaquelösung (entwickelt von The Procter & Gamble Co) überzogen und zum Trocknen liegen gelassen. Diese künstliche Plaque, bestehend aus einem roten alcohol-basierenden Ethylester von einem PVM/MA Copolymer, wurde entwickelt, um die Hartnäckigkeit eines 12 Stunden in vivo gewachsenen Plaque nachzuahmen. (VOLPENHEIN D.W. et al. 1994)

Die Zähne wurden dann in das Kiefermodell zurückgesteckt, welches anschließend in der Bürstmaschine (Prestige Technical Services, Inc., Cincinnati, OH) befestigt worden ist. Die Bürsten wurden vor dem Test mit 0,1 ml Wasser befeuchtet. Im Test wurden zwei Bürstmaschinen verwendet, die präzise die drei typischen Zahnputzbewegungen nachahmen konnten. Die verwendeten Bürstbewegungslängen, Bürstkraft und Bürstgeschwindigkeit wurden nach der Analyse der Videobänder der Bürstgewohnheiten der Probanden eingestellt.

Die Zähne wurden 10 Sekunden gebürstet, gespült und dann zum Trocknen liegen gelassen.

Zur Auswertung wurden die Zähne bei 10-facher Vergrößerung dargestellt, der verbliebene Belag wurde auf einen durchsichtigen Film übertragen. Dieser wurde zur Bewertung auf ein Standardbewertungspapier, welches die approximalen Flächen graphisch darstellte, gelegt.

Schließlich wurden die Ergebnisse mit ANOVA und Student's t-test ausgewertet (determine significance levels).

Diese Studie zeigte die Überlegenheit des gewellten Bürstendesigns, welche durch die improved Crest Complete noch deutlicher wurde.

D.W. VOLPENHEIN (1996) verglich noch zwei weitere Zahnbürsten, die Colgate Total Zahnbürste und die Oral-B Advantage Zahnbürste, mit der Improved Crest Complete Zahnbürste.

Die Improved Crest Complete wurde im Gegensatz zur vorherigen Studie modifiziert. Es wurde nicht nur das Profil deutlicher gestaltet, auch die äußeren Borsen wurden länger, 9,55 mm bis 12,75 mm, im Vergleich zu den inneren, 7,75 mm bis 11,85 mm, so dass sich die Bürste in der Vorderansicht V-förmig eingekrümmt gestaltet. Nun war von Interesse, ob dieses Dual-Level Wellendesign mehr Effektivität in der approximalen Reinigung aufweist als andere Bürsten mit Multi-Level Design auf dem Markt.

Die Erreichbarkeit der approximalen Zahnfleischlinie wurde an Hand eines Bereiches von einem Millimeter über der Zahnfleischlinie bewertet.

Die verwendete Improved Crest Complete wurde von der Anchor Brush Company, Morristown, TN für den Verkauf im Einzelhandel produziert. Die anderen beiden Bürsten wurden im Einzelhandel im Raum Cincinnati Ohio, gekauft.

Im Test wurden von jeder Bürstenart jeweils vier Bürsten untersucht.

Vor dem Versuch wurden die Bürsten 15 Sekunden in Wasser mit Raumtemperatur getaucht.

Eine Monochrom-Video-Kamera fertigte die Aufnahmen an. Diese wurden digitalisiert und mit dem Bildverarbeitungsprogramm Optimas unter Windows bearbeitet. Es wurde eine Maske mit Raster eingefügt, begrenzt durch die Okklusallinie, einer Linie senkrecht zum Kontaktpunkt, der Zahnfleischlinie und nach außen durch den sogenannten line-angle.

Als Ergebnis stellte auch hier D.W. VOLPENHEIN (1996) die Überlegenheit des gewellten Bürstendesigns gegenüber der anderen im Versuch verwendeten Bürstenarten in der Reinigung des Approximalraumes und des Zahnfleischrandbereiches dar.

#### 2.1.4. Ergebnisse der vorgestellten In-vitro-Methoden

##### NYGAARD-ØSTBY

- Putzdauer: 50 Sekunden, zwei Bewegungen pro Sekunde
- Länge der Putzstrecke: 50 mm
- Auflagedruck: 250 g, 500 g und 750 g
- 90° Anordnung der Bürste
- Horizontale und vertikale Bürstbewegung
- Simulierte Front- und Seitenzähne
- Trockene Bedingungen

Quelle, Jahr, veränderte Versuchsparameter	Ergebnisse
YANKELL und NYGAARD-ØSTBY et al. (1982) Bürstendesign: <ul style="list-style-type: none"> <li>- V-förmig</li> <li>- Gerade, flach und multi-tuft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Je härter die Borsten, desto geringer ist der approximale Zugang.</li> <li>- Je höher der Auflagedruck, umso besser ist der approximale Zugang.</li> <li>- Vertikale Bürstbewegung ergibt besseren approximalen Zugang als horizontale.</li> <li>- V-förmiges Borstendesign hat, wenn die anderen Versuchsparameter konstant sind, besseren approximalen Zugang.</li> </ul>
YANKELL et al. (1992) Putzdauer : 60 Sekunden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei allen drei Auflagedrucken war die Colgate Precision im ap-</li> </ul>

<p>Bürstendesign :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerade, flach und multi-tuft (Oral-B P40, Reach)</li> <li>- Multilevel mit erhöhten nach außen stehenden Borsten (Colgate Precision)</li> </ul>	<p>proximalen Zugang signifikant überlegen sowohl bei vertikaler als auch horizontaler Bürstbewegung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oral-B P 40 und Reach zeigten keine signifikanten Unterschiede im approximalen Zugang.</li> </ul>
<p>YANKELL et al. (1993)</p> <p>Putzdauer : 60 Sekunden</p> <p>Bürstendesign :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gewellt (Colgate Plus)</li> <li>- Gerade, flach und multi-tuft (Oral-B P40)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Colgate Plus reinigte bei den (geringen) Auflagegewichten von 250 g und 500 g signifikant besser.</li> <li>- Die Reinigung war bei vertikaler Bewegung besser als bei horizontaler.</li> </ul>

## RAWLS

- Statische und dynamische Tests
- Auflagedruck: 100 g, 300 g, 600 g und 1000 g
- 45° Anordnung der Bürste
- Columbia Dentoform R681 Oberkiefermodell
- Bürsten vor Test 20 Sekunden in destilliertes Wasser getaucht
- Belag: blauer Ethylcellulosefilm
- 250 Zyklen, 62,5 Zyklen/ Minute

<p>RAWLS et al. (1993)</p> <p>Bürstendesign :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerade, flach und multi-tuft (Colgate Plus, Oral-B P35)</li> <li>- Gewellte Trimmung (Crest Complete)</li> <li>- Konvexe oder kuppelförmige Trimmung (Butler GUM 407)</li> <li>- Bilevel Trimmung mit leicht längeren äußeren Borsten (Johnson &amp; Johnson Reach Ad- vanced Design)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im statischen Test ohne Aufla- gedruck zeigten die Bürsten O- ral-B P35, Reach Advanced De- sign und Crest Complete eine signifikant größere Penetration des approximalen Raumes als die Bürsten Colgate Plus und Butler GUM 407.</li> <li>- Im statischen Test mit Auflage- druck war die Penetration bei ge- ringem Druck von Oral-B P35 signifikant besser als die von Crest Complete. Bei Auflage- drucken von 300 g, 600 g und 1000 g waren keine signifikanten Unterschiede mehr feststellbar, kein Einfluss mehr vom jeweili- gen Bürstendesign.</li> <li>- Bei den dynamischen Tests mit</li> </ul>
---	--

	<p>und ohne Belag wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Es wurde beobachtet, dass die größte Endringtiefe am Umkehrpunkt der Bürstbewegung gegeben war, auch hier zeigte die Oral-B P35 bessere Werte.</p>
--	--

## VOLPENHEIN

- Putzdauer: 10 Sekunden, 147,32 mm/ Sekunde (vertikal), 76,2 mm/ Sekunde (horizontal), 119,4 mm/ Sekunde (kreisförmig)
- Länge der Putzstrecke: 20,83 mm (vertikal), 12,7 mm (horizontal und kreisförmig)
- Auflagedruck: 300 g
- Bürstbewegungen: horizontal, vertikal und kreisförmig
- 45° und 90° Anordnung der Bürste
- Columbia Dentoform R861 Oberkiefermodell
- Bürsten vor dem Test mit 0,1 ml Wasser befeuchtet
- Belag: künstlich erzeugte Plaquelösung

<p>VOLPENHEIN et al. (1996)</p> <p>Bürstendesign:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerade, flach und multi-tuft (Oral-B P40)</li> <li>- Multilevel mit erhöhten nach außen stehenden Borsten (Colgate Precision)</li> <li>- Gewellte Trimmung (Crest Complete)</li> <li>- Tiefe gewellte Trimmung (Improved Crest Complete)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Improved Crest Complete Zahnbürste zeigte bei allen Testbedingungen signifikant bessere Werte im approximalen Zugang.</li> </ul>
<p>VOLPENHEIN et al. (1996)</p> <p>Bürstendesign:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Multi-level (Oral-B Advantage)</li> <li>- Multi-level mit erhöhten nach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Improved Crest Complete Zahnbürste hat bei allen Testbedingungen sowohl beim Erreichen des Zahnfleischrandes als auch beim approximalen Zugang</li> </ul>

außen stehenden Borsten (Colgate Total/ Precision) - Tiefe gewellte Trimmung (Improved Crest Complete)	signifikant bessere Werte.
---	----------------------------

## 2.2. In-vivo-Zahnbürststudien

BERGENHOLTZ et al. (1984) machte eine in vivo Studie an 24 Erwachsenen, um die Unterschiede der Reinigungswirkung von geraden und V-förmig angeordneten Borsten zu untersuchen. Im ersten der beiden 12-Tage-Teile sollten die Teilnehmer ihre eigene Putztechnik verwenden und die Bürsten mit geradem Borstendesign testen. An den folgenden 12 Tagen verwendeten sie die Bürsten mit dem V-förmigen Borstendesign. Keine zusätzlichen Hilfsmittel waren erlaubt. Im zweiten Abschnitt wurden während des gleichen Zeitraumes die Zähne von zwei zahnärztlichen Assistenten gebürstet.

Im nicht beaufsichtigten Teil wurde kein Unterschied der beiden Bürsten festgestellt, ein Teil der Gruppe reinigte mit der einen, der andere mit der anderen besser.

Beim Bürsten durch die Fachkräfte wurde lediglich eine Verbesserung im approximalen Bereich festgestellt, es spielte keine Rolle, welche Putztechnik angewandt wurde. Ganz konnte der Belag auch hier nur mit Bürste nicht entfernt werden.

An approxialen Bereichen mit Gewebeverlust, parodontal vorgeschädigt, sammelte sich mehr Plaque an.

Obwohl sich das V-förmige Bürstendesign in einer In-vitro-Studie von YANKELL und NYGAARD-ØSTBY et al. (1982) bereits als überlegen gezeigt hatte, legte die in vivo Studie von BERGENHOLTZ einen Zusammenhang zwischen Bürstendesign und Putztechnik dar. Das V-förmige Design eliminierte somit noch nicht den Einfluss der Technik.

1992 berichten THOMAS E. MINTEL et al. (Colgate-Palmolive Technology Center Piscataway, New Jersey an New York, New York), dass der überwiegen-

de Teil der Bevölkerung seine Zähne zwischen 45 und 90 Sekunden bürstet. Dies, so zeigt er, ist sehr ineffektiv.

Er stellt die Hypothese auf, dass, wenn man Daten sammelt, mit welchen Techniken die Bevölkerung putzt, man ein Bürstendesign entwickeln kann, welches unter den gegebenen Bedingungen eine optimale Plaqueentfernung ermöglicht. Für die Aufzeichnung der Daten verwendeten sie ein computer-gestütztes Videosystem.

Das zahnärztliche Personal weiß seit längerer Zeit, dass die Zahnbürste unzureichend reinigt. Es entwickelt daher bestimmte Putztechniken (Bass, Roll, kreisförmiges Bürsten, Kombinationen aus horizontalen und vertikalen Bewegungen), um die Reinigung im Approximalraum und im Zahnfleischrandbereich zu verbessern.

Das wichtigste, das in der Bewegungsstudie erkannt wird, ist, dass die Leute ihre unzureichende Bürsttechnik weitgehend beibehalten, egal welche Technik ihnen demonstriert wird und wie die Zahnbürste gestaltet ist.

Hierfür gilt es als Ziel, ein effektives Plaque entfernendes Bürstendesign zu entwickeln, von welchem sich die Borstenanordnung jeder erdenklichen Bürsttechnik anpasst.

Im Colgate Palmolive Technologie Center wurde unter diesen Vorgaben die Colgate Precision (Colgate Total) entwickelt.

Im Folgenden wird die Ausführung und Anordnung der Borstenbüschel auf der Zahnbürste beschrieben.

Ein großer Nachteil von den Borstenbüschelanordnungen auf handelsüblichen Zahnbürsten ist, dass die dicht stehenden Borstenbüschel sich gegenseitig blockieren, so dass einzelne Borsten nicht weit genug in den Approximalraum gelangen.

Zum Vergleich wurden die Borsten bei der Colgate Precision in Reihen unterschiedlicher Längen angeordnet, so dass die einzelnen Büschel unbeeinflusst

von den benachbarten ihre Arbeit verrichten können. Wenn einmal eine unabhängige (die einzelnen Borsten beeinflussen/ behindern sich nicht gegenseitig) Bewegung erreicht ist, können die längeren Borsten tiefer zwischen die Zähne gelangen.

Die äußeren Reihen von der Colgate Precision Zahnbürste sind schräg zum Zahnfleisch angeordnet. Wenn der Patient sie im 45 Grad Winkel verwendet, wird eine optimale Reinigung erreicht. Jedoch reinigt die Bürste auch dann noch die marginalen Bereiche, wenn der Benutzer einen ungünstigeren Winkel verwendet.

Der Bürstengriff hat weniger Bedeutung für die klinische Effektivität als für die Anwenderfreundlichkeit und die Motivation. So sollte die Bürste bei jedem Winkel gut, angenehm und sicher in der Hand liegen. Des Weiteren müssen alle Ecken und Kanten gerundet sein, um ein Verletzen der Weichgewebe während des Bürstens zu verhindern.

In den letzten Jahren sind viele Verfahren entwickelt worden, um die Plaque-menge auf der Zahnoberfläche zu messen. Keines davon scheint empfindlich genug zu sein, um die Unterschiede von Zahnbürsten aufzuzeigen.

Verfeinerung des Modified Navy Plaque Index durch KEDAR N. RUSTOGI et al. (1992).

Der Index hat sich in klinischen Studien etabliert. Von jeder Fläche wird Plaque als vorhanden = 1 oder als nicht vorhanden = 0 bewertet. Je nach interessierendem Bereich wird er als Ganzes (A, B, C, D, E, F, G, H und I), gingivaler Bereich (A, B und C) oder approximaler Bereich (D und F) bewertet.

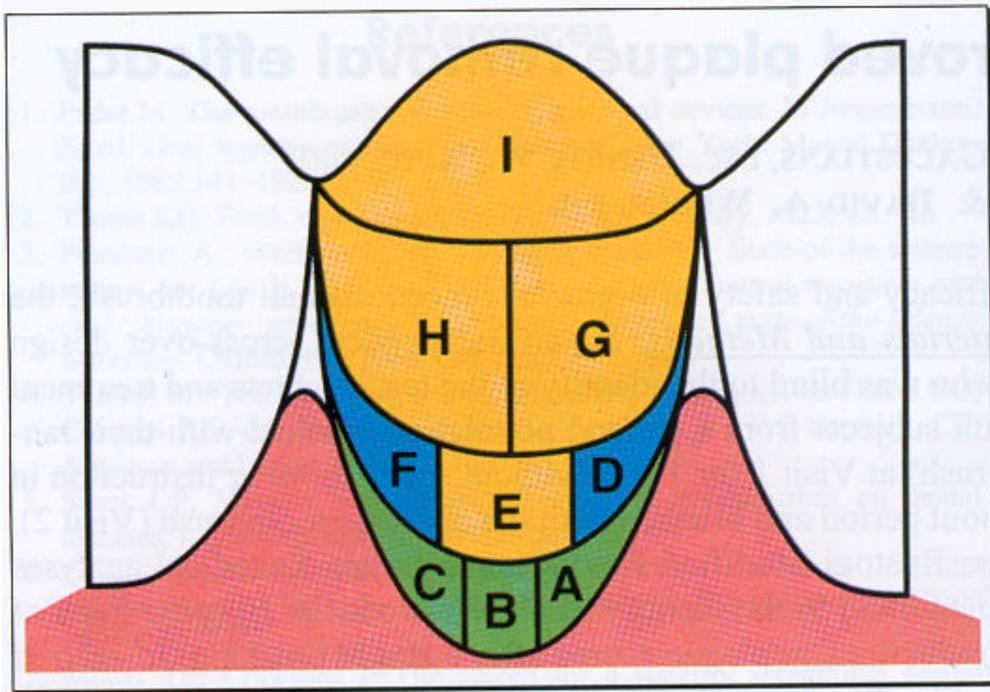


Abb. 2.1.: Nach RUSTOGI modifizierter Navy Plaque Index

T. F. MC DANIEL et al. (1997) untersuchte die Effekte des Zahnbürstendesigns und der Putztüchtigkeit auf die Entfernung von Plaque in einer klinischen Studie anhand der Crest Complete Zahnbürste, der Colgate Precision Zahnbürste und der Oral-B 40 Zahnbürste.

An der Studie nahmen 25 in Ausbildung stehende Dentalhygieniker teil. Alle 25 Teilnehmer erhielten in den vorangegangenen zwei Monaten eine professionelle Zahnprophylaxe. Keiner der Teilnehmer wies große unversorgte kariöse Läsionen auf.

Von den Untersuchern wurde der nach Rustogi modifizierte Navy Plaque Index verwendet, weil er dem approximalen und gingivalen Bereich verstärkte Aufmerksamkeit schenkt.

Die Teilnehmer durften 24 Stunden vor jedem Bürsttest die Zähne nicht reinigen. Vor dem Bürsten wurden die Zähne mit Red-Cote® angefärbt. Dann wurden die Zähne von den Teilnehmern selbst ohne Zuhilfenahme eines Spiegels

für 90 Sekunden gebürstet. Als Zahnpaste diente Tartar Control von Crest während der gesamten Studie. Dieser Vorgang wurde zweimal im Abstand von drei Wochen wiederholt, so dass von jedem Teilnehmer Werte mit allen drei Bürstenarten vorlagen. Jeder Teilnehmer durfte seine bevorzugte Bürstetechnik verwenden.

Als Ergebnis wiesen alle drei Bürsten effektive Plaqueentfernung auf, jedoch ohne signifikanten Unterschied. Da die Teilnehmer über fundiertes Wissen über Plaque und seine Entstehung und über Mundhygiene verfügten, zeigt diese Studie, wie wichtig die Mundhygiene-Anweisungen des Fachpersonals an den Patienten sind. Eine effektive und täglich angewandte Bürstetechnik scheint für die Entfernung von Plaque ausschlaggebender zu sein als das Zahnbürstendesign. Als Schlüsselemente fügt der Autor die Wichtigkeit der Patienten-Compliance und Motivation an.

Schließlich konnte keine der drei Bürsten den Approximalraum so reinigen, wie es mit Zahnseide möglich ist.

MARTIN ADDY (1998) veröffentlichte einen Artikel über die Sicherheit und Effektivität verschiedener Zahnbürstendesigns.

Es überrascht, dass es nie Anstrengungen gegeben hat, Richtlinien für die Bewertung von Hand- oder elektrischen Zahnbürsten festzulegen.

Auf dem kürzlich stattgefundenen Treffen der ISO wegen Handzahnbürsten, wurden Pläne vorgeschlagen, Zahnbürsten auf ihre Sicherheit bezüglich der Hart- und Weichgewebe im Mund zu untersuchen.

Das Ziel dieses Artikels ist es, aktuelle und mögliche Verfahren zu überdenken, womit Zahnbürsten nach ihrer Effektivität und Sicherheit bewertet werden können.

In-vitro-Plaque-Modelle, an welchen die Effektivität einer Zahnbürste getestet werden kann, sind eingeschränkt und stark vereinfacht. Biofilme können in vitro

auf Zahnoberflächen erzeugt werden. Wenn man an ihnen die Effektivität von Zahnbürsten beurteilen will, hat man das Problem, dass Zahnpasten antimikrobiell wirksame Bestandteile haben und so auch an Bereichen wirken, die von den Borsten nicht erreicht werden. So können Zahnpasten das Ergebnis verfälschen.

Alternativen waren Studien über die Entfernung von Verfärbungen. Einfache Verfahren nutzten zum Beispiel Tee. Hier kann eine Studie sowohl mit als auch ohne Zahnpasta durchgeführt werden.

Zusätzlich können die Bewegungen der Borsten über die Oberfläche fotografisch oder mit Videoaufnahmen festgehalten werden, und so kann die approximale Penetration im einzelnen untersucht werden.

Zahnbürsten sind vor allem zur Plaqueentfernung von erreichbaren Zahnoberflächen entwickelt worden. Um dies zu erreichen, müssen die Fasern einen gewissen Grad an Festigkeit aufweisen, damit eine genügende Abrasionsfähigkeit erzeugt werden kann und somit die Plaque entfernt wird. Diese Festigkeit muss gegen potentiell schädliche Effekte auf die Hart- und Weichgewebe des Kauorgans ausbalanciert sein. In-vitro-Tests haben gezeigt, dass die Zahnbürste alleine keinen signifikanten Einfluss auf die Abrasion der Zahnhartsubstanz hat, Dentin eingeschlossen (ABSI E.G. et al. 1992). Die befestigte Gingiva und die alveolare Mukosa sind aber über die Festigkeit der Filamente einer potentiellen Schädigung ausgesetzt. Gingivale Rezessionen findet man häufig in der bleibenden Dentition und sie nehmen mit dem Alter zu (LOE H. et al. 1992; SERINO G. et al. 1999). Die Ursache der gingivalen Rezessionen ist noch weitgehend ungeklärt, vor allem wegen des offensichtlichen eingeschränkten Forschungsinteresses auf diesem Gebiet (ADDY et al. 1990). Studien über freiliegende Zahnhälse machen das Zähneputzen sowohl für die gingivalen Rezessionen als auch für die Überempfindlichkeit des Dentins verantwortlich.

Eine weitere Studie über Dentin Überempfindlichkeit (ADDY M. et al. 1987) zeigte, dass das Auftreten von Sensibilität an den bukkalen Rezessionen der Eckzähne und Prämolaren am größten war, gleichzeitig hatten diese Zähne den geringsten Plaqueswert. Auch war an den Zähnen auf der linken Seite signifikant mehr Rezession und Empfindlichkeit und signifikant weniger Plaque, verglichen mit den Zähnen auf der rechten Seite; 95% der untersuchten Personen bürsteten mit der rechten Hand. Schließlich hatten alle Zähne mit Rezessionen und Überempfindlichkeit geringe Plaqueswerte.

Durch die mittlerweile große Vielfalt an Zahnbürstendesigns ist die an herkömmlichen flachen Bürsten eingeführte Einteilung der Borstenhärte in weich, mittel und hart zu überdenken.

G. SAVILL et al. (1998) untersuchte in Großbritannien eine neue Zahnbürste, die Mentadent Adaptor. Sie soll optimale Plaquekontrolle und schonende Behandlung der Hart- und Weichgewebe vereinen.

Die äußeren Borsten sind in einem Elastomer eingebettet, um Flexibilität während des Zahnbürstdruckes zu gewährleisten, auch ermöglicht dies eine Anpassung an die Oberflächen.

Auch G. SAVILL et al. (1998) machten darauf aufmerksam, dass Zahnputzmethoden und -gewohnheiten und die unterschiedliche Geschwindigkeit der Plaqueformation es schwierig gestalten, signifikante Unterschiede von Zahnbürsten darzustellen. Die Effekte von verschiedenen Kombinationen von Zahnbürsten und Zahnpasten sollten auch in Betracht gezogen werden.

Um eine Reinigung zu gewährleisten, muss eine Zahnpaste eine gewisse Abrasivität besitzen (HEFFEREN J.J. 1976), wenn auch dadurch durch übereifriges Putzen bleibende Schäden an den Zähnen und der Gingiva entstehen können (KHOCHT A. et al. 1993). Wenn Rezessionen vorliegen, kann dieser Abrasionseffekt bei weiterem energischem Putzen an der Zahnhalsregion verstärkt werden.

Es gab verschiedene Versuche eine Zahnbürste zu konstruieren, welche nur eine geringe Abrasion verursacht. Die Mentadent Adaptor Zahnbürste wurde speziell dafür entwickelt, bei optimaler Plaquekontrolle, die Hart- und Weichgewebe zu schonen. Sie hat einen einzigartigen Bürstenkopf, bestehend aus einem Polypropylene-Körper, der an den Seiten von einem flexiblen thermoplastischen Elastomer umgeben ist. In diesen Elastomer sind „flex-caps“ eingebettet, in welchen die äußeren Borsten eingesetzt sind. Borsten sind ebenfalls im zentralen Polymer-Körper eingesetzt.

Um mikroskopische Veränderungen an den Mundgeweben in vivo messen zu können, wurde von G. SAVILL et al. (1998) ein neues Verfahren entwickelt, das „oral-metrology-Verfahren“.

Ein Zahnmodell wurde mit Hilfe eines herkömmlichen Abdruckmaterials hergestellt. Dieses Modell wurde anschließend digitalisiert. Man erhielt also ein dreidimensionales Bild. So kann ein zu einem späteren Zeitpunkt nach der gleichen Vorgehensweise hergestelltes Bild überlagert und die Veränderungen berechnet werden.

Bei einer Pilotstudie von „oral-metrology“ wurde dessen Fähigkeit, Veränderungen an den Geweben zu messen, dargestellt. 54 Objekte mit gingivalen Rezessionen wurden ausgewählt, zweimal täglich für drei Monate mit einer Zahnpaste mittlerer Abrasivität (RDA=75) und einer international verwendeten Zahnbürste gebürstet. Der durchschnittliche Dentinabrieb betrug nach drei Monaten 51  $\mu\text{m}$ .

Es wurden anschließend zwei Studien durchgeführt.

In der ersten Studie, nach dem Design der Pilotstudie, wurde die Mentadent Adaptor Zahnbürste mit zwei Zahnpasten unterschiedlicher Abrasivität an 42 Versuchspersonen, welche Rezessionen von mindestens 2 mm und mindestens 0,5 mm Substanzverlust am Dentin eines oder mehrerer Schneidezähne, eines

Eckzahns, Praemolars oder ersten Molaren aufwiesen, auf Abrasivität untersucht.

Die Kontur der Gingiva änderte sich nur mit der Zahnbürste mit der höheren Abrasivität signifikant. Der Substanzverlust betrug bei der Zahnpasta mit moderater Abrasivität 21  $\mu\text{m}$ , bei der mit geringer 14  $\mu\text{m}$ .

Die zweite Studie verglich die Mentadent Adaptor Zahnbürste mit einer international anerkannten Standard Zahnbürste auf Plaqueentfernung und Zahnfleischgesundheit. Als von den Versuchspersonen aufgewendete Kraft wurde senkrecht (316 g mit der Standardzahnbürste und 303 g mit der Mentadent Adaptor Zahnbürste) und parallel (107 g mit der Standardzahnbürste und 106g mit der Mentadent Adaptor Zahnbürste) zur Zahnoberfläche gemessen. Die Versuchspersonen bürsteten durchschnittlich 78 Sekunden mit der Standardzahnbürste und 81 Sekunden mit der Mentadent Adaptor Zahnbürste. Keiner dieser Unterschiede ist statistisch signifikant.

Nach drei Wochen wurde ein signifikant verbesserter Plaque-Index bei der Versuchsgruppe gemessen, die die Mentadent Adaptor Zahnbürste verwendete.

Die gingivale Gesundheit wies zwar eine geringe, aber messbare Verbesserung bei Verwendung der Mentadent Adaptor Zahnbürste auf.

D. BEALS (2000) beschrieb die Entwicklung und die in vitro Bewertung der neuen Oral-B Cross Aktion Zahnbürste mit neuartigen Bürstenkopfdesign.

Sie nimmt die Borsten  $16^\circ$  in einem einzigartigen CrissCross-Design gewinkelt entlang der horizontalen Achse der Zahnbürste auf. In vitro Studien haben gezeigt, dass diese Anordnung signifikant die proximale Penetration und Reinigungseffektivität verbessert.

Bei einer Studie über das Putzverhalten von 173 Erwachsenen kam D. BEALS (1999) zu den Ergebnissen: Erwachsene putzen durchschnittlich 46 Sekunden ihre Zähne, 68,6% der Zeit wird eine horizontale, 17,3% eine vertikale und

14,1% eine kreisförmige Bewegung verwendet. Die Ergebnisse dieser Studien wurden für das Design des verbesserten In-vitro-Versuchsaufbaus verwendet. Ein Aufbau wurde entwickelt, um die Dauer und die Frequenz des approximalen Eindringens der Borsten bestimmen zu können. In einem Modellzahn wurde ein Prisma eingebracht, das die Bilder von der approximalen Penetration der Borsten in eine Videokamera reflektierte. Ein Videorecorder nahm so ca. 30 Bilder pro Sekunde auf. Die computergesteuerte Bürstmaschine führte eine horizontale Bürstbewegung von 60,96 mm bei einer Geschwindigkeit von 2,63 Bewegungen pro Sekunde aus. Es wurde 8 Sekunden lang gebürstet. Das Auflagegewicht betrug 500 g, welches dem üblichen Durchschnittsbürstdruck (YANKELL S.L. et al. 1983; BJORN H. et al. 1966) entsprach. Der Bewegungsablauf der einzelnen Borsten wurde mit „computer digital image analysis“, welches den Kontrast zwischen den Borstenabbildungen und der helleren Zahnoberfläche misst, ausgewertet. Dieser Aufbau zeigt nur die jeweiligen Positionen der Borsten, nicht deren Fähigkeit, Plaque zu entfernen. Um dies zu zeigen, wurde ein zweiter Aufbau entwickelt.

Hierzu wurden vereinfachte künstliche Zähne mit künstlichem Plaque bedeckt, mit einem Auflagegewicht von 500 g, einer Bürststrecke von 19,05 mm und mit einer linearen Geschwindigkeit von drei Zyklen pro Sekunde 2,4 Sekunden lang gebürstet, zur Trocknung liegen gelassen und dann mit der Bildbearbeitungssoftware Optimas (Version 5.0) ausgewertet. Bei gleichem Aufbau führte man noch eine vertikale Bürstsequenz durch.

Bei der Auswertung der Aufnahmen wurde auch hier festgestellt, dass beim Richtungswechsel der Bürste die größte Penetration erfolgt. Durch die Anwinkelung der Borsten wird nun auch bei der Bewegung zwischen den Richtungswechsel ein tiefes Eindringen in den Approximalraum erreicht.

In einem Vergleich mit mehr als 80 sich im Handel befindlichen Bürsten schnitt die Oral-B Cross Action sowohl beim optischen Vergleichstest als auch beim Effektivitätstest signifikant besser ab.

### 3. Zielsetzung der Studie

Ziel der Arbeit ist es, einen In-vitro-Versuchsaufbau zu entwickeln, der zeigen soll, ob die neuen Borstenanordnungen der verschiedenen Zahnbürsten die von den Herstellern versprochene bessere Reinigung des Approximalraumes gewährleisten, im Vergleich zur herkömmlichen flachen Zahnbürste.

Es wurden bereits einige Versuchsanordnungen in der Literatur der letzten Jahre vorgestellt, diese wiesen jedoch Schwachpunkte auf, die die Übertragung der Ergebnisse auf die Wirksamkeit in vivo einschränkte. Deshalb mussten weiterreichende Überlegungen angestrengt werden, um die Ergebnisse realitätsnäher zu gestalten.

In der Klinik erweist sich die Überprüfung der Effektivität von den neuen Bürstendesigns wegen der individuellen Vielfalt an Parametern recht schwierig. So wird z.B. zur Bestimmung der Plaquemenge ein Index verwendet, der von der Subjektivität des Untersuchers abhängig ist. Dadurch sind Ergebnisse nicht überprüfbar.

Deshalb ist ein In-vitro-Versuchsaufbau die bessere Methode. Es sollen alle Versuchsparameter exakt reproduzierbar sein, damit man objektivierbare Ergebnisse erhält. Dies kann durch definierte Plaquerzeugung und anschließende Bildverarbeitung geschehen. Auch ist bei dem Modell darauf zu achten, dass es in Form und Oberflächenbeschaffenheit der Natur entspricht. Die Bewegungen der maschinengeführten Bürste sollen den Gewohnheiten der Benutzer möglichst nahe kommen. Der Vergleich von unterschiedlichen Zahnbürsten soll möglich sein.



## 4. Material und Methode

### 4.1. Verwendete Zahnbürsten

Es handelt sich um vier handelsübliche Handzahnbürsten, die in München in Einzelhandelsgeschäften erworben wurden.



Abb. 4.1.: In der Verkaufsverpackung von links nach rechts: blend-a-dent professional interdental, Oral-B 40 Advantage, Colgate Total Professional, Oral-B P40.



Abb. 4.2.: Nur die Bürstenköpfe aller vier getesteten Bürsten: blend-a-dent professional interdental, Oral-B 40 Advantage, Oral-B P40, Colgate Total Professional.

#### 4.1.1. Oral-B P40

Die blauen Borsten verblassen mit dem Gebrauch nach 3 Monaten. Alle Borsten sind gerundet.

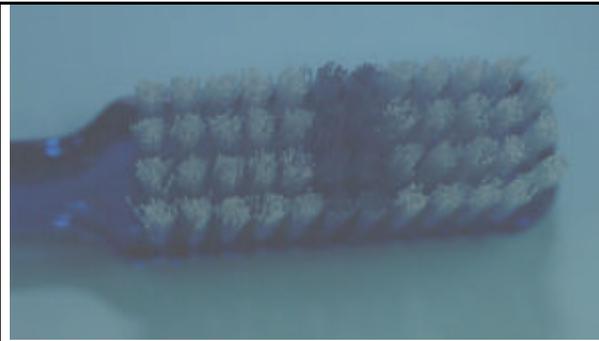


Abb. 4.3.: Die Oral-B P40, von oben gesehen. Die Borstenbüschel sind in gleichmäßigen Abständen angeordnet.

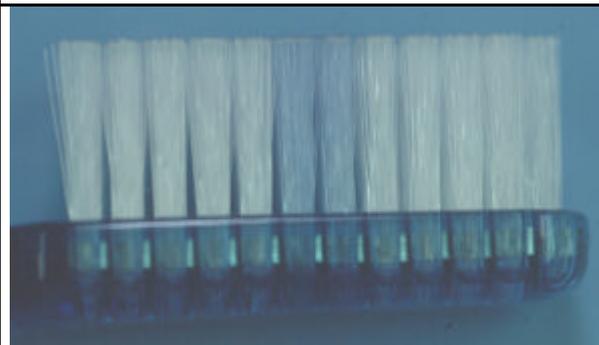
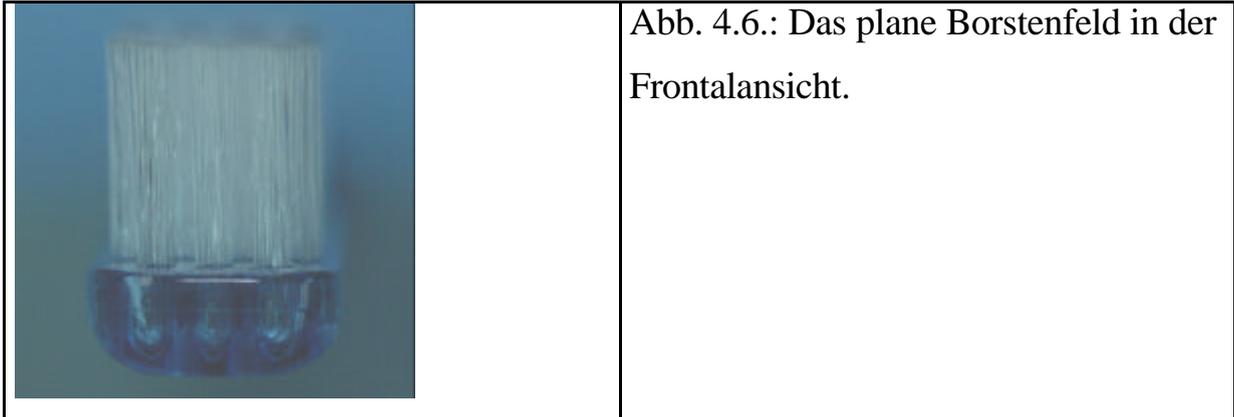


Abb. 4.4.: Die Seitenansicht zeigt die gleichlangen Borsten.



Abb. 4.5.: Die Übersichtsaufnahme zeigt das plane Borstenfeld von schräg oben.



Der Bürstenkopf der Oral-B P40 misst 32 mm in der Länge und 12 mm in der Breite, die Kanten sind gerundet. Das Borstenfeld ist 28 mm lang und 10 mm breit. Es besteht aus 47 Borstenbüschel (Multi-tufted), jeder Borstenbüschel hat ca. 36 Filamente. Alle Filamente haben eine Länge von 10 mm, daraus ergibt sich ein ebenes Profil (Flat-trimmed), und einen Durchmesser von 0,2 mm. Die Borstenbüschel sind in gleichmäßigen Viererreihen senkrecht zum Bürstenkörper angeordnet, außer einer abschließenden Dreierreihe.

#### 4.1.2. Oral-B Advantage

Die einzelnen Borsten weisen eine Mikrostruktur (aufgeraute Borstenenden) auf. Dies soll Plaqueentfernung nicht nur mit den Borstenenden gewährleisten, was sich als besonders sinnvoll am Ende der Zahnreihe und zwischen den Zähnen erweist. Auch die Oral-B Advantage hat blaue Indikatorborsten. Da sich der Farbstoff durch Feuchtigkeit löst, ist die Entfärbung ein ungenügender Hinweis auf Verschleiß.

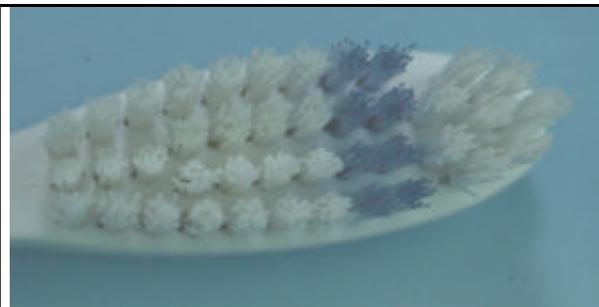


Abb. 4.7.: In der Aufsicht sieht man die senkrecht in den Bürstenkopf eingebetteten Borsten. Der gerundete Bürstenkopf soll das Erreichen schwer zugänglicher Mundpartien erleichtern.



Abb. 4.8.: In der Seitenansicht steigt das Profil zum Bürstenende hin an, dies soll die Reinigung der distalen Flächen der am weitesten distal in der Zahnreihe stehenden Zähne erleichtern.



Abb. 4.9.: Die Übersichtsaufnahme zeigt, dass die Länge der einzelnen Borsten zum Zentrum des Bürstenkopfes abnimmt, dies soll zu einer besseren Reinigung des Approximalraumes und des Zahnfleischrandbereiches bei im 45° Winkel angesetzter Bürste führen.

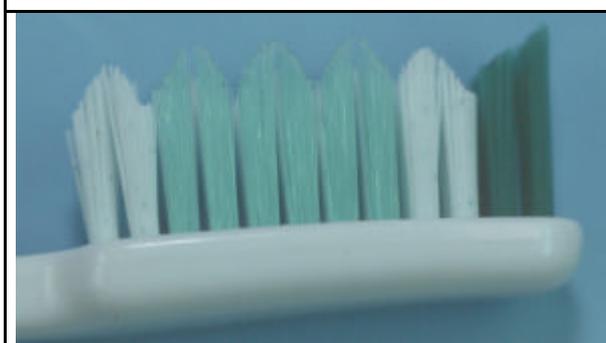


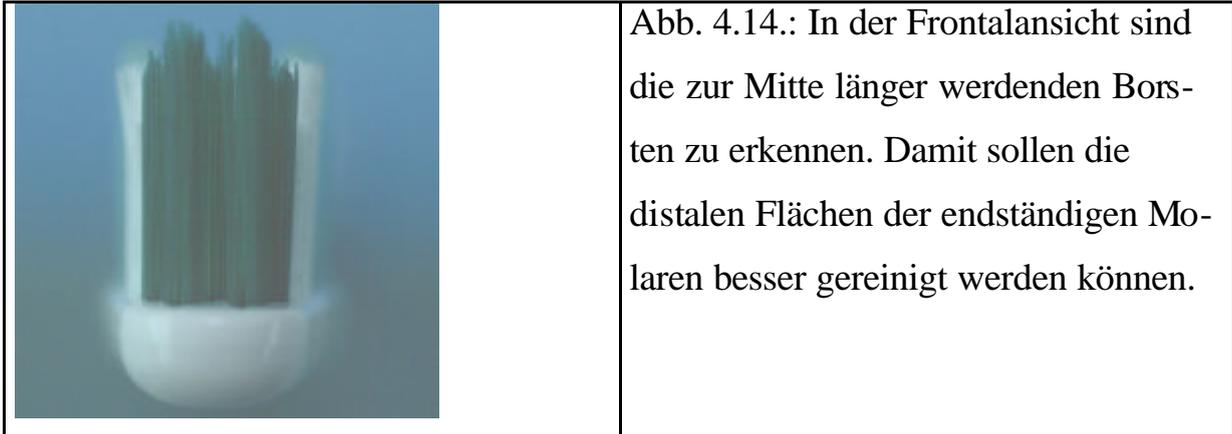
Abb. 4.10.: Die Frontalansicht zeigt, dass zur Bürstenspitze die Borsten zur Mitte hin länger werden. Mit dieser Spitze kann man gezielt schwer zugängliche Bereiche reinigen (distale Flächen endständiger Molaren).

Der ovale Bürstenkopfkörper der Oral-B Advantage hat eine maximale Länge von 34 mm und eine maximale Breite von 12 mm. Das Borstenfeld ist maximal 30 mm lang und 10 mm breit. Es besteht aus 41 senkrecht zum Bürstenkörper angeordneten Borstenbüschel (Multi-tufted), jeder Borstenbüschel hat zwischen 34 und 42 Filamente. Die Filamente haben unterschiedliche Längen, es sind größtenteils die Borstenbüschel schräg geschnitten, sie variieren von 12 mm am Kopfende über 9,5 mm lateral bis 7 mm zentral, ihr Durchmesser 0,2 mm. Am Bürstenkopf umgeben 7 Borstenbüschel einen zentralen kreisförmig, die übrigen schließen sich in Reihen nach hinten an.

#### 4.1.3. blend-a-dent professional interdental (In den U.S.A. Crest Complete)

Die Borsten weisen eine Mikrostruktur auf, die speziell dafür entwickelt wurde, dass sowohl mit den Borstenseiten als auch mit dem Borstenende Plaque entfernt werden kann.

	<p>Abb. 4.11.: In der Aufsicht sieht man die senkrecht in den Bürstenkopf eingebetteten Borsten. Die einzelnen Borstenbüschel haben den gleichen Umfang und sind in gleichmäßigen Abständen angeordnet. Die Bürstenbreite nimmt zum Ende hin ab, dadurch sollen die distal stehenden Zähne besser erreicht werden.</p>
	<p>Abb. 4.12.: In der Seitenansicht ist der gewellte Verlauf der Borsten zu erkennen, dadurch soll eine bessere Reinigung der approximalen Räume auch bei im 90° Winkel angesetzter Bürste erreicht werden.</p>
	<p>Abb. 4.13.: In der Ansicht von schräg oben erkennt man, dass die Borsten zum Zentrum hin kürzer werden, damit bei einer im 45° Winkel angeordneten Bürste die Reinigung der Approximalräume um ein weiteres verbessert wird.</p>



Der Bürstenkopfkörper der blend-a-dent professional interdental hat eine zuckerhutförmige Grundfläche und misst 31mm in der Länge, in der Breite vorne 8mm und hinten 12 mm. Das Borstenfeld hat eine Länge von 30,5 mm und eine mittlere Breite von 9 mm. Es besteht aus 43 Borstenbüschel (Multi-tufted), jedes Borstenbüschel hat ca. 42 Filamente mit einem Durchmesser von 0,17 mm. Die Länge der Filamente schwankt gleichmäßig zwischen 12,75 mm und 9,55 mm lateral im Vergleich zu 7,75 mm und 11,85 mm zentral, wodurch sich ein gewelltes Profil ergibt (rippled). Die Borstenbüschel sind regelmäßig in Reihen senkrecht im Bürstenkörper befestigt.

#### 4.1.4. Colgate Total Professional

Sie wird mit „Zahnseide ist das Vorbild“ beworben. Allerdings wird die zusätzliche Verwendung von Zahnseide empfohlen.

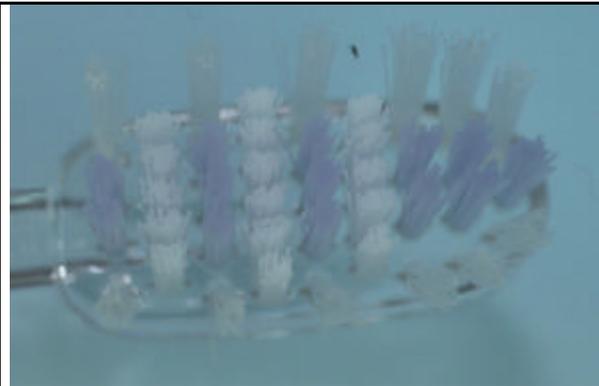


Abb. 4.15.: In der Aufsicht sieht man schrägstehende äußere Borsten, diese sollen Plaque vom Zahnfleischrand entfernen.

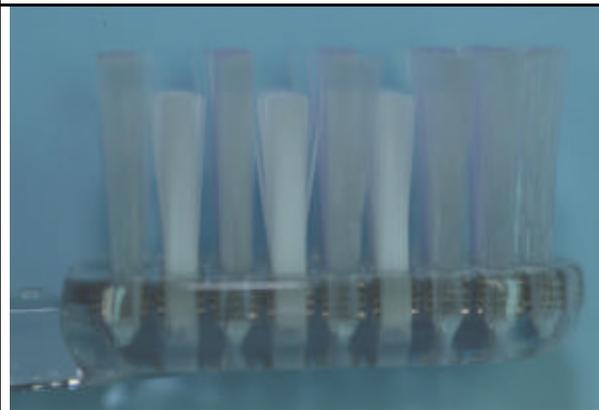


Abb. 4.16.: In der Seitenansicht erkennt man den stufenförmigen Verlauf der Borsten.

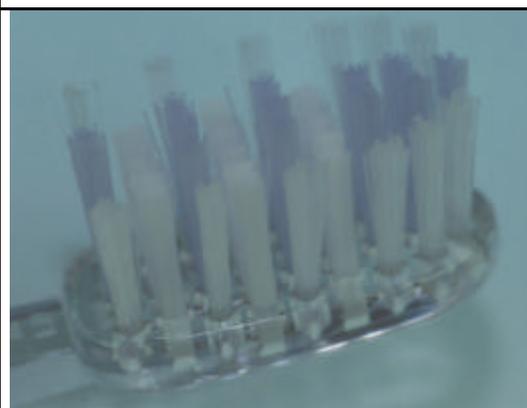
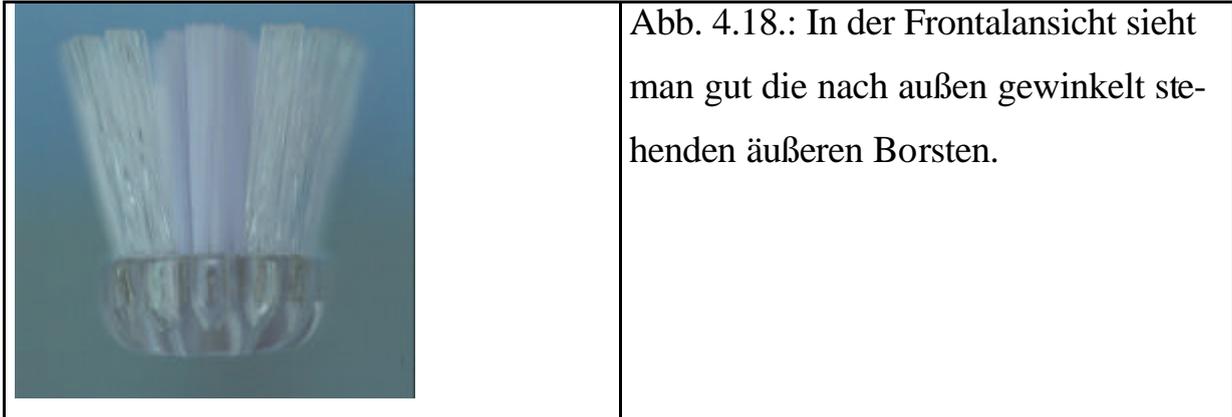


Abb. 4.17.: In der schrägen Aufsicht sieht man lange innere Borsten, sie sollen besonders die Zahnzwischenräume reinigen. Die kurzen inneren Borsten sollen die Zahnoberfläche gründlich reinigen.



Der Bürstenkopfkörper der Colgate Total Professional hat eine Länge von 26 mm und eine Breite von 12 mm, er ist gerundet. Das Borstenfeld misst in der Aufsicht 23 mm in der Länge und 15 mm in der Breite. Es besteht aus 41 Borstenbüschel (Multi-tufted), jedes Borstenbüschel hat ca. 36 Filamente. Die Büschel haben unterschiedliche Längen, weiß 8,5 mm (Durchmesser: 0,15 mm), violett und transparent jeweils 11 mm (Durchmesser: 0,18 mm). Die weißen und violetten Borstenbüschel sind abwechselnd in Reihen im inneren Bereich senkrecht zum Bürstenkörper platziert, dadurch entsteht ein stufenförmiges Profil (Multi-level). Die transparenten Büschel schließen die violetten Büschel lateral ab und sind 12° nach außen geneigt.

## 4.2. Versuchsaufbau

### 4.2.1. Modell

Es wurde ein Modell, passend in die von K-H. KUNZELMANN (1995) entwickelte computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine, konstruiert.

Das Modell bestand aus vier natürlichen Frontzähnen, ohne Füllungen oder kariöse Läsionen, die regulär aufgestellt, ohne beabsichtigte Fehlstellungen in Orthocryl (Methylmetacrylat) eingebettet wurden. Die Gingiva wurde nachempfunden. Vor dem Einsetzen wurden die Zähne gereinigt, mit einem Scaler grob vorgereinigt und dann mit Polierpaste poliert, zuerst Proxyt blau dann Proxyt rosa. Es wurden vier Modelle mit jeweils vier Zähnen hergestellt.

Und von eins bis vier durchnummeriert.



Abb. 4.19.: Nr. 1 der vier hergestellten Versuchsmodelle

#### 4.2.2. Färbung/ Belagbildung

Auf den Zahnmodellen wurde ein Belag aus Tee erzeugt: 3 Beutel (Messmer Klassik Schwarz, Nr. 03213185) wurden in vorher zum Kochen gebrachtes Wasser (500 ml) gelegt. Der Tee konnte 15 Minuten ziehen.

Die 500 ml Tee gab man in ein rechteckiges Gefäß mit einer Oberfläche von 276 cm<sup>2</sup>. Die Temperatur wurde mit Hilfe eines Magnetrührers bei konstant 38° gehalten. Die vier Modelle wurden hineingelegt, sie blieben 7,5 Stunden im Tee. Die Zähne waren während der gesamten Zeit von Tee bedeckt. Das verdunstete Wasser wurde ständig durch neues auf 38° temperiertes Wasser ersetzt. Danach wurden die Modelle aus dem Wasser genommen und luftgetrocknet. Der nun sichtbare Teebelag wurde mit einer 2% Methylenblaulösung eingefärbt.



Abb. 4.20.: Zähne mit Teebelag

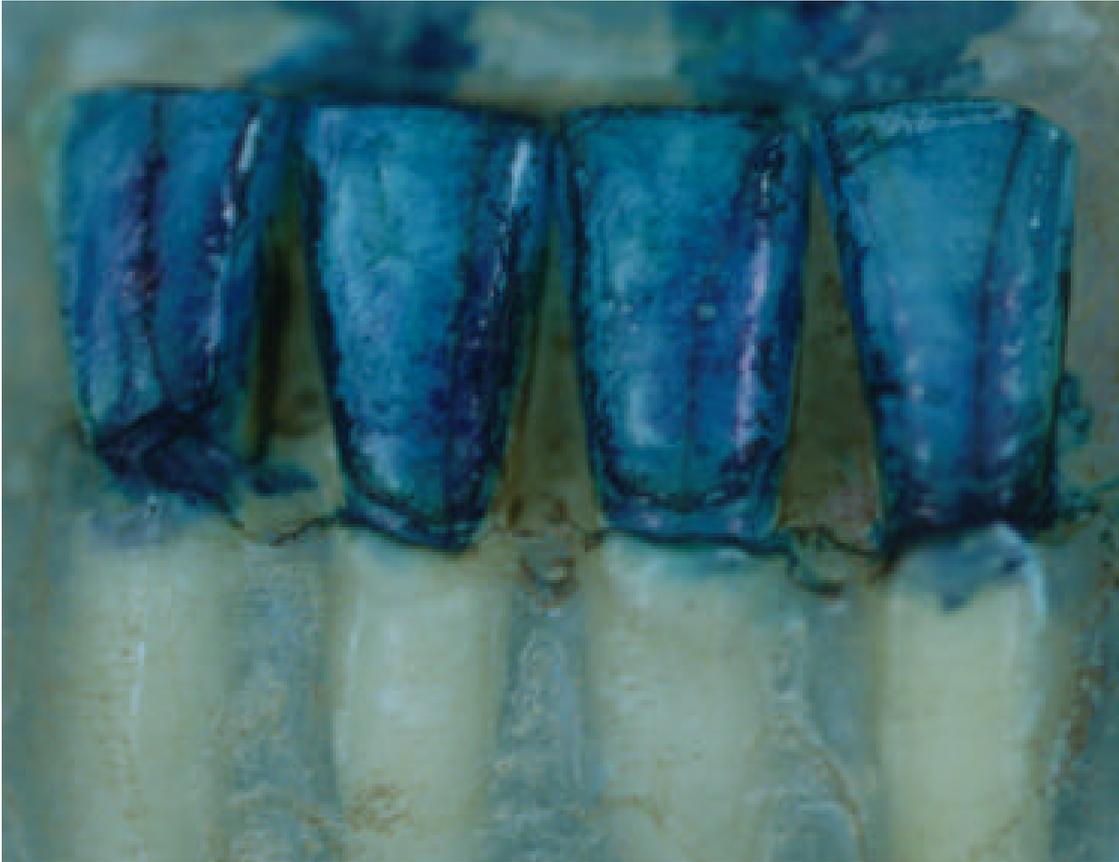


Abb. 4.21.: Teebelag mit Methylenblau gefärbt

### 4.2.3. Computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine

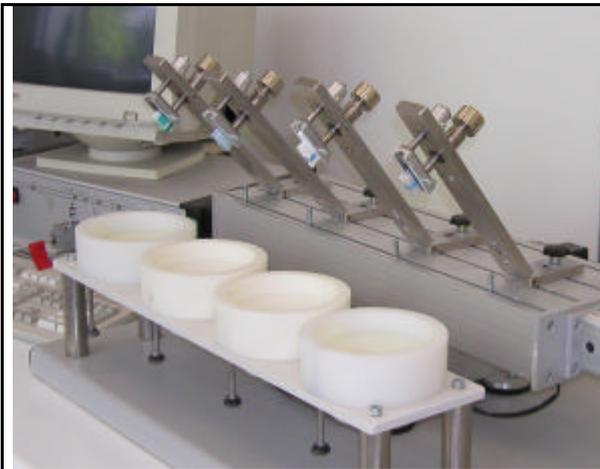


Abb. 4.22.: Zahnbürstmaschine geöffnet mit montierten Bürsten (Griff abgesägt)

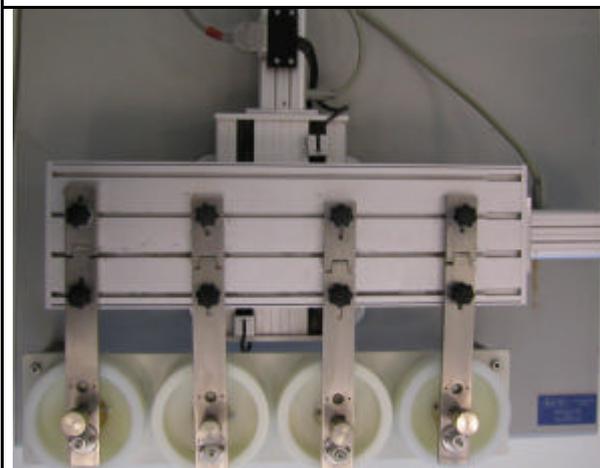


Abb. 4.23.: Ansicht von oben. Die Anlage ist geschlossen und arretiert.

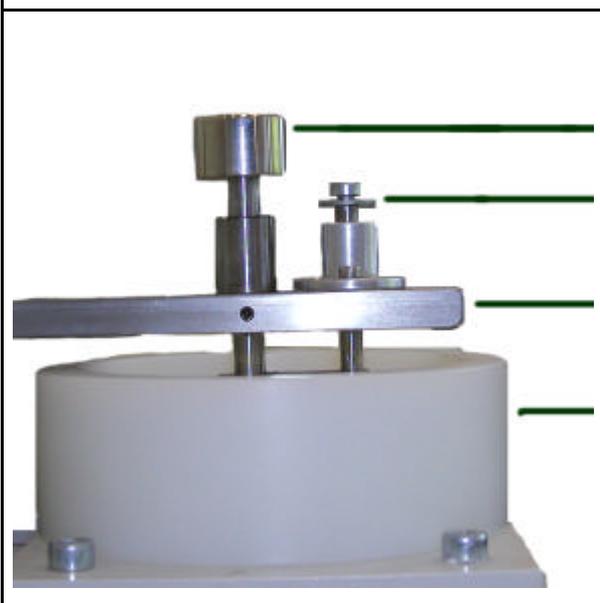


Abb. 4.24.: Bürsteinheit:

Führungsarm mit Gewicht

Zweiter Führungsarm

Verbindungsarm zur Motoreinheit

Gefäß zur Aufnahme des Modells und des Slurry



Abb. 4.25.: Bürste setzt zur Veranschaulichung auf Demomodell. Es sind auch die beiden Führungsarme zu erkennen, an ihnen ist die Zahnbürstenhalterung angebracht.

Die angefärbten Modelle wurden in die von K.-H. KUNZELMANN (1995) entwickelte computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine eingeschraubt. Die Schneidekanten wiesen nach links. Die Bürste setzte im  $90^\circ$  Winkel zur Zahnoberfläche auf. Die Bürstbewegung erfolgte horizontal. Als Auflagegewicht wurde 104 g gewählt. Amplitude 20 mm. Die Bürstgeschwindigkeit betrug 44,4 mm/Sekunde. Es wurden pro Versuch 30 Bürstbewegungen durchgeführt. Als Abrasivmedium diente ein standardisiertes Slurry. Dieses bestand aus 200 g Glycerin, 200 g deionisiertes Wasser, 44,2 g Tragant, 33,4 g Calciumhydrogenphosphat. Nach dem Bürsten wurden die Modelle aus der Bürstmaschine genommen, unter fließendem Wasser die Slurry Reste weggespült, und luftgetrocknet.

#### 4.2.4. Anfertigung von Dias

Von den gebürsteten Modellen wurden Dias angefertigt. Als Ausrüstung diente eine F801s, 60 mm AF Mikro Nikkor, manuell mit automatischer Belichtung. Es wurde der Kodak Ektachrome 100HC Film verwendet. Fotografiert wurde reproduzierbar in einer Dunko Reproanlage (2 Lichtwannen mit je 2 Neonröhren L 18 W/11 bestückt, diese waren im  $45^\circ$  Winkel angeordnet)

Die Dias mit dem Canoscan 2700F, mit den Einstellungen: Colorgear off, 370x280 Pixel und True Color eingescannt.

### 4.3. Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden unter der in 4.2.2. und 4.2.3. dargestellten Methode standardisiert durchgeführt. Es wurden jeweils vier Zahnbürsten der untersuchten vier, Oral-B P40, Oral-B Advantage, blend-a-dent professionell und Colgate Total Professionell verwendet.

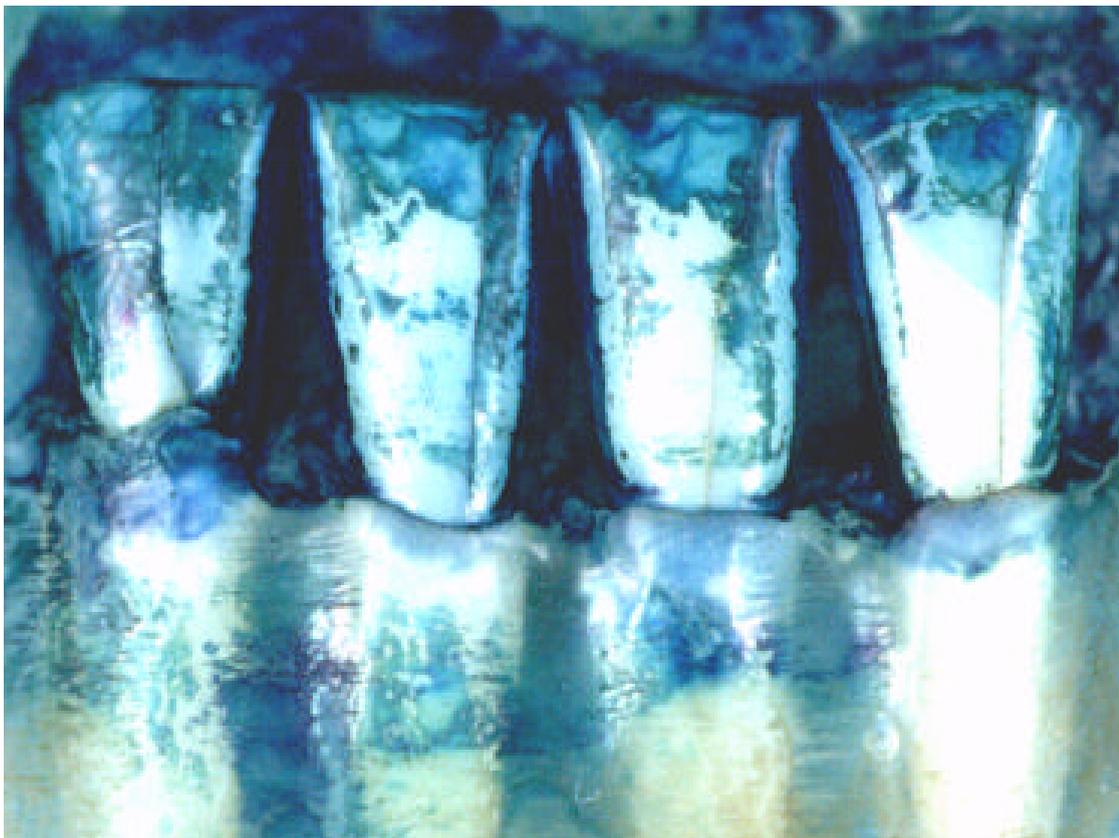


Abb. 4.26.: Zähne gebürstet (hier: Oral-B P40).

#### **4.4. Auswertung**

Die Scans wurden mit dem Programm Corpus ausgewertet. Corpus (**C**omputer-unterstützte **B**erechnung von **P**laque und **S**chmelz) wurde von dem Fraunhofer – Institut für Graphische Datenverarbeitung, Darmstadt, entwickelt und geprüft (S. GROßKOPF et al. 1997).

Damit Corpus die Bilder lesen kann, ist es wichtig, dass das Verhältnis Breite zu Höhe 370 zu 280 beträgt und als Format „\*.tif“ gewählt wird. In das Zielverzeichnis gelangt man unter: D:\users\corpus

Über den Menüpunkt „Bild laden“ wird das gewünschte Bild im linken oberen Fenster sichtbar. Jetzt wird der gewünschte Zahn mit mehreren Punkten im Umriss markiert (im oder gegen den Uhrzeigersinn). Corpus errechnet aus diesen Punkten die Zahnform und damit den Abschnitt des Bildes, in dem die Plaque und Glanzgröße ermittelt werden sollen. Nun erhält man ein Schwarzweißbild, in dem die errechnete Fläche farbig hervortritt. In dieser Fläche markiert man die Plaque, dies erfolgt solange, bis nur noch unbedeckter Zahn übrig bleibt. Die Ergebnisse (mit Hilfe der Diskriminantenanalyse – bestmögliche Zerlegung des Farbbildes in Farbbereiche - errechnet) können sofort in Form von Plaque- und Glanzgröße als Prozentangaben (bezogen auf die Fläche des Zahnes) abgelesen werden.

#### **4.5. Statistik**

Entsprechend dem orientierenden Charakter der Untersuchung wurde das Signifikanzniveau auf  $\alpha=5\%$  festgesetzt.

Zur Sicherung von Unterschieden von mehr als zwei Gruppen wurde die Varianzanalyse (AOV) benutzt. Zur Sicherung der Kontraste zwischen den Gruppen wurde als Post-Hoc-Test der sogenannte LSD-Test (Least Significance Difference) durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mit SPSS.

## 5. Ergebnisse

Das Programm Corpus (computerunterstützte Berechnung von Plaque und Schmelz) ermittelte aus den Eingaben eine Plaquegröße in Prozent.

Die Ergebnisse der Versuche wurden statistisch mit SPSS/PC auf einem Signifikanzniveau von 5% ausgewertet.

### Legende:

N.....Stichprobenumfang

Mean.....Mittelwert

SD.....Standardabweichung

Median.....Median

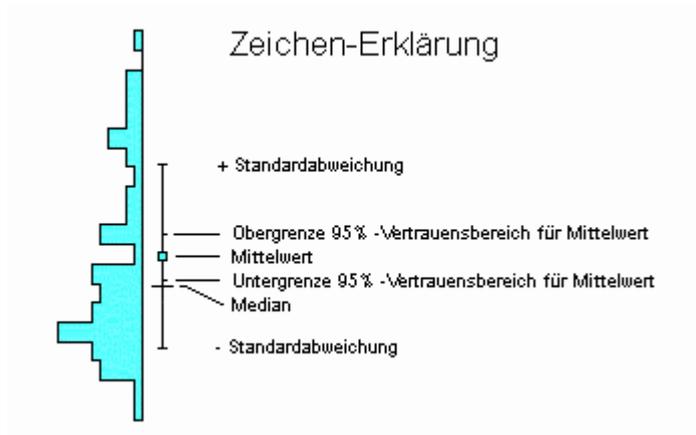
Gauss.....Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Gauss'sche Normalverteilung

LSD-Class.....Post-Hoc-Test (Least Significance Difference) auf Kontraste ( $p=0.05$ )

Groups.....Gruppenname (ev. mit \_Untergruppierung )

Das Ergebnis des t-Tests beim Vergleich von nur 2 Gruppen (=  $p(t)$  ) bzw. das Ergebnis der Varianz-Analyse (=  $p(AOV)$  ) beim Vergleich von mehr als 2 Gruppen ist unterhalb des Variablenamen angegeben

Der LSD-Test (ein sog. Post-Hoc-Test auf Kontraste) teilt alle Gruppen in gewisse Gruppen-Klassen (Cluster) ein (z.B. A oder B oder C) deren Mitglieder sich untereinander auf dem 5%-Niveau nicht voneinander trennen lassen . Die Gruppen in der Klasse A unterscheiden sich aber von denen in der Klasse B, sie bilden einen Kontrast auf dem 5%-Niveau.



## Plaquewerte

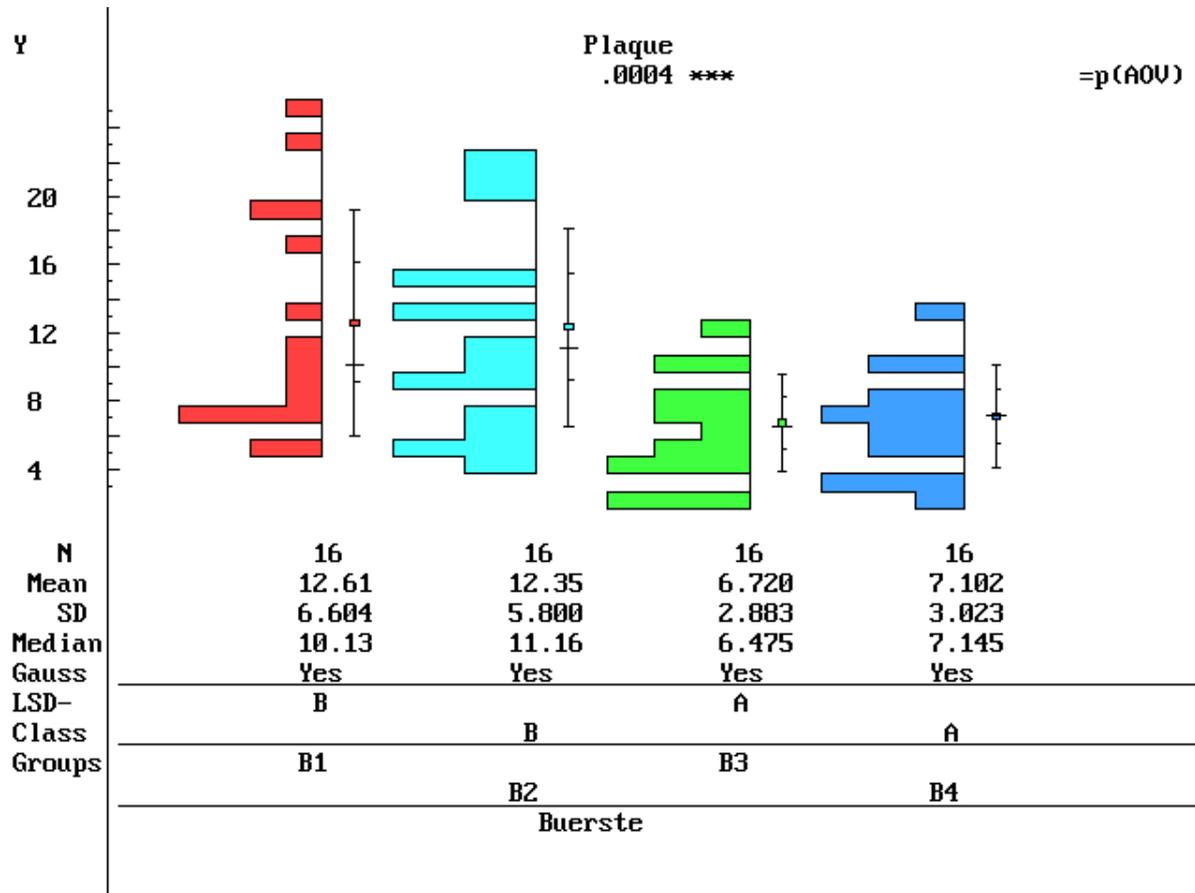


Abb. 5.1.: Graphische Darstellung der Plaquewerte aller vier Bürsten. B1=Oral-B P40, B2=Oral-B Advantage, B3=blend-a-dent professional interdental, B4=Colgate Total Professional.

Die Oral-B P40 und die Oral-B Advantage Zahnbürsten zeigen signifikant höhere Plaquewerte im Vergleich zu den Zahnbürsten blend-a-dent professional interdental und Colgate Total Professional. Zwischen der Oral-B P40 und der Oral-B Advantage Bürste gibt es keinen signifikanten Unterschied, ebensowenig zwischen der blend-a-dent professional interdental und der Colgate Total Professional.

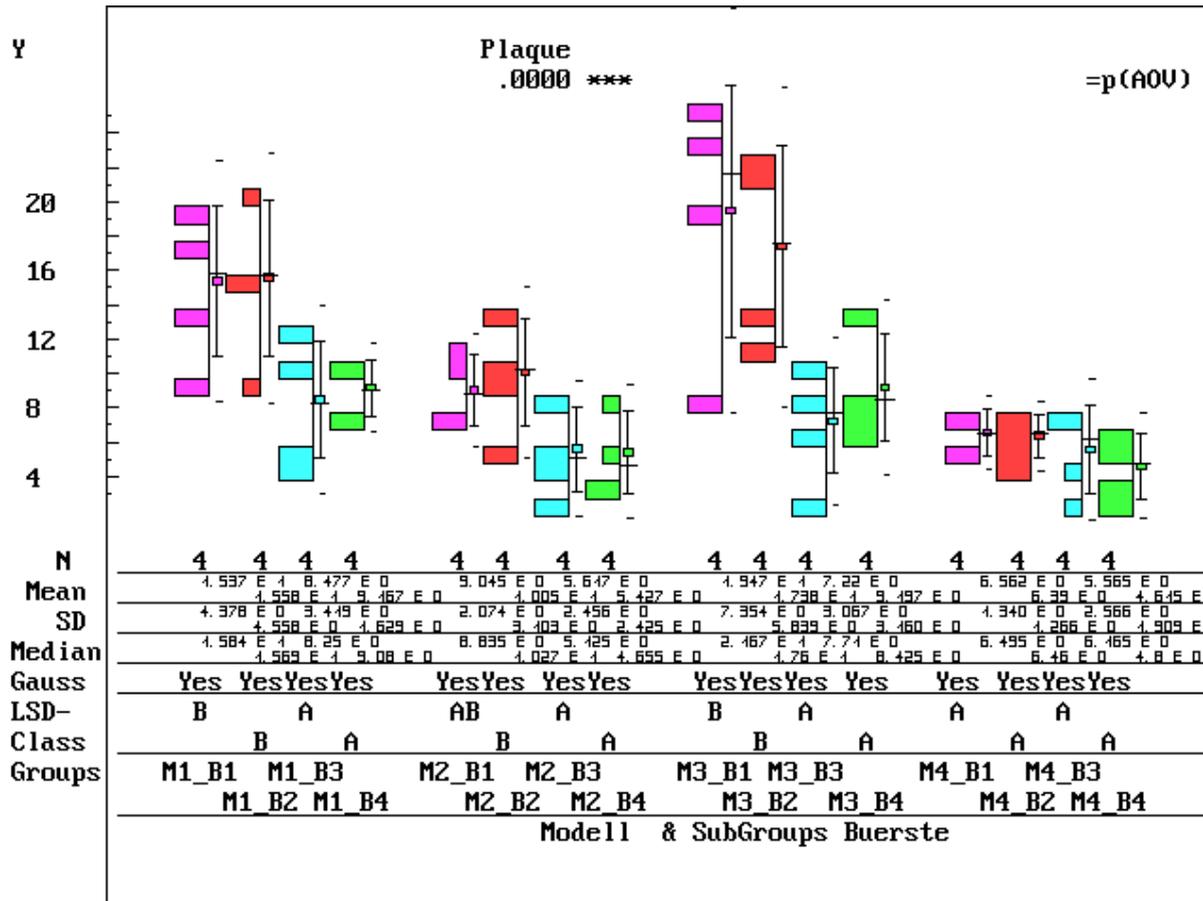


Abb. 5.2: Hier sind die einzelnen Plaquewerte der Bürsten (B1-B4) an den vier Modellen (M1-M4) graphisch aufgeschlüsselt.

Bei der Untersuchung der Modelle auf die Signifikanz hin zeigt sich, dass es auch hier signifikante Unterschiede gibt: Modell 1 zu Modell 2, Modell 1 zu Modell 4, Modell 2 zu Modell 3 und Modell 3 zu Modell 4 unterscheiden sich jeweils signifikant bezüglich der Plaquewerte. Allerdings ist hier die Fallzahl sehr gering.

## 6. Diskussion

### 6.1. Material und Methode

#### 6.1.1. Verwendete Bürsten

Die vier verwendeten Bürsten stellen eine Auswahl von sehr unterschiedlichen Konzepten in der Gestaltung des Bürstenkopfes einer Zahnbürste dar. Da die Bürsten bereits in anderen Publikationen auf ihre Fähigkeit, den Approximalraum zu reinigen, untersucht wurden, lag es nahe, sie unter veränderten bzw. verbesserten Bedingungen erneut zu verwenden, um die Ergebnisse mit den anderen Studien vergleichen zu können.

- Die Oral-B P40 als Vertreterin einer etablierten Zahnbürste mit planem Borstenfeld.
- Die Oral-B Advantage, als Weiterentwicklung mit veränderter Borstenstruktur und längeren äußeren Borsten zur besseren Reinigung des Sulkus.
- Die Colgate Total Professional soll, wie auch die blend-a-dent professional interdental, den approximalen Bereich und den Sulkus, ungeachtet der verwendeten Putztechnik, besser reinigen.

#### 6.1.2. Die Modellentwicklung

Die von NYGAARD-ØSTBY et al. (1979) verwendeten Zähne bestanden aus aneinandergereihten zylinderförmigen Blöcken. Dies stellt eine starke Vereinfachung dar, die Zahnwölbung wird nur unzureichend wiedergegeben, der charak-

teristische dreieckförmige Raum wird gar nicht nachempfunden. RAWLS et al. (1993) und VOLPENHEIN et al. (1994) verwendeten Modellzähne, dies entsprach der natürlichen Situation wesentlich mehr. In der aktuellen Studie wurden nun natürliche Zähne verwendet, damit die Oberflächenbeschaffenheit der *in vivo* am nächsten kommt.

Als Verbesserung könnte man das Modell so modifizieren, dass die Zähne einzeln im Modell verschraubt sind, so wäre der Approximalraum zur Auswertung besser zu beurteilen.

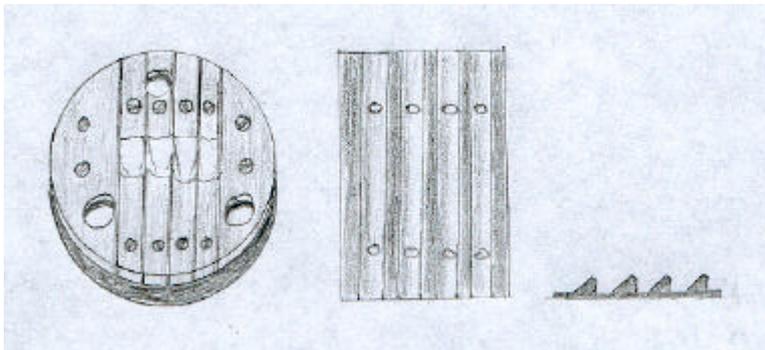


Abb. 6.1.: Links: Zerlegbares Modell, Mitte: Montageblock zur standardisierten Photographie von oben, Rechts: Montageblock von vorne.

Auch könnte man mit einem CAD/CAM Verfahren natürliche Fehlstellungen aufzeichnen und danach ein Keramikmodell herstellen. Damit könnte man schwierige Situationen am realitätsnächsten, abgesehen von der Materialoberfläche, darstellen.

### 6.1.3. Verwendete Färbung/ Belagbildung (Stain)

NYGAARD-ØSTBY misst nur die Berührung der approximalen Fläche mit Hilfe druckempfindlichen Papierses, ohne Belag zu verwenden. Dies zeigt nicht, ob die penetrierende Borste auch wirklich in der Lage ist, an dieser Stelle die Plaque auch zu entfernen. Da eine Zahnbürste jedoch nicht nur die Plaque erreichen

sondern diese auch entfernen soll ist es wichtig, diese auch in vitro zu simulieren, es würde ein entscheidender klinischer Parameter fehlen.

In-vitro-Plaquemodelle können wegen der großen natürlichen Bandbreite nur eingeschränkt und ziemlich simplifizierend sein. Die Plaque darf auch nicht mit dem verwendeten Abrasivmedium chemisch interagieren, da die mechanische Reinigung der Bürste bewertet wird.

Als Belag wurde Tee gewählt, da er einfach standardisiert zu erzeugen ist und wegen seiner Hartnäckigkeit höchste Anforderungen an das verwendete Material stellt.

Angefärbt wurde der Teebelag zum ersten Mal in einer Untersuchung mit Methylblau, da das für die Auswertung verwendete Programm Corpus hier stabilere Klassifikationsergebnisse erzielt. Hier wurde eine Penetration der Farbpartikel sowohl von der Teelösung als auch der Methylblaulösung in Sprünge der natürlichen Zähne beobachtet, hier wäre die homogene Oberfläche z.B. einer Keramik besser.

#### 6.1.4. Computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine

Die in dieser Studie optimierte und zum ersten Mal für eine In-vitro-Untersuchung verschiedener Zahnbürstendesigns verwendete 2-Achsen-Zahnbürstmaschine bietet ein großes Anwendungsspektrum.

Dank der speziell entwickelten Software kann die Anzahl der Bürstzyklen, Art der Bürstbewegung, Länge der Bürststrecke und die Geschwindigkeit der Zahnbürsten sowie die Häufigkeit von Referenzfahrten individuell eingestellt werden. Die Auflagekraft der Bürstenborsten auf die Oberfläche der Zahnmodelle lässt sich durch Austausch der Messinggewichte auf den Führungsstäben problemlos variieren.

Da sich die Zahnmodelle in Schalen befinden, können die Versuche auch mit Flüssigkeiten, simuliertem Speichel oder Zahnpasten, durchgeführt werden.

Es können so verschiedenartige Zahnbürsten bei unterschiedlichen zweidimensionalen Bürstbewegungsarten, Bürstbewegungsgeschwindigkeiten und Auflagedrücken miteinander verglichen werden.

Sie bietet somit alle Funktionen, die für eine In-vitro-Studie absolut notwendig sind.

Allerdings ist die Beweglichkeit mit zwei Achsen insoweit eingeschränkt, als nicht alle komplexen Bewegungsmuster der natürlichen Hand-Arm-Einheit simuliert werden können. Auch sind die im natürlichen System vorhandenen Lastvariationen nicht möglich. Da die meisten Patienten eine sehr vereinfachte, nämlich eine schnelle horizontale Schrubbbewegung als „Putztechnik“ haben, ist diese 2-Achsen-Zahnbürstmaschine sehr gut geeignet und bietet somit ein ideales Verhältnis von Kosten, Nutzen und Aufwand.

#### 6.1.5. Anfertigung von Dias

Dias sind eine kostengünstige Art, Bilder mit hoher Auflösung herzustellen, mittlerweile wäre auch die Verwendung digitaler Fotografie denkbar. Auf die Belichtung muss ein besonderes Augenmerk gelegt werden, damit sie reproduzierbar ist und keine Artefakte für die spätere Auswertung verursacht (Lichtwanne/ Blitz, Ringblitz/ Lateralblitz,...).

### 6.1.6. Versuchsdurchführung

Da von den meisten Menschen die Zähne mit einer horizontalen Schrubbbewegung gereinigt werden, wurde auch dieses Bewegungsmuster gewählt. Mit 20 mm wurde die Bewegungsamplitude festgelegt. Dies entspricht dem von VOLPENHEIN (1994) in einer In-vivo-Studie dargelegten Wert. Dieser Wert ist von Bedeutung, weil verschiedene Studien belegen, dass die Eindringtiefe am Umkehrpunkt der Bürstbewegung am größten ist. Die Geschwindigkeit wurde willkürlich festgelegt. Zur Geschwindigkeit sollten noch klinische Untersuchungen angestrengt werden, da dieser Wert großen Einfluss auf die Eindringtiefe hat: Je schneller gebürstet wird, desto weniger Zeit haben die Borsten in den Approximalraum zu gelangen, sie fliegen förmlich darüber hinweg. Da das Anwinkeln der Zahnbürste vom Anwender weitgehend keine Beachtung findet, wurden die Borsten im 90° Winkel zur Zahnoberfläche angesetzt (bei der Colgate Total die mittleren Borsten). Mit 30 Bewegungszügen wurde die Anzahl bewusst hoch angesetzt, sie hat keinen Einfluss auf die Eindringtiefe, verbessert aber das Reinigungsergebnis erheblich. So wird die Grenze, die von der Bürste noch erreicht wird, gut sichtbar. Das Auflagegewicht ist mit 104 g an der unteren Grenze der bis jetzt durchgeführten Studien gesetzt worden, um die Unterschiede der Bürsten deutlicher herauszuarbeiten und da bei höherem Druck die Reinigungswirkung zwar steigt, aber die schädlichen Effekte auf Zahnfleisch und Dentin zunehmen.

### 6.1.7. Auswertung

Corpus war ein Plaquegrößen-Messprogramm erster Wahl da es auch für die klinische Anwendung entwickelt wurde. So kann man In-vitro-Studienergebnisse direkt mit klinischen Daten vergleichen.

Das Programm nimmt die Klassifikation anhand charakteristischer Merkmale der Plaque vor. Die Plaque zeichnet sich besonders durch ihren vom Zahn abweichenden Farbton aus, Helligkeit und Farbsättigung spielen nur eine untergeordnete Rolle und sind im wesentlichen von den Aufnahmebedingungen abhängig. Daher wird das Merkmal „Farbton“ als Grundlage der Klassifikation verwendet. Danach werden mit Hilfe der Diskriminantenanalyse die berechneten Histogramme in Klassen zerlegt. Jetzt wird interaktiv mit dem Benutzer eine Plaqueklassifikation durchgeführt, woraus die Größe des Plaquegebietes in Prozent, bezogen auf die Fläche des Zahnes, berechnet wird. (S. GROßKOPF et al. 1997)

## 6.2. Ergebnisse

Die Oral-B P40 soll man laut Literatur, bei nicht parodontal geschädigtem Gebiss, mit der modifizierten Bass-Technik verwenden. Bei dieser Technik werden die Borsten der Zahnbürste auf Zahn und Gingiva gleichzeitig in einem Winkel von  $45^\circ$  aufgesetzt. Unter gleichmäßigem Druck werden dabei kurze, vibrierende Bewegungen der Borsten durchgeführt. Dabei dringen die Borsten in den Approximalraum und in den Sulkus ein und lösen die Plaque vom Zahn. Mit einer Drehbewegung der Borsten nach koronal wird die gelöste Plaque ausgewischt. Dieser Vorgang wird an derselben Stelle mehrmals wiederholt. Diese Technik fordert vom Patienten ein hohes Maß an Geschicklichkeit, und wie verschiedene Studien gezeigt haben, kehren die meisten Menschen selbst nach ausführlicher Unterweisung zu ihrer gewohnten, überwiegend horizontalen Schrubbtechnik zurück.

Dieses Design reinigt bei einem Auflegewinkel der Borsten von  $90^\circ$  bei einer ausschließlichen horizontalen Bürstbewegung den Approximalraum nur ungenügend. Die Borsten stützen sich an den Zähnen ab und rutschen nicht zwischen die Zähne, dies bekräftigen auch die Studien von YANKELL und VOLPENHEIN. Anders verhält sich das Reinigungsverhalten bei  $45^\circ$ : die Borsten folgen harmonisch der Zahnkontur und reinigen zusätzlich mit den Seiten der Borsten. So erhielt RAWLS auch gute Ergebnisse mit dem flachen Design, er berücksichtigt aber nicht die Gewohnheiten der Patienten.

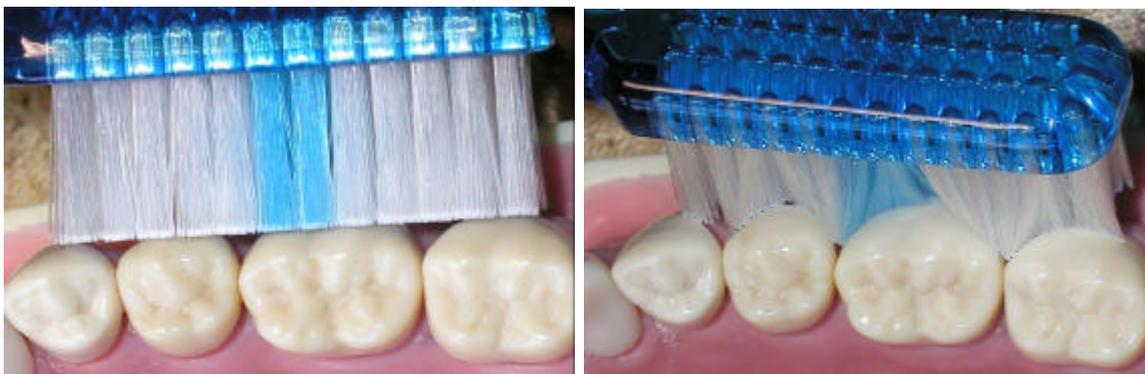


Abb. 6.2.: Oral-B P40 links  $90^\circ$  und rechts  $45^\circ$

Ähnlich verhält es sich mit dem schlechten Abschneiden der Oral-B Advantage. Die Filamente stehen bei 90° sehr eng und blockieren sich gegenseitig. Auch diese Bürste verlangt vom Anwender eine Bürsttechnik. Für den approximalen Zugang bei horizontaler Bewegung und 90° ist somit das Profil und der Abstand der Borsten in der Länge entscheidend. Auch bei VOLPENHEIN hat die Oral-B Advantage schlechtere Werte im Bezug auf den approximalen Zugang als Crest Complete und Colgate Total. Die vom Hersteller versprochene bessere Reinigung des Sulkus und der endständigen Molaren wurde in dieser Studie nicht untersucht.



Abb. 6.3.: Oral-B Advantage links 90° und rechts 45°

Da das Studiendesign sich nahezu an die Entwicklungsvorgaben der blend-a-dent professional und der Colgate Total hält (horizontale Bürstbewegung), ist auch deren gutes Abschneiden erklärbar. In den Abbildungen erkennt man, wie positiv sich das gewellte bzw. das gestufte Bürstendesign auf das Erreichen der Approximalflächen sogar bei 90° auswirkt. Auch der vergrößerte Borstenabstand, bei Colgate Total deutlicher, begünstigt dies. In der Studie von YANKELL war die proximale Reinigung der Colgate Total dem flachen Design überlegen. Bei VOLPENHEIN erreichte die blend-a-dent professional signifikant bessere Ergebnisse als Colgate Total, was an der unterschiedlichen Mo-

delloberfläche liegen kann. In dieser Studie war blend-a-dent professional besser als Colgate Total, wenn auch nicht signifikant.



Abb. 6.4: blend-a-dent professional links 90° und rechts 45°

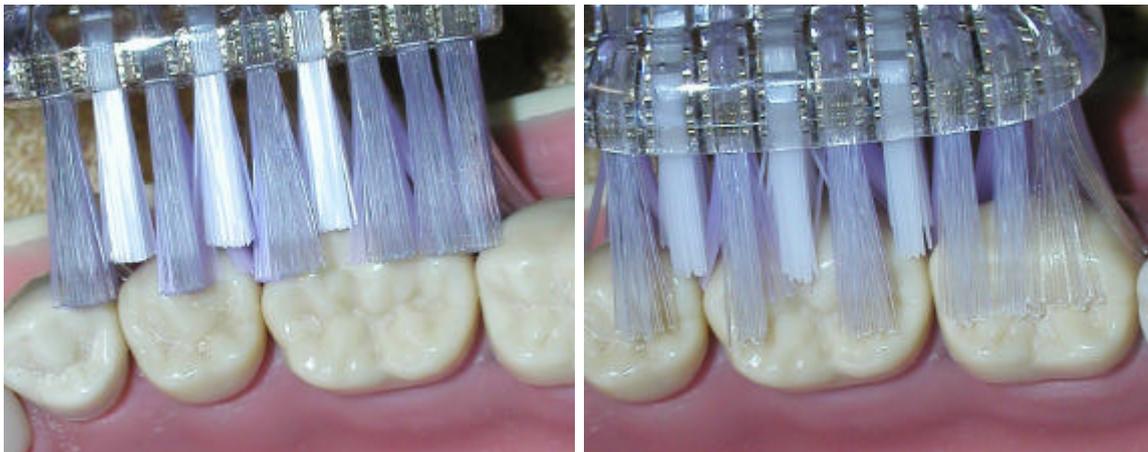


Abb. 6.5.: Colgate Total links 90° und rechts 45°



## 7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die approximale Reinigungswirkung von vier unterschiedlichen Zahnbürstendesigns untersucht. Es wurde das seit vielen Jahren gebräuchliche flache Design (Oral-B P40) gegen drei moderne Designs mit sehr unterschiedlichen Profilen, gewellt (blend-a-dent professional interdental), stufig/ gewinkelt (Colgate Total Professional) und modifizierten flachen (Oral-B Advantage), mit einem völlig neu konzipierten Versuchsaufbau getestet.

Es wurde zum ersten Mal ein Zahnmodell mit natürlichen Zähnen, um natürliche Oberflächeneigenschaften zu erhalten, für eine computergesteuerte 2-Achsen-Zahnbürstmaschine konstruiert. Damit die Reinigungswirkung beurteilt werden konnte, wurde zusätzlich ein Verfahren zur standardisierten Belagerzeugung entwickelt, welches hartnäckigen Teebelag erzeugt.

Der Bürstvorgang wurde mit einer standardisierten Slurry unter streng definierten Bedingungen durchgeführt.

Es wurden Dias angefertigt, eingescannt und mit dem neu entwickelten Programm zur computerunterstützten Berechnung von Plaque und Schmelz, Kurzbezeichnung Corpus, ausgewertet.

Die modernen Designs wurden entwickelt, um Unzulänglichkeiten der Putztechnik zu kompensieren. Im Studiendesign wurde deshalb auch die von den meisten Patienten angewandte horizontale Schrubbertechnik, Bürste wird im 90° Winkel zu Zahnoberfläche benutzt, verwendet.

In dieser Studie übertrafen die Bürsten mit gewelltem (blend-a-dent professional interdental) und mit stufenförmigem (Colgate Total Professional) Bürstendesign die Bürste mit flachem (Oral-B P40) und mit modifiziertem flachen (Oral-B Advantage) Bürstendesign in der Reinigungseffektivität der approximalen Flä-

chen. Die Borsten drängen wegen der profilierten Gestaltung und des größeren Abstandes zueinander leichter in die Zahnzwischenräume ein.

Dies stellt in der Literatur kein einstimmiges Ergebnis dar. So stellten YANKELL et al. (1993) und VOLPENHEIN et al. (1994) auch Vorteile des stufenförmigen und gewellten Bürstendesigns fest, RAWLS et. al. (1993) stellte jedoch das flache Design als besser dar. Bei genauer Betrachtung erkennt man, dass sich die Versuchsaufbauten in augenscheinlich wichtigen Versuchsparametern unterscheiden: verwendete Zahnmodelle, erzeugte Plaque, Bewegungsmuster etc.. So wurde auch in dieser Studie versucht, ein realitätsnäheres Modell zu entwerfen.

So ist es schwierig, die individuellen Parameter des komplexen Vorgangs Zähneputzen zu standardisieren. Die Zahnstellung, Plaquehartnäckigkeit, Einfluss der Zahnpaste und deren Verdünnung durch den Speichel während des Putzvorgangs, der zunehmende Verschleiß der Bürste, die eventuelle Schädigung der Weichgewebe sind nur einige Parameter, die eine klinische Studie sinnvoll erscheinen lassen.

Wenn es dem Patienten schwer fällt, eine aufwändige Putztechnik zu erlernen, was vor allem bei Kindern, retardierten oder unmotivierten Erwachsenen der Fall ist, wird mit den neuen Bürstendesigns eine bessere Plaqueentfernung bei angewandten Schrubbbewegungen erreicht.

## **8. Schlussfolgerung**

Da bei dem Versuchsaufbau sehr viele Variablen verändert werden können, Bürstbewegung, Bürstgeschwindigkeit, Auflagedruck, Winkel der eingespannten Zahnbürste, auch das Modell kann weiter verfeinert werden, ist der hier vorgestellte Aufbau zur Beurteilung des Zahnbürstenkopfdesigns hilfreich. Weiter könnte man durch eine größere Anzahl von Zahnmodellen auch mit Fehlstellungen aufgestellte Zähne und Versuchsparametervariationen die gewonnenen Erkenntnisse festigen und aufgezeigte Fragestellungen in weiteren Studien abklären.



## 9. Literaturverzeichnis

1. Absi E.G., Addy M., Adams D.: Dentin Hypersensitivity. The effects of toothbrushing and dietary compounds on dentine in vitro: An SEM study. *J Oral Rehab* 19, 101-110 (1992).
2. ADA American Dental Association: Acceptance Program Guidelines Toothbrushes. Council on Scientific Affairs (1998).
3. Addy M., Mostafa P., Newcombe R.: Dentine hypersensitivity: The ditribution of recession, sensitivity and plaque. *J Dent* 15, 242-247 (1987).
4. Addy M.: Etiology and clinical implications of dentine hypersensitivity. *Dent Clin N Amer* 34, 503 (1990).
5. Addy M.: Measuring success in toothbrush design – an opinion and debate of the concepts. *Int Dent J* 48 (Suppl 1), 509-518 (1998).
6. Bader H., Williams R.: Clinical and Laboratory Evaluation of Powered Electric Toothbrushes: Comparative Efficacy of Two Powered Brushing Instruments in Furcations and Interproximal Areas. *J Clin Dent* 8, 91-94 (1997).
7. Bader J.D., McClure F., Scurria M.S., Shugars D.A., Heymann H.O.: Case-control study of non-carious cervical lesions. *Community Dent Oral Epidemiol* 24, 286-291 (1996).

8. Balanyk T.E., Sharma N.C., Galustians J.: A Clinical Study of Comparative Plaque Removal Performance of Two Manual Toothbrushes. *J Clin Dent* 4 (Suppl D), D8-D12 (1993).
9. Barbakow F., Imfeld T., Lutz F., Stookey G., Schemehorn B.: Denti-nabrasions (RDA)-, Schmelzabrasions (REA)- und Politurwerte von Zahnpasten auf dem Schweizer Markt. *Oralprophylaxe* 12, 114-122 (1990).
10. Battista G.W., Petrone D.M.: Laboratory Evaluations of Interproximal Access of Two Differently Bristled Manual Toothbrushes. *J Clin Dent* 4, 85-87 (1993).
11. Beals D., Ngo T., Feng Y., Cook D., Grau D.G., Weber D.A.: Development and laboratory evaluation of a new toothbrush with a novel brush head design. *Am J Dent* 13, 5A-14A (2000).
12. Bergenholtz A., Gustafsson L.B., Segerlund N., Hagberg C., Nygaard-Østby P.: Role of brushing technique and toothbrush design in plaque removal. *Scand J Dent Res* 92, 344-351 (1984).
13. Bergström J., Lavstedt S. : An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol* 7, 57-64 (1979).
14. Bjorn H., Lindhe J.: On the mechanisms of toothbrushing. *Odont Rev* 17, 9-16 (1966).
15. Boyd R.L.: Clinical and Laboratory Evaluation of Powered Electric Toothbrushes: Review of the Literature. *J Clin Dent* 8, 67-71 (1997).

16. Boyd R.L., McLey L., Zahradnik R.: Clinical and Laboratory Evaluation of Powered Electric Toothbrushes: In Vivo Determination of Average Force for Use of Manual and Powered Toothbrushes. *J Clin Dent* 8, 72-75 (1997).
17. Chong M.P., Beech D.R.: Characteristics of toothbrushes. *Aust Dent J* 28, 202-211 (1983).
18. Claydon N., Addy M.: The use of planimetry to record and score the modified Navy index and other area-based plaque indices A comparative toothbrush study. *J Clin Periodontol* 22, 670-673 (1995).
19. Cronin M.J., Dembling W.Z., Low M-A.L., Jacobs D.M., Weber D.A.: A comparative clinical investigation of a novel toothbrush designed to enhance plaque removal efficacy. *Am J Dent* 13, 21A-26A (2000).
20. McDaniel T.F., Miller D.L., Jones R.M., Davis M.S., Russel C.M.: Effects of Toothbrush Design and Brushing Proficiency on Plaque Removal. *Compendium* 18, 572-577 (1997).
21. Deasy M.J., Singh S.M., Kemp J.H., Curtis J.P., Rustogi K.N., Fung K.: A Clinical Comparison of Plaque Removal Performance of Three Manual Toothbrushes. *J Clin Dent* 4 (Suppl D), D17-D21 (1993).
22. Dyer D., Addy M., Newcombe R.G.: Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *J Clin Periodontol* 27, 99-103 (2000).

23. Emling R.C. : Understanding Laboratory and Clinical Research : An Overview. *J Clin Dent* 6, 157-160 (1995).
24. Fanning E.A., Henning F.R.: Toothbrush design and its relation to oral health. *Aust Dent J* 12, 464-467 (1967).
25. Fleiss J.L., Kingman A.: Statistical Management of Data in Clinical Research. *Crit rev in Oral Biology and Medicine* 1, 55-66 (1990).
26. Frandsen A.: Mechanical Oral Hygiene Practices. In: *Dental Plaque Control Measures and Oral Hygiene Practices*, Löe H., Kleinman D.V. (Eds), IRL Press Ltd., Oxford, 93-116 (1986).
27. Galer-Flyte M.D.: Ergonomic design: the hidden persuader. *Int Dent J* 48, 501-508 (1998).
28. Gift H.C.: Current Utilization Patterns of Oral Hygiene Practices. In: *Dental Plaque Control Measures and Oral Hygiene Practices*, Löe H., Kleinman D.V. (Eds), IRL Press Ltd., Oxford, 39-71 (1986).
29. Großkopf S., Neugebauer P., Schumann H.: *Corpus – Benutzerhandbuch, Abschlußbericht*. Fraunhofer – Institut für Graphische Datenverarbeitung, Darmstadt (1997).
30. Grossman E., Cronin M., Dembling W., Proskin H.: A comparative clinical study of extrinsic tooth stain removal with two electric toothbrushes (Braun D7 and D9) and a manual brush. *Am J Dent* 9, 25-29 (1996).

31. Heasman P.A., Stacey F., Heasman L., Sellers P., Macgregor I.D.M., Kelly P.J.: A comparative study of the Philips HP 735, Braun/Oral B D7 and the Oral B 35 Advantage toothbrushes. *J Clin Periodontol* 26, 85-90 (1999).
32. Hefferen J.J.: A laboratory method for the assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res* 55, 563-573 (1976).
33. Hirschfeld I.: *The Toothbrush Its Use and Abuse*. Dental Items of Interest Publishing Co., Brooklyn, NY, 416-425 (1939).
34. Horowitz H.S.: Critique of Kingman's methods of projecting long-term relative efficacy of products exhibiting small short-term efficacy. *Am J Dent* 6, 51-54 (1993).
35. Imfeld T.: Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 104, 151-155 (1996).
36. Jepsen S.: The role of manual toothbrushes in effective plaque control: advantages and limitations of manual toothbrushes. In Lang N.P. (ed) *European Workshop on Mechanical Plaque Control*. Quintessence Switzerland (1998). (in press).
37. Khocht A., Spindel L., Person P.: A Comparative Clinical Study of the Safety and Efficacy of Three Toothbrushes. *J Periodontol* 63, 603-610 (1992).

38. Khocht A., Simon G., Person P., Denepitiya J.L.: Gingival recession in relation to history of hard toothbrush use. *J Periodontol* 64, 900-905 (1993).
39. Kunzelmann K.-H.: Med. Habilitationsschrift, Universität München (1995).
40. Lehmann K.M., Hellwig E.: Einführung in die restaurative Zahnheilkunde, München : Urban & Schwarzenberg, 1993, S.103.
41. McLey L., Boyd R.L., Sarker S.: Clinical and Laboratory Evaluation of Powered Electric Toothbrushes: Laboratory Determination of Relative Abrasion of Three Powered Toothbrushes. *J Clin Dent* 8, 76-80 (1997).
42. Loe H., Anerud A., Boysen H.: The natural history of periodontal disease in man: prevalence, severity and extent of gingival recession. *J Periodontol* 63, 489-495 (1992).
43. Lutz F., Imfeld T., Schüpbach P.: Prophylaxepasten – Das neue Abrasiv-Perlit im Vergleich zu konventionellen Putzkörpern. *Schweiz Mschr Zahnmed* 105, 30-39 (1995).
44. Mintel T.E., Crawford J.: The Search for a Superior Toothbrush Design Technology. *J Clin Dent Suppl C*, C1-C4 (1992).
45. Needleman I.G. : Oral hygiene. Today's view. *Int Dent J* 48, 495-500 (1998).

46. Nygaard-Østby P., Edvardsen S., Spydevold B. : Acces to interproximal tooth surfaces by different bristle designs and stiffness of toothbrushes. Scan J Dent Res 87, 424-430 (1979).
47. Nygaard-Østby P., Yankell S.L. : Evaluating the end-roundness of toothbrush filaments in laboratory and clinical studies. J Dent Res 60, 394 (1981).
48. Pretara-Spanedda P., Grossman E., Curro F.A., Generallo C.: Toothbrush bristle density: Relationship to plaque removal. Am J Dent 2, 345-348 (1989).
49. Rawls H.R., Lentz D.L., Cobb G.W., Bailey M.S., Spencer J., Williams D.A., Walley D., Vidra J. : Interproximal Penetration of Commercial Toothbrushes as Determined by Static and Dynamic Tests Using Recommended Brushing Techniques. J Clin Dent 4, 88-95 (1993).
50. Rawls H.R., Smith N.K., Lentz D.L., Cobb G.W., Bailey M.S.: An Electron Microscopic Comparison of Bristle End-Rounding of Three Commercial Toothbrushes. J Clin Dent 4, 96-100 (1993).
51. Reardon R.C., Cronin M., Balbo F., Schiff T., Menaker L., Weatherford T.W., Walley D., Vidra J., Zib K.: Four Clinical Studies Comparing the Efficacy of Flat-Trim and Multi-Level Trim Commercial Toothbrushes. J Clin Dent 4, 101-105 (1993).
52. Rustogi K.N., Curtis J.P., Volpe A.R., Kemp J.H., McCool J.J., Korn L.R. : Refinement of the Modified Navy Plaque Index to Increase Plaque

Scoring Efficiency in Gumline and Interproximal Tooth Areas. *J Clin Dent Suppl C*, C9-C12 (1992).

53. Sarker S., McLey L., Boyd R.L.: Clinical and Laboratory Evaluation of Powered Electric Toothbrushes: Laboratory Determination of Relative Interproximal Cleaning Efficiency of Four Powered Toothbrushes. *J Clin Dent* 8, 81-85 (1997).
54. Savill G., Grigor J., Huntingdon E., Jackson R., Lynch E.: Toothbrush design: adapting for the future. *Int Dent J* 48 (Suppl 1), 519-525 (1998).
55. Serino G., Wennstrom J., Lindhe J., Eneroth L.: The prevalence and distribution of gingival recession in subjects with a high standard of oral hygiene. *J Clin Periodontol* 21, 57-63 (1994).
56. Scholz V. : Der Zahnhals – Locus minoris resistentiae. *Dental Magazin* 3, 88-106 (1996).
57. Sharma N.C., Rustogi K.N., Korn L.R., Petrone D.: Comparative Plaque Removal Efficacy of Three Toothbrushes in Two Independent Clinical Studies. *J Clin Dent Suppl C*, C13-C20 (1992).
58. Sharma N.C., Galustians J., McCool J.J., Rustogi K.N., Volpe A.R.: The Clinical Effects on Plaque and Gingivitis Over Three-Month's Use of Four Complex-Design Manual Toothbrushes. *J Clin Dent* 5, 114-118 (1994).

59. Sharma N.C., Qaqish J.G., Galustians H.J., King D.W., Low M-A.L., Jakobs D.M., Weber D.A. : An advanced toothbrush with improved plaque removal efficacy. *Am J Dent* 13, 15A-19A (2000).
60. Sharma N.C., Qaqish J.G., Galustians H.J., King D.W., Low M-A.L., Jacobs D.M., Weber D.A.: A 3-month comparative investigation of the safety and efficacy of a new toothbrush: Results from two independent clinical studies. *Am J Dent* 13, 27A-32A (2000).
61. Silverstone L.M., Featherstone M.J.: A scanning electron microscope study of the end rounding of bristles in eight toothbrush types. *Quintessence Int* 19, 87-107 (1988).
62. Singh S.M., Rustogi K.N., Korn L.R., Petrone D. : Clinical Studies Regarding the Plaque Removal Efficacy of Manual Toothbrushes. *J Clin Dent Suppl C*, C21-C28 (1992).
63. Singh S.M., Deasy M.J. : Clinical Plaque Removal Performance of Two manual Toothbrushes. *J Clin Dent* 4 (Suppl D), D13-D16 (1993).
64. Smith B.G.N., Robb N.D. : The prevalence of toothwear in 1007 dental patients. *J Oral Rehabilitation* 23, 232-239 (1996).
65. Volpe A.R., Emling R.C., Yankell S.L.: The Toothbrush – A New Dimension in Design, Engineering, and Clinical Evaluation. *J Clin Dent Suppl C*, C29-C33 (1992).

66. Volpenhein D.W., Walsh M.D., Dellermann P.A., Burkett T.A. : A new method for in vitro evaluation of the interproximal penetration of manual toothbrushes. *J Clin Dent* 5, 27-33 (1994).
67. Volpenhein D.W., Handel S.E., Hughes T.J., Wild J. : A Comparative Evaluation of the In Vitro Penetration Performance of the Improved Crest Complete Toothbrush versus the Current Crest Complete Toothbrush, the Colgate Precision Toothbrush and the Oral-B P40 Toothbrush. *J Clin Dent* 7, 13-17 (1996).
68. Volpenhein D.W., Hartman W.L.: A Comparative Evaluation of the In Vitro Penetration Performance of the Improved Crest Complete Toothbrush versus the Colgate Total Toothbrush and the Oral-B Advantage Toothbrush. *J Clin Dent* 7, 101-105 (1996).
69. Yankell S.L., Emling R., Flickinger K.: Patient perception of brushing time compared to actual care. *J Dent Res* 60, 619 (1981).
70. Yankell S.L., Nygaard-Østby P.: Evaluating cleaning efficiency of different toothbrush designs and textures. *J Soc Cosmet Chem* 34, 151-157 (1983).
71. Yankell S.L., Green P.A., Greco P.M., Stoller N.H., Miller M.F.: Test Procedures and Scoring Criteria to Evaluate Toothbrush Effectiveness. *Clin Prev Dent* 6, 3-8 (1984).
72. Yankell S.L., Shi X., Emling R.C.: Comparative Laboratory Evaluation of Three Toothbrushes Regarding Interproximal Access Efficacy. *J Clin Dent Suppl C*, C5-C8 (1992).

73. Yankell S.L., Shi X., Emling R.C.: Laboratory Interproximal Access Efficacy Comparison of a Rippled Bristles Toothbrush and a Flat Manual Toothbrush. *J Clin Dent* 4, 82-84 (1993).
74. Yankell S.L., Shi X., Emling R.C.: Comparative laboratory evaluation of two new toothbrushes regarding interproximal access efficacy. *J Clin Dent* 4, D1-D7 (1993).
75. Yankell S.L., Emling R.C.: A Study of Gingival Irritation and Plaque Removal Following a Three-Minute Toothbrushing. *J Clin Dent* 5, 1-4 (1994).
76. Yankell S.L.: University Research. *J Clin Dent* 6, 161-164 (1995).
77. Yankell S.L., Emling R.C., Shi X.: Interproximal Access Efficacy of Sonicare Plus and Braun Oral-B Ultra Compared to a Manual Toothbrush. *J Clin Dent* 8, 26-29 (1997).
78. Yankell S.L., Shi X., Emling R.C., Bosma M.L., Camargo P.M.: Laboratory Interproximal Access Efficacy of Two Toothbrushes with Cross-Angulated Bristling. *J Clin Dent* 11, 60-62 (2000).



## 10. Tabellarischer Anhang

### Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: PLAQUE

LSD

(I) BUESTE	(J) BUESTE	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	,2619	1,2543	,835	-2,2600	2,7837
	3	5,8938*	1,2543	,000	3,3719	8,4156
	4	5,5119*	1,2543	,000	2,9900	8,0337
2	1	-,2619	1,2543	,835	-2,7837	2,2600
	3	5,6319*	1,2543	,000	3,1100	8,1537
	4	5,2500*	1,2543	,000	2,7281	7,7719
3	1	-5,8938*	1,2543	,000	-8,4156	-3,3719
	2	-5,6319*	1,2543	,000	-8,1537	-3,1100
	4	-,3819	1,2543	,762	-2,9037	2,1400
4	1	-5,5119*	1,2543	,000	-8,0337	-2,9900
	2	-5,2500*	1,2543	,000	-7,7719	-2,7281
	3	,3819	1,2543	,762	-2,1400	2,9037

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

\*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Tab. 11.1: Bürste/ Plaque

### Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: PLAQUE

LSD

(I) MODELL	(J) MODELL	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	4,6150*	1,2543	,001	2,0931	7,1369
	3	-1,1675	1,2543	,357	-3,6894	1,3544
	4	6,3675*	1,2543	,000	3,8456	8,8894
2	1	-4,6150*	1,2543	,001	-7,1369	-2,0931
	3	-5,7825*	1,2543	,000	-8,3044	-3,2606
	4	1,7525	1,2543	,169	-,7694	4,2744
3	1	1,1675	1,2543	,357	-1,3544	3,6894
	2	5,7825*	1,2543	,000	3,2606	8,3044
	4	7,5350*	1,2543	,000	5,0131	10,0569
4	1	-6,3675*	1,2543	,000	-8,8894	-3,8456
	2	-1,7525	1,2543	,169	-4,2744	,7694
	3	-7,5350*	1,2543	,000	-10,0569	-5,0131

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

\*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Tab. 11.2.: Modell/ Plaque

## Betriebsanleitung der Zahnbürstmaschine

1. Anschlüsse kontrollieren
2. Rechner und Bildschirm einschalten
3. Systemsteuerung einschalten (schwarzer Kippschalter befindet sich auf der Rückseite des Geräts)
4. Rechner auf „Buersten“ konfigurieren
5. Starten des Bürstprogramms mit C:\TP\ISEL\SIMZAHN
6. Drücken der Clear-Taste (befindet sich auf der Vorderseite der Systemsteuerung unterhalb des roten Lämpchens)
7. Bürstbewegungsart durch Drücken des gewünschten Buchstaben (**A-H**) auswählen
8. Anzahl der Bürstzyklen pro Bürstintervall einstellen:
  - 8.1. Drücken von **Space** oder **F5**
  - 8.2. Gewünschte Zyklenzahl eingeben
  - 8.3. Bestätigen mit **Enter**
9. Zeitpunkt der Referenzfahrt ändern:
  - 9.1. Drücken von **F1**
  - 9.2. Drücken von **F6**
  - 9.3. Gewünschte Zahl eingeben

9.4. Bestätigen mit **Enter**

9.5. Drücken von **F10**

10. Bürstvorgang starten mit **F8** oder **Enter**

11. Zahnbürsten mit Hilfe der Flügelmuttern per Hand auf Modelloberfläche justieren

12. Justierte Zahnbürstenposition mit **Enter** bestätigen, gewähltes Bürstintervall wird dadurch gestartet (**sollte der Bürstzyklus mit Schrittverlusten beginnen, Abbruch mit Esc und Bürstintervall mit F8 oder Enter neu starten**)

**13. Bürstvorgang kann jederzeit mit Esc abgebrochen werden !!**

14. Programm beenden mit **Esc**

15. Rechner, Bildschirm und Systemsteuerung ausschalten

## **Danksagung**

Besonders danke ich Prof. Dr. K.-H. Kunzelmann für die Überlassung des interessanten Themas sowie die intensive Unterstützung bei der Lösung der verschiedenen wissenschaftlichen Probleme und fachlichen Beratung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. R. Hickel danke ich insbesondere dafür, dass er es mir ermöglichte, diese Studie an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie durchzuführen.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Dr. D. von Dreusche für das zur Verfügung gestellte Programm Corpus bedanken.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Dipl.-Phys. Dr. G. Hamm für die Beratung bei der Statistik.

Herrn Dipl.-Ing. (FH) Th. Obermeier danke ich für seine Ratschläge bei der Bildverarbeitung.

## **Lebenslauf**

Am 7. Mai 1974 wurde ich als Sohn des Ehepaares Michael und Theresia Setzwein in Pfaffenhofen/ Ilm geboren.

Von 1980 bis 1984 besuchte ich die Grundschule in Scheyern, anschließend das Schyren-Gymnasium in Pfaffenhofen/ Ilm und legte dort das Abitur im Juli 1994 ab.

Im Oktober 1994 immatrikulierte ich mich an der Ludwig-Maximilians-Universität in München im Studienfach Zahnheilkunde. Der naturwissenschaftlichen Vorprüfung habe ich mich im Oktober 1995, der zahnärztlichen Vorprüfung im Oktober 1997 und der zahnärztlichen Prüfung von März bis Juli 2000 unterzogen. Die Approbation erfolgte im August 2000.