

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Poliklinik für Zahnerhaltung des  
Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott)

---

**Studie zur standardisierten Analyse der  
Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten**

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur  
Erlangung des doctor medicinae dentium  
der Medizinischen Fakultät der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von  
Baldys, Lukas Alexander  
aus Swietochlowice (Polen)

**2007**

Gedruckt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. V. Arolt  
1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott  
2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. L. Figgenger  
Tag der mündlichen Prüfung: 28.08.07

**Aus dem Universitätsklinikum Münster**  
**Poliklinik für Zahnerhaltung des**  
**Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde**

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. dent. K. H. R. Ott

Koreferent: Univ.-Prof. Dr. Dr. L. Figgener

## **Zusammenfassung**

### **Studie zur standardisierten Analyse der Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten**

Lukas Baldys

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist es, an einem hierfür entwickelten Arbeitsplatz die Putzleistung von elektrischen Zahnbürsten zu überprüfen. An einem Phantommodell wurden vier elektrische Zahnbürsten bezüglich ihrer Putzleistung unter standardisierten und reproduzierbaren Bedingungen miteinander verglichen. Dazu wurde das Phantommodell mit einem Plaqueersatzmittel beschichtet und nach dem Putzvorgang fotografiert. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe einer Bildverarbeitungssoftware.

Im vorliegenden Versuchsaufbau konnten zahlreiche Parameter des komplexen Bewegungsmusters der Zahnreinigung im Vergleich zu einer In-vivo-Untersuchung reproduzierbar standardisiert werden. Somit war es möglich, die Ausrichtung des Bürstenkopfs, die Zahnstellung, die künstliche Plaque, die Zahnpasta und die Putzzeit konstant zu halten.

Für die Versuche wurden ein Phantommodell, das Zahnfehlstellungen und Gingivarezessionen aufweist, und ein Greifsatz für die elektrischen Zahnbürsten konstruiert. Es wurde ein Programm für die Umsetzung des Putzvorgangs am Roboter entwickelt. Der Arbeitsplatz ermöglicht es, die Putzleistung von elektrischen Zahnbürsten standardisiert zu vergleichen.

Insgesamt wurden in 120 Meßreihen 480 Ausschnittsvergrößerungen erstellt und analysiert. Alle vier getesteten Bürsten entfernten jeweils 90 % der Beläge. Die „Professional Care“ von Oral B®, eine Zahnbürste mit einem rotierend-oszillierenden Borstenfeld, erzielte die besten Ergebnisse.

Tag der mündlichen Prüfung: 28.08.07

**Diese Dissertation ist meiner Familie gewidmet.**

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung .....	8
2	Literaturübersicht .....	10
2.1	Plaque .....	10
2.1.1	Plaqueersatzmittel .....	11
2.2	Entwicklung der Mundhygiene .....	13
2.3	Gingivarezessionen .....	15
2.4	Elektrische Zahnbürsten .....	17
2.4.1	In-vitro-Untersuchungen von elektrischen Zahnbürsten.....	20
2.4.2	Borsten der Zahnbürste .....	21
2.5	Zahnputzdauer .....	22
3	Eigene Untersuchungen .....	23
3.1	Versuchsaufbau .....	23
3.1.1	Modellherstellung .....	23
3.1.2	Verwendete elektrische Zahnbürsten .....	28
3.1.3	Greifsatz für elektrische Zahnbürsten .....	32
3.1.4	Justierhilfe .....	34
3.1.5	Zahnpasta .....	35
3.2	Entwicklung des Arbeitsplatzes .....	37
3.2.1	Erarbeitung der Arbeitszelle .....	37
3.2.2	MRL-Positionsliste .....	41
3.3	Arbeitsplatz zur Auswertung.....	43
3.4	Versuchsablauf .....	46
3.5	Auswertung .....	48
3.6	Vorversuche zur Standardisierung des Anpressdrucks .....	55
4	Ergebnisse .....	57
4.1	Auswertung der Gesamtuntersuchung .....	60
4.2	Bereiche ohne Gingivarezessionen .....	62
4.3	Bereiche mit simulierten Gingivarezessionen.....	64
4.4	Einzelne Bereiche im Vergleich.....	66
5	Diskussion.....	67
5.1	Diskussion der Methode.....	67

---

5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	69
6	Zusammenfassung.....	71
	Anhang .....	72
	MRL-Programm.....	75
	Herstellernachweis .....	79
	Literaturverzeichnis.....	80
	Lebenslauf .....	88
	Danksagung.....	89

## 1 Einleitung und Fragestellung

Die bakteriellen Auflagerungen auf der Zahnoberfläche gelten als die wesentlichen Faktoren für die Karies und die Gingivitis. Die Prävention dieser Krankheiten basiert neben einer ausgewogenen Ernährung und dem regelmäßigen Verwenden von Fluoriden hauptsächlich auf der mechanischen Entfernung der dentalen Plaque [35]. Da die Plaque einen besonderen Haftmechanismus zur Zahnoberfläche besitzt, reicht das alleinige Anwenden von chemisch wirksamen Mundspüllösungen nicht aus. Das mehrmals tägliche mechanische Entfernen dieser Beläge mit einer Zahnbürste und die Reinigung der Zahnzwischenräume mit weiteren Hilfsmitteln sind dazu erforderlich.

Neben den seit Jahrhunderten verwendeten Handzahnbürsten sind heute auch elektrische Zahnbürsten in der Lage, diese Aufgabe zu erfüllen. Anfangs waren die Experten geteilter Meinung, was die Effektivität der elektrischen Zahnbürsten angeht [36]. Jüngere Studien belegen aber, dass bezüglich der Plaqueentfernung die elektrischen Zahnbürsten den Handzahnbürsten überlegen sind [11, 13, 50, 73, 76, 83]. Auch bei der Reduktion von Zahnfleischbluten und Gingivitis erreichen sie bessere Ergebnisse [73]. Die Untersuchungen von *van der Weiden* zeigen sogar, dass professionelles Putzen mit einer elektrischen Zahnbürste signifikant bessere Resultate erzielt als die professionelle Zahnreinigung mit einem Polierkelch [81].

So findet die elektrische Zahnbürste in der heutigen Zeit weltweit immer mehr Anwender. Nach Schätzungen der Firma Philips benutzen etwa 300 Millionen Menschen bereits eine elektrische Zahnbürste. Der aktuelle Marktanteil wird mit 40 % bei steigender Tendenz angegeben [39].

Durch die wachsende Nachfrage vergrößert sich auch das Angebot an elektrischen Zahnbürsten immer mehr. Auf dem Markt findet man eine Vielzahl verschiedener Modelle, von der einfachen batteriebetriebenen bis zur modernen Schallzahnbürste. Die führenden Technologien auf dem Gebiet der elektrisch betriebenen Zahnbürsten basieren auf rotierend-oszillierenden Bewegungen oder Schwingungen des Bürstenkopfes (Schallbürsten).

Da alle Hersteller für ihr Produkt den Anspruch erheben, gute Putzergebnisse zu erzielen, stellt sich die Frage, wie sehr sich die Zahnbürsten bei der Putzeffektivität voneinander unterscheiden.

Um diese Frage objektiv beantworten zu können, müssen sie unter standardisierten Bedingungen direkt miteinander verglichen werden.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Putzeffektivität nicht allein von der Leistung der elektrischen Zahnbürste abhängt. Die Compliance der Versuchspersonen spielt eine sehr wichtige Rolle. Die Probanden müssten korrekt eingewiesen und von gleicher manueller Geschicklichkeit sein. Nicht zuletzt hängt vieles von der Einhaltung der Vorgaben durch die Versuchspersonen ab. Diese Faktoren lassen sich bei der Erhebung der Ergebnisse nur schwer standardisieren [50].

So wirken sich bei In-vivo-Untersuchungen auch andere Einflüsse auf die Plaqueentfernung aus, und die Putzeffektivität der Zahnbürste lässt sich nicht objektiv herausstellen.

Die Zielsetzung dieser Arbeit soll der Vergleich von vier elektrisch betriebenen Zahnbürsten bezüglich der Putzeffektivität in einer In-vitro-Testmethode sein. In Anlehnung an die Dissertationen von *Duda* über die „Entwicklung eines computer- und robotergestützten Arbeitsplatzes zur standardisierten Untersuchung der Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten“ [19] und *Bolstorff* über die „Entwicklung eines Arbeitsplatzes zur quantitativen Analyse der Putzleistung von Handzahnbürsten“ [8] sollte an einem standardisierten Arbeitsplatz die Putzleistung von elektrischen Zahnbürsten untersucht werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Plaque

Zahnbelag ist eine der Ursachen für die Entstehung kariöser Läsionen [35]. In der Literatur wird die bakterielle Plaque als eine weiche, variabel dicke, dicht verfilzte, stumpf-gelblich-graue Auflagerung beschrieben. Diese besteht aus verschiedenen Bakterien und einer Matrix (bakterielle Produkte, Speichelkomponenten) [40].

Vermittelt durch das exogene Zahnoberhäutchen, einen unstrukturierten azellulären Film, heften sich innerhalb weniger Stunden Kokken und Aktinomyzeten an. Der Zahnbelag wächst zum einen durch Teilung, zum anderen durch Akkumulation weiterer Bakterien. Die Plaque befindet sich an der gesamten Zahnoberfläche, wird aber bei der Nahrungsaufnahme bzw. beim Kauvorgang von den vestibulären und okklusalen Glattflächen abgerieben. Die Bereiche, die von der natürlichen Selbstreinigung nicht erfasst werden, nennt man Kariesprädispositionsstellen. Ausgereifte Plaque besteht zu siebzig Prozent aus toten und lebenden Bakterien, die in einer Plaquematrix eingebunden sind. Der Mechanismus der Selbstreinigung ist nun nicht mehr in der Lage, den Belag vom Zahn zu lösen [35]. Dieses auf der Zahnoberfläche verbliebene Produkt bakterieller Kolonisierung und Proliferation liegt der Zahnoberfläche fest auf, ist also nur mechanisch, nicht jedoch mit Spülungen (rein chemisch) entfernbar. Es besteht die Möglichkeit z. B. mit einer Chlorhexidin-Lösung, die Bildung von Zahnbelägen zu reduzieren. Bestehende dentale Plaque kann aber nur mechanisch mit einer Zahnbürste entfernt werden [61].

### 2.1.1 Plaqueersatzmittel

Für die vorliegende Untersuchung sollte ein Plaqueersatzmittel eingesetzt werden, was wesentliche Vorteile mit sich bringt: Künstliche Plaque kann eine immer gleiche Zusammensetzung für alle Putzvorgänge gewährleisten und ist somit leichter reproduzierbar. Das Anzüchten eines natürlichen Biofilms hätte hingegen den Nachteil, mit einem erheblich größeren Zeitaufwand verbunden zu sein.

In der Vergangenheit wurden bereits mehrfach Studien an Modellen mit künstlicher Plaque durchgeführt. Eine Putzmaschine, die vertikale Schrubbbewegungen ausführen konnte, reinigte ein mit wasserlöslicher Plakafarbe bestrichenes Modell [3]. *Nygaard-Ostby et al.* verwendeten bei einer Studie eine Maschine, die in späteren Untersuchungen kopiert wurde [60, 88]. Ihre Untersuchungen zielten darauf, die Reinigungseffektivität von Zahnbürsten im Approximalbereich zu untersuchen. Sie bedienten sich dabei einer Okklusionsfolie als Indikator. Die durchgedrückten Farbpigmente wurden nach dem Putzvorgang ausgewertet.

Einen blauen Ethylcellulose-Film benutzten *Rawls et al.* für ihre Studie [64]; dieser entspricht jedoch in seiner Haftung kaum der natürlichen Plaque [84].

*Volpenhein et al.* modifizierten diese Lösung durch ein rotes PVM/MA-Kopolymer auf Ethylester-Alkoholbasis. So sollte dieses der Adhäsionskraft der Plaque entsprechen [84].

*Dean* mischte eine magentafarbene Paste (Dry Temp, Palmer Paint Products, Troy, MI) mit einer rosa Handseife (Deliver Lotionized, Johnson Wax, Racine, WI). Diese Mischung wurde auf die künstlichen Zähne aufgetragen, 20 Minuten im Ofen getrocknet und dann in ein Kunststoffmodell eingegliedert, was sich als sehr zeitraubend erwies [12].

Die Plaquebeseitigung im Approximalraum untersuchten *Smukler et al.*: auf gereinigte, extrahierte Zähne wurde Vaseline aufgebracht und mit Kaffeepulver bestreut [75].

Eine weitere in der Literatur beschriebene Möglichkeit ist das Beschichten von schwarzen Modellzähnen mit einer weißen Lösung aus einem Titanoxid-Ethanol-Gemisch. Diese Substanz soll laut *Imfeld et al.* nicht flächig abblättern [41].

Die Universität Mainz verwendete in In-vitro-Studien eine Mischung aus Plakafarben (Mali Plus, Eberhard Faber und Waco Fin, Heinrich Wagner). Dabei

wurde der Farbstoff zwei Minuten auf die, durch Sandstrahlen mit Aluminiumoxid (50 µm Körnung) aufgerauhten, Zahnflächen aufgesprüht und sechs Minuten lang getrocknet [10, 17, 18, 22]. Für den Putzvorgang wurde die Zahnbürste angefeuchtet und mit Zahnpasta versehen. Die Reinigung eines Kiefers dauerte eine Minute [18]. Den Ergebnissen von *Haas* zufolge ähnelt die Haftfähigkeit der Plakafarbmischung der von natürlicher Plaque [28].

*Dörfer* benutzte als Plaqueersatz das „Okklu Spray“ (Firma Hager & Werken, Duisburg, Deutschland). Unter dem Einsatz einer Schablone wurden gereinigte extrahierte Zähne mit dem grünen Spray bedeckt. Diese Methode ermöglichte einen standardisierten Farbauftrag und garantierte eine homogene Farbe [15].

In der hier beschriebenen Untersuchung wurde das „Okklu Spray“ der Firma ORBIS Dental<sup>®</sup> GmbH benutzt. Um die künstliche Plaque mit der Software PicED Cora 8.4 der Firma JOMESA Meßsysteme GmbH automatisch vom Phantommodell zu unterscheiden, bedarf es der Festlegung auf charakteristische Merkmale. Die Differenzierung kann anhand von Farbunterschieden stattfinden. Der verwendete Plaqueersatz hat eine grünliche Grundfarbe, während das Kunststoffmodell elfenbeinfarben ist. Es ergeben sich Unterschiede im Farbton, in der Helligkeit und der Farbsättigung. Zur Bestimmung und Beschreibung der Farbe nutzt die Analysesoftware PicEd Cora 8.4 vier unterschiedliche Farbsysteme (RGB, HLS, CMY, HSV). Für diesen Versuch wurde das HLS-System (Hue-Lightness-Saturation = Farbton-Helligkeit-Sättigung) verwendet, welches die stärkste Differenzierung anhand des Farbtons ermöglichte.

## 2.2 Entwicklung der Mundhygiene

Bereits die Ägypter reinigten ihre Zähne mit Hilfe von Hölzern. Dies belegen Funde aus Grabbeilagen [70]. Materialien wie Holz, Metall und Horn wurden als Zahnstocher bereits vor mindestens 3000 Jahren verwendet [25].

Aristoteles (384 - 322 v. Chr.) lehrte seine Schüler, sich am Morgen mit einem rauhen Leinentuch die Zähne abzureiben [69].

Etwas ungewöhnlich war die, vor ca. 2000 Jahren aus Spanien nach Rom eingebrachte Methode, den Mund und die Zähne mit abgestandenem Urin zu spülen. Dies sollte neben der Reinigung einen festeren Halt der Zähne mit sich bringen [25].

In verschiedenen Religionen wurden Richtlinien bzw. Empfehlungen zur Mundhygiene und Zahnpflege gegeben. Unter den Buddhisten war eine Art Zahnbürste verbreitet, die aus einem frischen Zweig hergestellt wurde. Ähnliches forderte der Prophet Mohammed. Beim Beten sollte ein Holzstäbchen aus der Wurzel des Arrak-Baumes gekaut werden. Zuvor mußte die Rinde entfernt und der Zweig 24 Stunden lang im Wasser aufgeweicht werden. Danach wurde ein Ende mit einem Hammer bearbeitet, bis es aufgefächert war [70].

Der Italiener Giovanni Archoli (gestorben 1484) stellte Grundregeln zur Mundhygiene auf, die unter anderem das Putzen der Zähne nach jeder Mahlzeit beinhalten. Zu dieser Zeit waren in England Barbieri für die Reinigung und Pflege der Zähne zuständig. Zur ihrer „Leistungspalette“ gehörte auch das Bleichen der Zähne mit Nitroglycerin, Schwarzpulver oder Korallenpulver [25].

Eine Zahnbürste, die Ähnlichkeit zu den heutigen Handzahnbürsten hatte, wurde in China um das Jahr 1500 nach Christus hergestellt [69]. In Europa soll die erste Zahnbürste schon 1570 dem französischen Hof durch den spanischen Botschafter vorgestellt worden sein [74]. Die wohl älteste gefundene Zahnbürste Europas ist etwa 300 Jahre alt. Sie besteht aus einem Griff aus Tierknochen, der an einem Ende Perforationen für Borsten aufweist.

In „Curicusen und nützliche Frauenzimmer Apothekchen“ von Christoph Hellwigs findet sich die erste Erwähnung der modernen Zahnbürste [36]. Das Buch „La Chirurgien Dentiste“ (1723) von Pierre Fauchard zeigt, dass zu dieser Zeit bereits Zahnbürsten in gehobenen Kreisen Verwendung fanden [25]. Fauchard sah diese als

zu traumatisierend an und empfahl deshalb den Gebrauch von Schwämmchen zur Zahnreinigung. Etwa zur gleichen Zeit wurde in einem in Leipzig herausgegebenem Wörterbuch eine Zahnbürste und ihr Gebrauch beschrieben [70]. Nichts desto trotz war das Produkt nur privilegierten Kreisen vorbehalten.

Erst die industrielle Revolution verhalf dann der Zahnbürste am Ende des neunzehnten Jahrhunderts zum Durchbruch.

### 2.3 Gingivarezessionen

In einer Gesellschaft, deren Altersdurchschnitt jährlich steigt, haben ältere Menschen einen erheblichen Anteil an der Gesamtbevölkerung. Beispielsweise betrug der Anteil an über 65-jährigen in den Vereinigten Staaten im Jahr 2000 12,5 % und wird sich nach Hochrechnungen (Administration of Ageing) im Jahr 2030 auf 20,1 % erhöhen.

Mit zunehmendem Alter steigt die Prävalenz von parodontalen Erkrankungen.

Auftreten und Ausmaß der Gingivarezessionen nehmen im Laufe des Lebens zu. So gibt eine Studie aus den USA, bei der 9689 Patienten im Alter zwischen 30 und 90 Jahren untersucht worden waren, eine Häufigkeit von 58 % für Rezessionen von einem Millimeter und größer an. Dabei waren im Schnitt 22,3 % der Zähne jedes Patienten befallen. Bei der jüngsten Gruppe, den zwischen 30- und 39-jährigen, war eine Prävalenz von 37,8 % auf 8,6 % der Zähne zu sehen. Stellt man ihr die Gruppe der 80- bis 90-jährigen gegenüber, findet man eine Prävalenz von 90,4 % auf 56,3 % der Zähne. So wird das steigende Auftreten von Gingivarezessionen mit zunehmenden Alter deutlich [2].

Gingivarezessionen werden nach *Miller (1985)* in vier Grade eingeteilt. Bei einer Rezession Grad I überschreitet der Defekt die Mukogingivallinie nicht, bei Grad II schon. Grad I und II weisen keine interdentalen Attachment- oder Knochenverluste auf. Das Fehlen der Interdentalpapille führt zur Einstufung in Grad-III- und Grad-IV-Rezessionen. Grad-III-Rezessionen beschränken sich auf die Attached Gingiva, dagegen erreichen die Grad-IV-Rezessionen die Mukosa [55].

Im Bereich von Rezessionen wird eine Plaquebesiedlung häufiger beobachtet als an Zähnen ohne Gingivarezessionen [77]. Als Gründe hierfür werden eine rauhere Oberfläche und Nischen wie beispielsweise die Furkationseingänge genannt. Auch eine erhöhte Schmerzempfindlichkeit bei freiliegenden Zahnhälsen führt dazu, dass die Patienten diese Regionen nicht ausreichend reinigen. Die Folgen sind marginale Gingivitiden, die bei einer Etablierung als Parodontitiden zu weiteren Attachmentverlusten führen können.

Ein weiteres Risiko, das Gingivarezessionen mit sich bringen, ist die erhöhte Anfälligkeit für Wurzelkaries. Die Inzidenz liegt bei 20 % bis 40 % für ansonsten

gesunde Erwachsene und steigt für stationäre, chronisch-krank und ältere Personen auf bis zu 90 % [24].

Die hohe Wurzelkariesrate wird durch eine höhere Säureanfälligkeit der Wurzeloberfläche erklärt. Der kritische pH-Bereich für Zement und Wurzelentin liegt bei einem pH-Wert von 6,2 - 6,7. Der säureresistentere Zahnschmelz ist erst ab einem pH-Wert von 5,2 - 5,7 gefährdet.

Der pH-Bereich, in dem Zement und Wurzelentin demineralisiert werden, kann bereits bei der Aufnahme von Mineralwasser mit wenig Kohlensäure erreicht werden [35]. Die Aufnahme von Fruchtsäften oder anderen süßen Getränken führt durch mikrobielle Stoffwechselleistung zu einem noch größeren Abfall des pH-Werts. Bei fehlender Reinigung und Remineralisation entsteht Karies. Damit könnte man sich die hohe Inzidenz (60 % - 90 %) von Wurzelkaries bei über 60-jährigen Patienten erklären. Bei der Vorbeugung von Wurzelkaries sind eine regelmäßige und effektive Plaqueentfernung und die Remineralisation von entscheidender Bedeutung; es sollten aber auch Faktoren, die zu Gingivarezessionen führen, reduziert werden. Eine der Ursachen ist das mechanische Trauma. Dieses kann beim Zähneputzen durch eine falsche Technik, zu großen Druck und scharfe Borstenenden entstehen.

*Van der Weijden et al.* und *Wilson et al.* stellten keinen signifikanten Unterschied zwischen elektrischen und Handzahnbürsten in Bezug auf die Bildung von Gingivarezessionen fest [82, 86].

*Niemi* konnte zeigen, dass elektrische Zahnbürsten weniger Rezessionen verursachen als Handzahnbürsten [58].

## 2.4 Elektrische Zahnbürsten

Es liegt in der Natur des Menschen, mühselige und monotone Prozesse zu umgehen, indem man versucht, sie zu mechanisieren. Deshalb sollte auch die Handzahnbürste, die seit der industriellen Revolution für fast jeden zugänglich ist, nicht die Krönung der häuslichen Mundhygiene bleiben.

So versuchten Erfinder, Entwickler und die Industrie die doch zeitintensive und koordinativ nicht ganz einfache Prozedur der Plaqueentfernung mittels einer Handzahnbürste weiter zu vereinfachen.

Im Jahr 1885 entwarf der schwedische Uhrmacher Frederik Wilhelm Tornberg eine mit Borsten bestückte Walze, die über eine Kurbel von Hand angetrieben werden konnte.

Zur etwa gleichen Zeit wurde 1889 in New York von einem Händler eine Zahnbürste, „Dr. Scott’s Electric Toothbrush“, angeboten [65]. Es handelte sich um eine einfache Handzahnbürste die laut Hersteller „elektro-magnetische“ Eigenschaften habe und dadurch effektiver sei.

Seitdem Zahnbürsten mit einem Elektromotor kombiniert werden konnten – Mitte des 20. Jahrhunderts – begann der Aufstieg der elektrischen Zahnbürste.

In den Sechziger Jahren wurden auf dem nordamerikanischen Markt mehr als 75 verschiedene elektrische Zahnbürsten angeboten [4]. Die Verkaufszahlen beliefen sich für das Jahr 1965 auf etwa fünf Millionen Stück [36].

In Deutschland wurden ungefähr zur gleichen Zeit die ersten elektrisch betriebenen Zahnbürsten bei der Kölner Dental-Schau vorgeführt und allgemein als technische Spielerei aufgenommen [36].

Die ersten elektrischen Zahnbürsten führten horizontale oder vertikale Bewegungen durch. Einige mussten über einen Netzstecker an eine Steckdose angeschlossen werden, andere waren batteriebetrieben und setzten sich letztendlich durch.

Mit der Zeit wurden auch Modelle entwickelt, bei denen die Borstenbüschel oder die Borstenköpfe rotieren [44]. Zu diesem Zeitpunkt schon konnten die elektrischen Zahnbürsten bei der Putzeffektivität mit den Handzahnbürsten konkurrieren [4, 27, 63]. Besonders im amerikanischen Raum war man sich schon in den Sechziger

Jahren darüber einig, dass die elektrische Zahnbürste nicht nur konkurrenzfähig, sondern der Handzahnbürste überlegen sei [21, 51, 62].

Das technologische Konzept der rotierend-oszillierenden elektrischen Zahnbürste hat sich im letzten Jahrzehnt durchsetzen können. Die Arbeitsweise dieser Zahnbürsten ähnelt der der Polierkelche und Bürstchen der professionellen Zahnreinigung. Insbesondere Bürsten mit dieser Technologie wird eine signifikant höhere Putzeffektivität und Reduktion von Gingivitiden bescheinigt [13, 73, 82].

Die jüngste Entwicklung im Bereich der elektrisch betriebenen Zahnbürsten ist die „Schall-Technologie“. Der Bürstenkopf wird dabei in Schwingungen versetzt, die sich im Bereich von 260 Hz bewegen.

In neueren Studien werden elektrisch betriebene Zahnbürsten („Schall“ und oszillierend-rotierende) bezüglich der Putzeffektivität durchweg besser beurteilt als Handzahnbürsten [11, 13, 50, 73, 76, 83].

*Van der Weijden* et al. stellten fest, dass 48 Stunden alte Zahnbeläge in 2 Minuten mit einer elektrischen Zahnbürste (Braun Exel®3D) effektiver entfernt werden als in 10 Minuten mit einem Polierkelch bei einer professionellen Zahnreinigung [81].

Elektrische Zahnbürsten haben einen weiteren Vorteil gegenüber den Handzahnbürsten. Studien belegen, dass elektrische Zahnbürsten, insbesondere die Schall-Zahnbürsten, durch Verwirbelungen von Flüssigkeiten Beläge auch über die Reichweite der Borsten hinaus entfernen [9, 37, 87]. Dies wird als hydrodynamischer Effekt bezeichnet. Der hydrodynamische Effekt soll zusätzlich die Bakterien der Plaque inaktivieren. Diese Vermutung konnte klinisch bislang nicht bestätigt werden. *Mac Neill* et al. konnten bei ihren Untersuchungen keinen morphologischen Beweis für die Schädigung der Bakterien nach dem Putzen mit einer Schall-Bürste feststellen [53].

Einige Autoren sehen weitere Vorteile bei der Mundhygiene von Kindern und insbesondere von körperlich behinderten Menschen. Diese Gruppen sind meist motorisch nicht in der Lage, eine der empfohlenen Zahnputztechniken effektiv umzusetzen. Mit einer elektrischen Zahnbürste ist die Plaqueentfernung nur durch das Hinführen des Bürstenkopfs an den Zahn möglich [47, 67]. Bei elektrisch betriebenen Zahnbürsten sind die Putzergebnisse nicht so stark von den manuellen Fähigkeiten des Anwenders abhängig wie bei einer Handzahnbürste. Mit elektrisch

betriebenen Zahnbürsten sind auch ältere Menschen in der Lage, eine effektive Mundhygiene zu betreiben [48].

Bei Personen mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen ist die Anlagerung von Plaque erhöht und gleichzeitig deren Entfernung erschwert. *Heinze et al.* stellten fest, dass kieferorthopädische Behandlungen mit festsitzenden Geräten zu einem erhöhten Karies- und Parodontitisrisiko führen [33, 34, 46]. Elektrische Zahnbürsten können auch in diesem Fall die Mundhygiene deutlich erleichtern [46]. Für diesen Zweck bieten einige Hersteller spezielle Bürstenköpfe an. Vergleichbare Untersuchungen haben gezeigt, dass eine „Schall-Zahnbürste“ bei Personen mit kieferorthopädischen Brackets effektiver Beläge entfernt als eine konventionelle Zahnbürste [57].

Der Wechsel von einer Handzahnbürste zu einer elektrisch betriebenen kann auch einen psychologischen Effekt erfüllen. Das Umsteigen auf eine elektrisch betriebene Zahnbürste führt zumindest anfänglich zu einem deutlichen Motivationsschub, der sich in der Putzfrequenz und -dauer widerspiegelt [56].

### 2.4.1 In-vitro-Untersuchungen von elektrischen Zahnbürsten

Die Vorteile von In-vitro-Untersuchungen liegen auf der Hand. Die vergleichbar niedrigen Arbeitskosten und die zu berücksichtigende Zeitersparnis haben dazu geführt, dass Prototypen und neue Modelle von elektrischen Zahnbürsten in vitro miteinander verglichen werden. Im Labor können standardisierte Bedingungen hergestellt werden, die klinisch ausgesprochen aufwendig oder gar nicht realisierbar sind.

In einigen dieser Studien wird mit ganz einfachen und günstigen Apparaturen gearbeitet, wie es beispielsweise *Hope* und *Wilson* [37] taten. Andere Studien aber, wie die von *Van der Weijden* oder *Driesen* [18, 78], nutzen robotergesteuerte Nachahmungen des komplexen menschlichen Putzvorgangs.

*Hope* und *Wilson* untersuchten in vitro den hydrodynamischen Effekt der Sonicare Plus® auf den oralen Biofilm [37]. Auf Hydroxylapatitscheiben kultivierte Biofilme wurden in den Approximalraum zweier Zähne eines Zahnmodells plziert. Die elektrische Bürste wurde so montiert, dass der Abstand der Borsten zu den Hydroxylapatitscheiben 2,65 mm betrug. Die aktivierte elektrische Zahnbürste entfernte durch die Flüssigkeitsscherkräfte über siebzig Prozent der Bakterien des Biofilms.

*Driesen* erforschte die Putzeffektivität von elektrischen Zahnbürsten an einem Zahnmodell aus Kunststoff. Die Plaque wurde durch ein Farbgemisch ersetzt. Die elektrische Zahnbürste wurde durch einen Roboter an die Zähne geführt [18].

*Van der Weijden*, der mit seinen Mitarbeitern unzählige Studien mit elektrischen Zahnbürsten durchgeführt hat, beobachtete, dass bei Putzstudien mit einem Roboter an einem Zahnmodell vergleichbare Ergebnisse wie in klinischen Studien erzielt worden sind [78]. Das unterstreicht die Effizienz dieser Studien als eine Möglichkeit zur Einschätzung von elektrischen Zahnbürsten. Um eine generelle Aussage über die Reinigungsleistung einer Zahnbürste im Alltag machen zu können, müssen die Untersuchungsparameter möglichst real und dennoch reproduzierbar sein.

## 2.4.2 Borsten der Zahnbürste

Sowohl die Borstenform als auch das Borstenmaterial der elektrischen Zahnbürste entsprechen dem Standard, der sich für die Handzahnbürste etabliert hat.

Bis in die erste Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts hat die Vorherrschaft der traditionellen Naturborsten andauert. Diese waren meist Nackenborsten von Schweinen aus kälteren Regionen Sibiriens und Chinas. Die Naturborsten hatten zwei erhebliche Nachteile: Zum einen war die Wasseraufnahme hoch, zum anderen konnten sich Bakterien in den Kanälen der Borsten anlagern und vermehren [49]. Durch die hohe Wasseraufnahme weichen die Borsten auf und verschleiß schneller. Die Naturborsten wurden durch Zelluloid und ab 1948 hauptsächlich durch Nylonfilamente verdrängt [25].

*Bass* wies darauf hin, dass die durch das Zähneputzen verursachten Gingiva-Verletzungen zu vermeiden wären und stellte die Forderung nach abgerundeten Borstenenden auf [5].

Heute müssen Borsten eine geringe Wasseraufnahme und vollständig abgerundete Enden aufweisen [26]. Das Abrunden der Filamente ist seit den 50er Jahren möglich und wurde bis heute verfeinert [25].

Seit 1979 definiert die Deutsche Industrienorm (DIN) 13917 den Aufbau, die Form und die Gestalt von Handzahnbürsten [14].

## 2.5 Zahnputzdauer

Nicht nur eine gute Zahnbürste, sondern auch die richtige Anwendung und eine ausreichende Putzdauer sind entscheidend, um die Plaque effektiv zu entfernen.

Der Zeitaufwand für das Zähneputzen beträgt durchschnittlich zwischen fünfundvierzig und neunzig Sekunden [27]. *Gülzow et al.* stellten fest, dass zur optimalen Gebißreinigung mindestens viereinhalb Minuten anzusetzen sind [27]. Dem gegenüber steht die Aussage von *Bass*, dass das Putzen keine Frage der Zeit, sondern der richtigen Technik sei. So sind weniger als sechzig Sekunden bereits ausreichend [6]. *Sauerwein* gab eine Mindestputzdauer von zwei Minuten an [67].

Da elektrisch angetriebene Zahnbürsten mehr Borsten-Zahnkontakte in der gleichen Zeit verursachen als Handzahnbürsten, wäre folglich anzunehmen, die Mindestputzdauer könnte reduziert werden. *Van der Weijden* und Mitarbeiter stellten heraus, dass ab einer Putzzeit von dreißig Sekunden pro Quadrant das Putzergebnis nicht mehr so deutlich verbessert wird [79]. Die Hersteller von elektrisch betriebenen Zahnbürsten empfehlen eine Anwendungsdauer von mindestens zwei Minuten [29, 30, 31, 32]. Deshalb sollte die Putzdauer auch bei elektrisch betriebenen Geräten nicht unter zwei Minuten für Ober- und Unterkiefer liegen.

## 3 Eigene Untersuchungen

### 3.1 Versuchsaufbau

#### 3.1.1 Modellherstellung

Um die Putzbewegungen des Roboters an einer Zahnreihe auszuführen, wurde ein Phantommodell hergestellt. In vergleichbaren In-vitro-Studien wurden zur Simulation des Gebisses Kunststoffmodelle ohne Zahnfehlstellungen herangezogen. Gerade Zahnfehlstellungen erschweren die Reinigung mit der Zahnbürste. Verschachtelungen der Zähne vergrößern den Anteil an habituell unsauberen Zonen. Das sind die Bereiche, an denen keine Reinigung während des Kauvorgangs zustande kommt.

Eine unterschiedlich stark ausgeprägte Zahnfehlstellung entspricht nach *Ehmer* und *Schulze* jedoch der Situation bei dem größeren Teil der deutschen Bevölkerung (bei 82,5 - 91,6 %) [20, 68].

Aus diesem Grund wurde für diese Untersuchung ein Modell mit unterschiedlich starken Fehlstellungen der Zähne entwickelt. Die Zahnstellung orientiert sich am Modell aus der Arbeit von *Niermann* über die Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten [59]. Die Zähne eines ganzen Quadranten wurden zusätzlich mit fünf Millimeter starken gingivalen Rezessionen vierten Grades versehen.

Da immer mehr Patienten die natürliche Bezahnung bis ins hohe Alter behalten und deren Zähne zum Teil immer größere Gingivarezessionen aufweisen, sollte durch dieses Modell die Putzeigenschaft in den schwer zugänglichen Bereichen zusätzlich überprüft werden [42]. Es ist unumstritten, dass auf den unterstützenden Einsatz von Zahnseide, Interdentalbürstchen oder anderen Interdentalhygieneartikeln nicht verzichtet werden kann. Da Patienten mit ausgeprägten Rezessionen besonders auf die Anwendung von Interdentalhygieneprodukten angewiesen sind, würde eine elektrische Zahnbürste, die auch effektiv zumindest Teile des Interdentalraums reinigt, zu einer großen Erleichterung der täglichen Mundhygiene führen.

Die Frasaco-Zähne des Kunststoffmodells wurden bei der Herstellung systematisch so aufgestellt, dass sich die Tiefe des Interdentalraumes, d. h. die Strecke vom

Approximalkontakt bis zur Labialfläche des angrenzenden Zahnes, jeweils um einen Millimeter vergrößert.

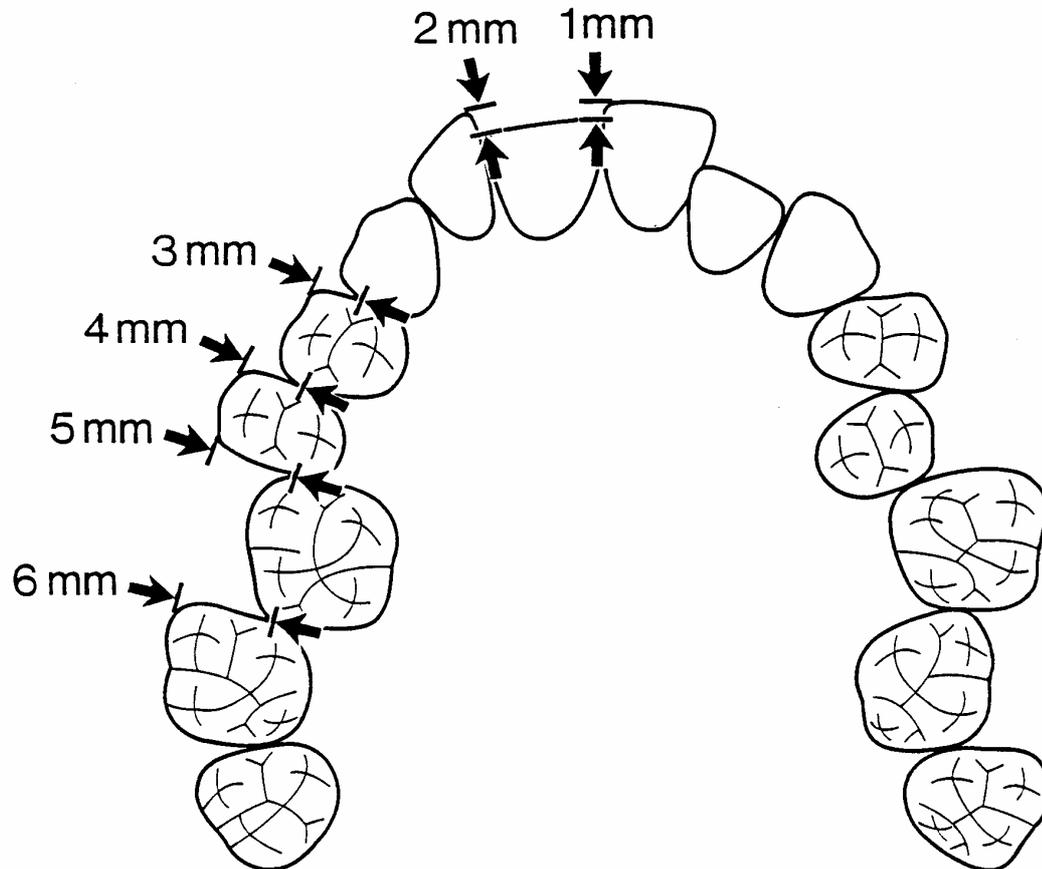


ABBILDUNG 1: DIMENSIONIERUNG DES PHANTOMMODELLS

Angefangen im ersten Quadranten ist der Zahn 16 distoapproximal 6 mm, mesioapproximal 5 mm nach palatinal verschoben. Der Zahn 15 ist nach bukkal, der Zahn 14 nach palatinal geneigt, so dass ein Versatz zwischen Zahn 15 und Zahn 14 von 4 mm und zwischen Zahn 14 und Zahn 13 von 3 mm entsteht. Der Zahn 12 ist nach distolabial gedreht und der Zahn 11 nach palatinal versetzt. Daraus resultiert, dass die Labialfläche von Zahn 11 zum Zahn 12 eine Differenz von 2 mm hat und 1 mm zum Zahn 21.

Im zweiten Quadranten ist der Zahn 22 um 3 mm zum Zahn 21 bzw. 2 mm zum Zahn 23 nach palatinal gekippt. Der Zahn 24 hat eine distobukkale Drehung, aus der sich ein Abstand von 4 mm zum Zahn 23 ergibt. Der Zahn 25 ist nach mesiobukkal

gedreht und nach palatinal versetzt. Dadurch entsteht ein Versatz zum Zahn 24 von 1 mm und zum Zahn 26 von 6 mm. Der Zahn 26 weist eine leichte Kippung nach bukkal auf und der Zahn 27 eine Verlegung nach palatinal. Es entsteht eine Differenz zwischen Zahn 26 und Zahn 27 von 4 mm und 5 mm zum nach distobukkal gedrehten Zahn 28.

Zusätzlich wurden im zweiten Quadranten Rezessionen von ca. 5 mm modelliert, um ein parodontal geschädigtes Gebiß nachzuahmen. Die Gingivarezessionen sind in der Abbildung 3 gezeigt.



ABBILDUNG 2: *PHANTOMMODELL*



ABBILDUNG 3: *PHANTOMMODELL MIT GINGIVAREZESSIONEN*

Die Positionierung des Modells am Roboterarbeitsplatz ist der Dissertation von *Duda* über die „Entwicklung eines computer- und robotergestützten Arbeitsplatzes zur standardisierten Untersuchung der Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten“ entnommen worden [19].

Das Modell muss nun so modifiziert werden, dass es ohne großen zeitlichen Aufwand und an einer standardisierten Position sowohl am Roboter als auch an dem fotografischen Arbeitsplatz genutzt werden konnte. Realisiert ist dieses durch ein magnetisches „Splitcast-System“ (Splitex<sup>®</sup>, Girrbach, Pforzheim, Deutschland). Phantommodell und Sockelplatte werden durch Verschraubung im palatinalen Bereich und Polymerisation eines Kunststoffsockels mit PalavitG<sup>®</sup> (Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim/Ts, Deutschland) so miteinander verbunden, dass es zu einem starren Verbund kommt.

Um das Originalmodell nicht zu beschädigen, wurde mit Doublirmasse ein Negativ erstellt, welches nun nach Bedarf (im Maßstab 1:1) kopiert werden konnte. Als Masse zur Modellherstellung wurde Shera Polan<sup>®</sup> (Shera GmbH, Duisburg, Deutschland), ein hochpräziser monochromatischer Spezialkunststoff für Stümpfe

und Modelle, verwendet. Die genaue Übertragung der magnetischen Sockelplattenposition wurde mit Hilfe einer Artex-Sockelplatte der Firma Girrbach® erreicht.

### 3.1.2 Verwendete elektrische Zahnbürsten

In der Untersuchung wurden die aktuellen Modelle der Marktführer bei elektrischen Zahnbürsten miteinander verglichen: die „Professional Care“ und die „Sonic Complete“ von Oral B®, „Sonicare Elite“ von der Firma Philips® und die batteriebetriebene „Colgate Actibrush“ der Firma Colgate®.

Anbieter	Modell
Colgate Palmolive, Hamburg, Deutschland	Colgate Actibrush®
Philips, Hamburg, Deutschland	Sonicare Elite®
Oral B, Gillette, Kronberg, Deutschland	Professional Care®
Oral B, Gillette, Kronberg, Deutschland	Sonic Complete ®

TABELLE 1: *UNTERSUCHTE ELEKTRISCHE ZAHNBÜRSTEN*

Bei den untersuchten Fabrikaten handelt es sich um zwei Schallzahnbürsten und zwei rotierend-oszillierend arbeitenden elektrischen Geräten.

Die „Oral B® Professional Care“ ist eine oszillierend-rotierende elektrische Zahnbürste mit zusätzlich pulsierenden Bewegungen in der Achse der Filamente. Die dreidimensionalen Bewegungen setzen sich aus 40.000 Vor- und Rückbewegungen und 8.800 Seitwärtsbewegungen pro Minute zusammen.

Die „Oral B® Professional Care 7500“ unterscheidet sich vom jetzt erhältlichen Nachfolgemodell „Professional Care 8000“ im wesentlichen in einer größeren Regulierungsmöglichkeit der Leistungsstufen; ihre maximale Leistung ist aber gleich.

Die Frequenzen der Schallbürsten liegen bei ca. 250 - 260 Hz. Nicht allein die Schwingungen der Bürsten sind für die Anzahl der Kontakte zum Zahn entscheidend, sondern auch deren Amplitude. Je größer die Amplitude ist, desto höher ist die erwartete Putzeffizienz. Wenn bei Zahnbürsten das Griffteil der Bürste auch

mitschwingt, kann durch kräftigeres Festhalten ein Teil der Amplitude verloren gehen.

Der Bürstenkopf der „Sonicare Elite“ ist vom Griff durch ein Magnetsystem entkoppelt. Das bedeutet, dass selbst bei kraftvollem Festhalten die Amplitude gleich bleibt. Zudem besteht eine reine Rotationsbewegung mit dem Drehpunkt im Stiel, so dass das Maximum der Auslenkung an den Borstenenden ist. Diese Punkte führen zu der Amplitude von 2,3 Millimetern.

Das Borstenfeld der „Sonic Complete“ ist mit kreuzverzahnten Borsten und Struktur-Filamenten gestaltet. Um ein hartes Anschlagen des Bürstenkopfes an die Gegen-zahnreihe zu dämpfen, hat dieser Bürstenkopf eine gummierte Rückseite.



ABBILDUNG 4 : SONIC COMPLETE UND SONICARE ELITE



ABBILDUNG 5: *PROFESSIONAL CARE UND COLGATE ACTIBRUSH*

### 3.1.3 Greifsatz für elektrische Zahnbürsten

Eine Haltevorrichtung musste konstruiert werden, die es ermöglicht, den Roboterarm mit der elektrischen Zahnbürste so zu verbinden, dass sich die Ausrichtung reproduzieren lässt. Zusätzlich sollte der Greifsatz das Aufladen der fixierten elektrischen Zahnbürsten nicht behindern. Die Größe und das Gewicht galt es zudem gering zu halten.

Insbesondere die Größe des Greifsatzes musste so gewählt werden, dass die Bewegungen des Roboters nicht eingeschränkt werden.

Das Griffstück, das der Handgreifer des Roboters greifen kann, wurde auf die gleiche Art wie in der Studie von *Duda* gefertigt [19]. Es wurde mit Hilfe einer Negativform aus Silikon aus dem Autopolimerisat Palapress® hergestellt. An das Griffstück wurde eine Aluminium-Bodenplatte über zwei Schrauben fixiert. In der Bodenplatte ist eine weitere Schraube eingelassen, die mit einer Rohrklemme verschweißt ist.

Die elektrischen Zahnbürsten werden in die Rohrklemme eingespannt und mit zwei Schrauben arretiert. Diese Konstruktion gewährleistet einen stabilen Halt. Durch das geringe Gewicht der Halterungen werden die Bewegungen des Roboters nicht gehemmt.

Um ein zügiges Wechseln der Zahnbürsten zu ermöglichen, wurde für jede elektrische Zahnbürste ein eigener Greifsatz hergestellt.

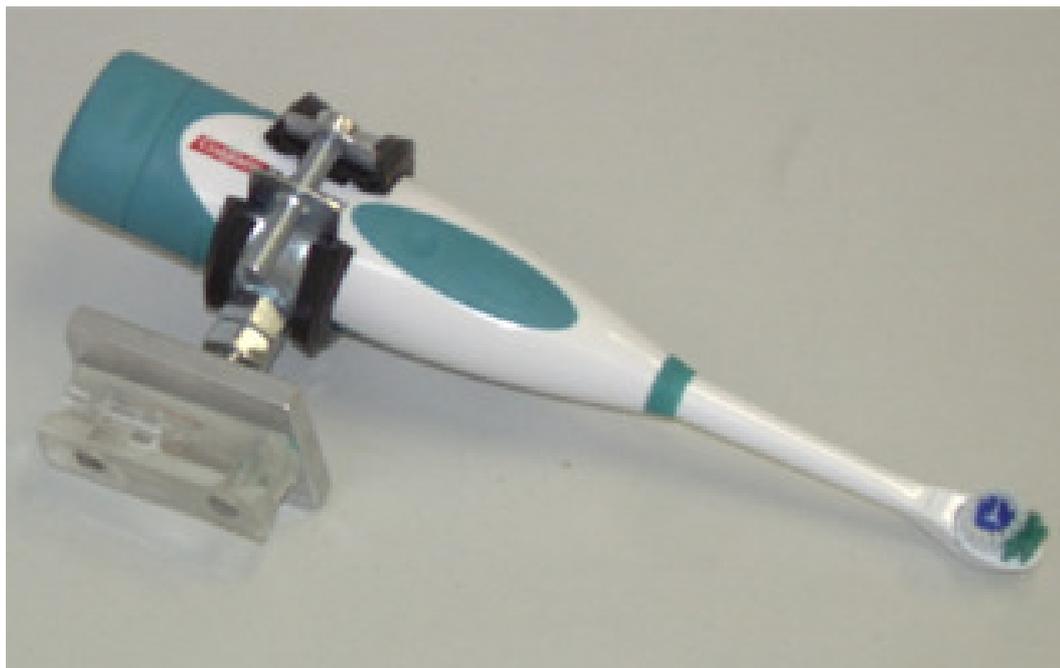


ABBILDUNG 6: *DARSTELLUNG DER COLGATE ACTIBRUSH MIT GREIFSATZ*

Die Abbildung zeigt die Zahnbürste „Colgate Actibrush“ in den Greifsatz eingespannt. In dieser Vorrichtung kann die Bürste durch den Roboterarm aufgenommen werden.

### 3.1.4 Justierhilfe

Da jede elektrische Zahnbürste eine andere Form und Länge hat, muss sichergestellt werden, dass die Bürstenköpfe trotz dieser Unterschiede alle im Koordinatensystem des Roboters gleich ausgerichtet sind.

Eine Justierhilfe soll diese Einstellung ermöglichen und diese auch immer wieder überprüfen lassen.

Die Vorrichtung ist so konstruiert, dass das Griffstück des Greifsatzes in einen Schlitz in der Grundplatte der Justierhilfe geschoben wird. Dann kann die Mitte des Borstenfeldes auf eine Fadenkreuzmarkierung ausgerichtet werden.

Auf diese Weise wird erreicht, dass während des Putzvorgangs alle Bürstenköpfe die gleichen Positionen anfahren.

In der Abbildung 7 sieht man die Justierhilfe mit einer Aussparung für das Griffstück und einer Fadenkreuzmarkierung.

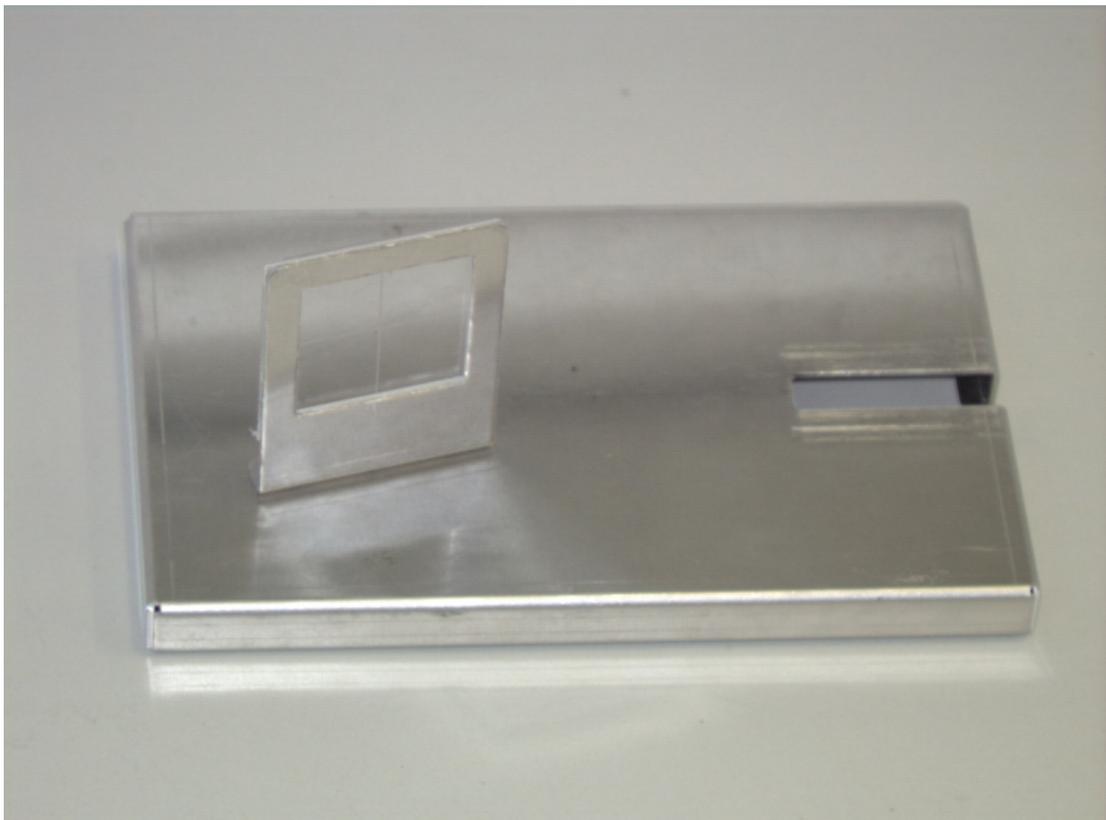


ABBILDUNG 7 : *JUSTIERHILFE*

### 3.1.5 Zahnpasta

Ziel war es, einen Weg zu finden, um die Bedingungen des in vivo stattfindenden Putzvorgangs auf den Roboterarbeitsplatz zu transferieren.

Die Mundhöhle ermöglicht beim Putzvorgang, dass das Gemisch aus Zahnpasta und Speichel in Kontakt mit der Zahnreihe bleibt.

Ein solches geschlossenes System lässt sich durch den Platz, den der Roboter für seine Bewegungen braucht, nur schwer realisieren. Ein derartiger Versuchsaufbau kann für eine einzelne Position, aber nicht für alle 16 Zähne des Phantommodells erreicht werden.

Anfangs wurde die für die Untersuchung von Handzahnbürsten verwendete Methode von *Bolstorff* [8] angewendet. Dabei werden 2 ml der Zahnpasta „Colgate Total“ (Colgate®) auf einen leicht angefeuchteten Zahnbürstenkopf aufgetragen. Es stellte sich bei einigen Vorversuchen heraus, dass schon nach wenigen Sekunden des Putzvorgangs die rotierenden Bürstenköpfe die Zahnpasta abwerfen und das Putzmittel somit nur für die ersten Zähne ausreicht.

Diese Beobachtung führte zu der Überlegung, das gesamte Phantommodell mit einer Suspension zu beschichten, um in allen Bereichen für eine ausreichende Menge Zahnpasta zu sorgen. So kann der für die Schallbürsten, insbesondere für die „Sonicare Elite®“, beschriebene hydrodynamische Effekt zur Geltung kommen [10, 37, 38]. Laut *Adams* ist dieser Effekt bis 2 - 3 mm von den Borsten ausreichend, um einen Biofilm zu entfernen [1].

Zahncreme	Hersteller
Parodontax®	Block Austria GmbH, Innsbruck, Österreich
Periogard®	Colgate-Palmolive, Hamburg, Deutschland
Elmex®	GABA, Lörrach, Deutschland
Aronal®	GABA, Lörrach, Deutschland
Elmex Sensitive®	GABA, Lörrach, Deutschland
Meridol®	GABA GmbH, Lörrach, Deutschland
Colgate Total®	Colgate-Palmolive, Hamburg, Deutschland

TABELLE 2: UNTERSUCHTE ZAHNCREMES

In der Tabelle 2 sind die für den Versuchsaufbau untersuchten Zahnpasten aufgeführt.

Ein von der Zahncreme zu erfüllendes Kriterium bestand darin, dass sie das Plaqueersatzmittel während des Versuchs nicht vom Modell ablöst. Hierzu wurde das Modell in eine Zahnpastasuspension (Wasser und Zahnpasta 1:1) getaucht und nach fünf Minuten unter fließendem Wasser abgespült.

Dieser Vorgang wurde für jede Zahncreme zehnmal wiederholt.

Von den sieben untersuchten Zahnpastasorten zeigte lediglich die „Elmex Sensitive®“ der Firma GABA nach fünf Minuten keine sichtbaren Ablösungen der künstlichen Plaque.

Für die Fragestellung wurde eine 1:1-Suspension verwendet. Diese verbleibt während der Versuchsdauer am besten auf dem Modell und ermöglicht gleichzeitig auch Flüssigkeitsströme in den Approximalbereichen.

## **3.2 Entwicklung des Arbeitsplatzes**

### **3.2.1 Erarbeitung der Arbeitszelle**

Mit der Computersoftware COSIMOD wird eine „Arbeitszelle“ erstellt. Darunter versteht man eine virtuelle Darstellung des Arbeitsbereichs, wodurch sich die Abläufe am Roboterarbeitsplatz mit dem Programm COSIMOD simulieren lassen. Insbesondere kann der Arbeitsablauf am Computer geplant und überprüft werden, bevor er in Wirklichkeit stattfindet.

Folgende Parameter lassen sich in das Computer-Programm übertragen: Nach dem Programmstart wird zunächst automatisch eine leere „Arbeitszelle“ definiert. Ihre Maße sind hinsichtlich der Grundfläche des Arbeitstisches angepasst worden, auf dem der Roboter steht.

Als nächstes wird der virtuelle Roboter – in seiner Position verschieblich – eingefügt, wobei die Basiskoordinaten beachtet werden müssen: Das Basiskoordinatensystem muss mit dem Weltkoordinatensystem übereinstimmen. Hierzu öffnet man die Dialogbox „Bearbeiten, Verschieben“. Dann sucht man unter dem Menüpunkt „Bibliothek“: „Objekte laden ...“

In der nun folgenden Dialogbox wählt man unter „Bibliothek“ „Mitsubishi: Roboter und Greifer“ den „Roboter RV-E4NM“. Somit ist der Roboter im Koordinatenursprung in die Arbeitszelle eingebaut. Auf die gleiche Weise wird virtuell eine „pneumatische Hand“ zugefügt. Diese wird automatisch vom Computerprogramm an den virtuellen Arm des Roboters gesetzt.

Das an der TU Dresden dreidimensional eingescannte Phantommodell wurde in einer anderen Arbeitszelle sichtbar gemacht, über „Bearbeiten, Kopieren“ in die Zwischenablage kopiert und schließlich durch „Bearbeiten, Einfügen“ in die Arbeitszelle, die bereits den Roboter enthielt, eingefügt. Die Abbildung 10 zeigt das in die Arbeitszelle eingefügte Phantommodell.

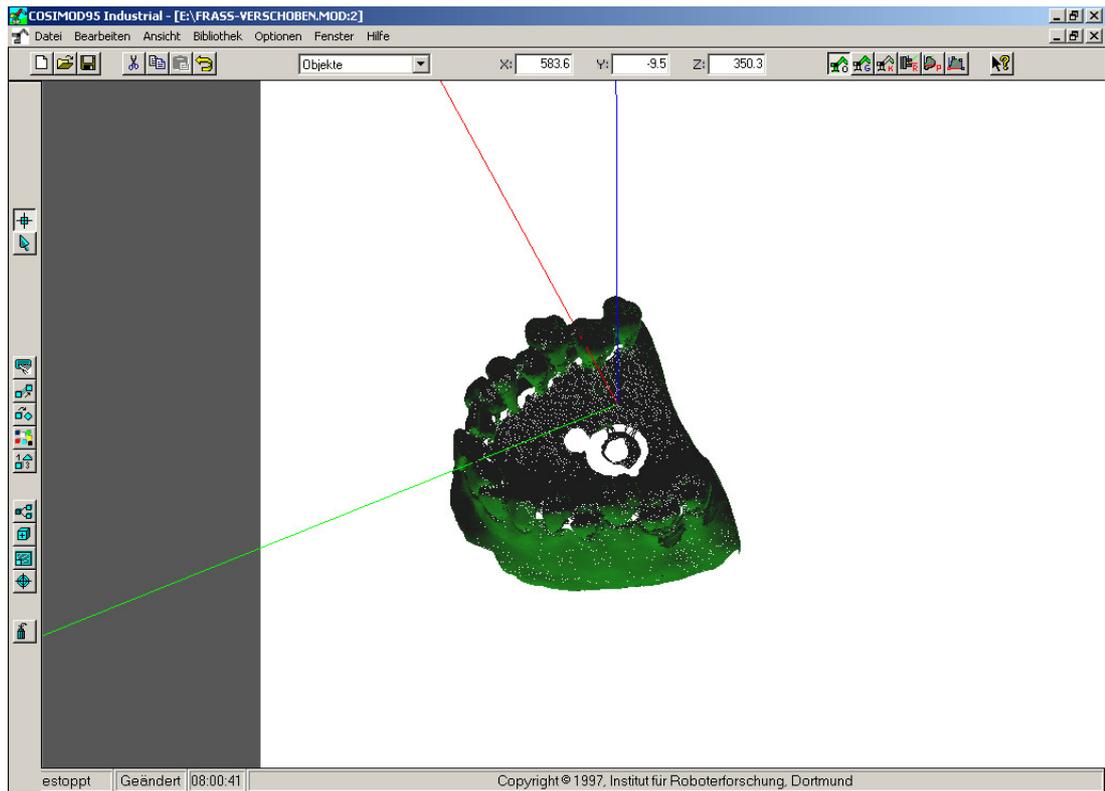


ABBILDUNG 8 : *EINGESCANNTES PHANTOMMODELL*

Zur genauen Positionierung des Phantommodells wurde das Koordinatensystem des Modells an eine auch am echten Modell nachvollziehbare Position verschoben. Als Koordinatenmittelpunkt wurde die mesiale Schneidekantenspitze des Zahnes 21 gewählt.

Als genaue Koordinaten des Phantommodells ergaben sich so folgende Werte:

Koordinaten:  $X = 565,0$ ;  $Y = 0,0$ ;  $Z = 350,0$ .

Winkelangaben: Roll-Winkel =  $92^\circ$ , Nick-Winkel =  $0,1^\circ$  und Gier-Winkel =  $-5^\circ$

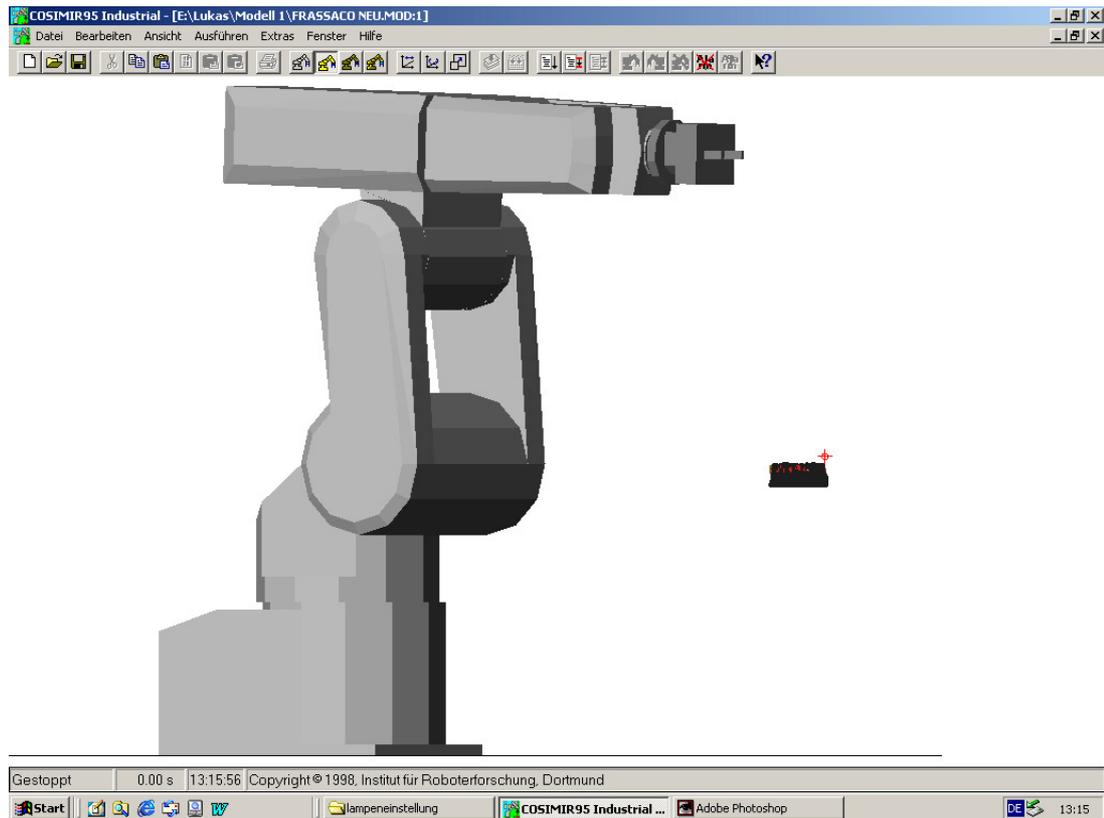


ABBILDUNG 9: *BODEN, ROBOTER, HANDGREIFER UND PHANTOMMODELL  
IN DER ARBEITSZELLE*

Man kann jetzt mit Hilfe der „Teaching-Box“ die einzelnen Positionen am Phantommodell von Hand anfahren und die Positionen in den Personalcomputer übertragen lassen. Eine weitere Möglichkeit wäre es, sich rechnerisch die Koordinaten der Punkte zu konstruieren und direkt in den Computer einzugeben. Das Vorgehen sollte sich an dem in den Untersuchungen von *Duda* orientieren [19]. Das Phantommodell wurde dreidimensional eingescannt und ebenfalls in die Arbeitszelle eingefügt. Das Einscannen des Phantommodells erfolgte in Kooperation mit der prothetischen Abteilung der Universität Dresden.

Eine weitere Überlegung bestand darin, die in der Arbeit von *Duda* erstellten Kreisscheiben in die Arbeitszelle einzufügen. Die Kreisscheiben sollten ursprünglich dem Roboter die Bahnen der Zahnputztechnik nach *Bass* aufzeigen, bei denen er kreisförmige Bewegungen ausführen sollte. Für unsere Aufgabenstellung benötigt man nur einen Punkt der Kreisscheibe. Da die Kreisscheiben im COSIMOD leichter zu erkennen und zu verschieben sind als einzelne Punkte, wurden diese in die

Arbeitszelle eingefügt. Durch Verschieben können diese am Phantommodell genauestens in Position gebracht werden.

Verschiebt man zu einem späteren Zeitpunkt eine Kreisscheibe, so kann man die Positionen relativ zur Scheibe aktualisieren lassen. So ist es möglich, im Fall einer Veränderung am Phantommodell die Kreisscheibe an diese anzupassen und die neuen Koordinaten zu übernehmen.

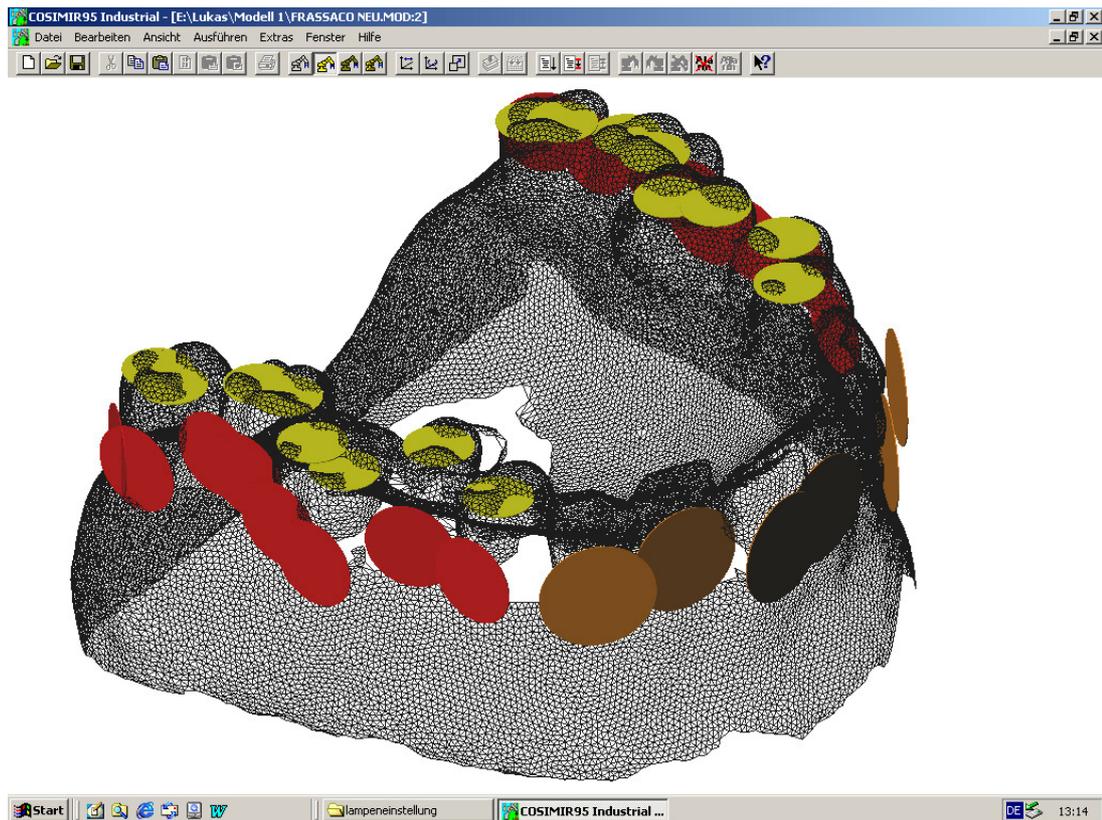


ABBILDUNG 10: *EINGESCANNTES MODELL MIT KREISSCHEIBEN*

Es wurde je eine Kreisscheibe für jede okklusale und vestibuläre Zahnfläche angelegt.

Die Putzbewegung in einer klinischen Situation entspricht nicht dem Ansteuern von nur einer Position pro Zahn, sondern eher einer kontinuierlichen Bewegung. Bei dieser werden die Zähne unter ständigem Kontakt umfahren. Folglich musste der Roboter mehrere Positionen pro Zahn anfahren. Diese Feinjustierung erfolgte manuell über die „Teaching-Box“. Bei diesem Vorgehen werden die im COSIMOD errechneten Positionen am Arbeitsplatz angesteuert und nach Bedarf mit der „Teaching-Box“ korrigiert.

### 3.2.2 MRL-Positionsliste

Das Programm COSIMIR ist in der Lage, die Position des Roboters zu erkennen und zu speichern. So besteht während des Roboterbetriebs ständig Kontakt zum PC.

Nach dem Öffnen der Arbeitszelle in COSIMIR wird über „Extras“ im Menüpunkt „Verbindung aufbauen“ ausgewählt.

Der Schlüssel der „Teaching-Box“ muss auf „Enable“ gestellt werden. Jetzt kann bei gedrückter „Step/Move“-Taste, die Taste „Tool“ betätigt werden. Nun ist es möglich, den Roboter im Werkzeug „Jog“-Betrieb zu bewegen. Unter diesen Bedingungen werden die Bewegungen im Werkzeug „Koordinatensystem“ durchgeführt. Das erleichtert die Einstellung des Bürstenkopfes in die gewünschte Position. Bei gedrückter „Step/Move“-Taste kann z. B. über „-X“ oder „X“ in der Lage auf der X-Koordinate verschoben werden. Um einen gewünschten Punkt anzufahren, bedient man sich neben den genannten auch der Tasten „-Y“, „Y“, „-Z“, „Z“.

Um auch die Ausrichtung der Bürste auf diesen Punkt einzustellen, benötigt man die Tasten „-A“, „A“, „-B“, „B“, „-C“ und „C“. In diesem Fall bleibt der TCP (ToolCenterPoint) an der gleichen Stelle, und der Roboter ändert seine Ausrichtung in Bezug auf diesen Punkt.

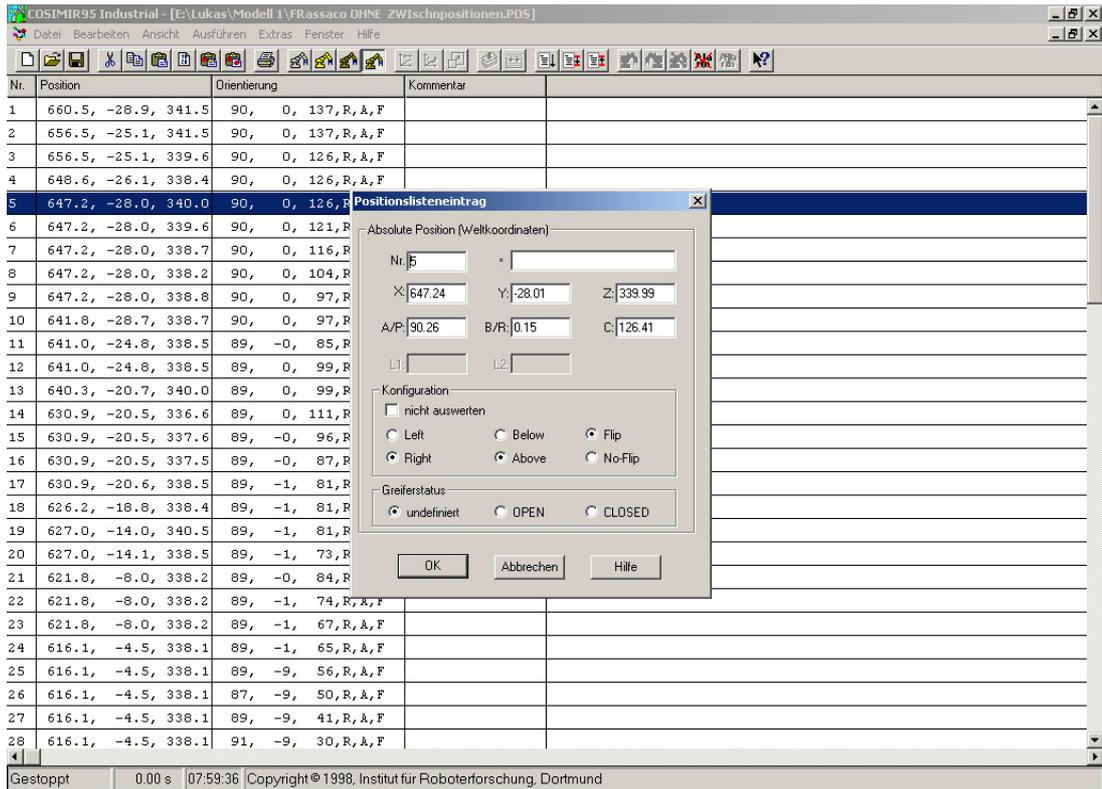


ABBILDUNG 11: DIALOGBOX „POSITIONSLISTENEINTRAG“

Die Abbildung 11 zeigt die Positionsliste, in die über den Menüpunkt „Bearbeiten“ zusätzliche Positionen eingefügt werden können. Auf diese Weise wurden die in COSIMOD erstellten Positionen ergänzt. So ähnelt die Putzbewegung, die der Roboter ausführt, einem klinischen Zahnputzvorgang.

### 3.3 Arbeitsplatz zur Auswertung

Die Putzergebnisse sollten unter standardisierten Bedingungen ausgewertet werden. Es bedarf eines Arbeitsplatzes, an dem – bei fester Kamera – das Modell immer wieder exakt platziert werden kann.

Bis auf einige kleine Modifikationen wurde der Auswertungstisch aus der Dissertation von *Bolstorff* übernommen.

Dieser besteht im Wesentlichen aus folgenden Bausteinen: Basisplatte, Stativtisch mit digitaler Spiegelreflexkamera, Objektisch auf einem Rondell und zwei Leuchtstofflampen.

Dabei hat die Basisplatte die Maße 60 cm x 70 cm x 3,5 cm und dient der festen Installation der übrigen Elemente. Der Stativtisch (20 cm x 15 cm x 7,7 cm) wurde mit einer Stativschraube und einem Bolzen, der in die Unterseite der Kamera einrastet, versehen. Ziel ist es, die Auswertungskamera immer in einer standardisierten Position montieren zu können.

Der Objektisch selber ist ebenfalls unterteilt: in eine vorgelochte, festgeschraubte, runde Grundplatte (Durchmesser: 17,8 cm), die acht Stanzungen aufweist. Des Weiteren gehört zum Objektträger ein modifizierter Parallelometertisch. Ergänzt wurde lediglich an der Unterseite eine festverschraubte, quadratische (7,8 cm x 7,8 cm) Metallbasis mit zwei Stanzungen. In die Spannvorrichtung wurde ein Übertragungs-Tisch (Girrbach Dental-Systeme, Pforzheim, Deutschland) eingeschraubt, der über eine Schraubklemme höhenverstellbar war. An seiner magnetischen Oberseite konnten die Sockelplatte und mit ihr das geputzte Modell aufgenommen werden. Grundplatte und modifizierter Parallelometertisch können nun über Zapfen passend zu den Stanzungen ineinander gesteckt werden. Der Spielraum wird über die optimale Passung der Stifte minimiert. So ergeben sich für diesen Versuchsaufbau mit acht Stanzungen in der Grundplatte vier mögliche Einschubpositionen.

Nur dadurch konnten ein reproduzierbarer Objekt-Filmabstand und die Ausrichtungsposition gewährleistet werden.

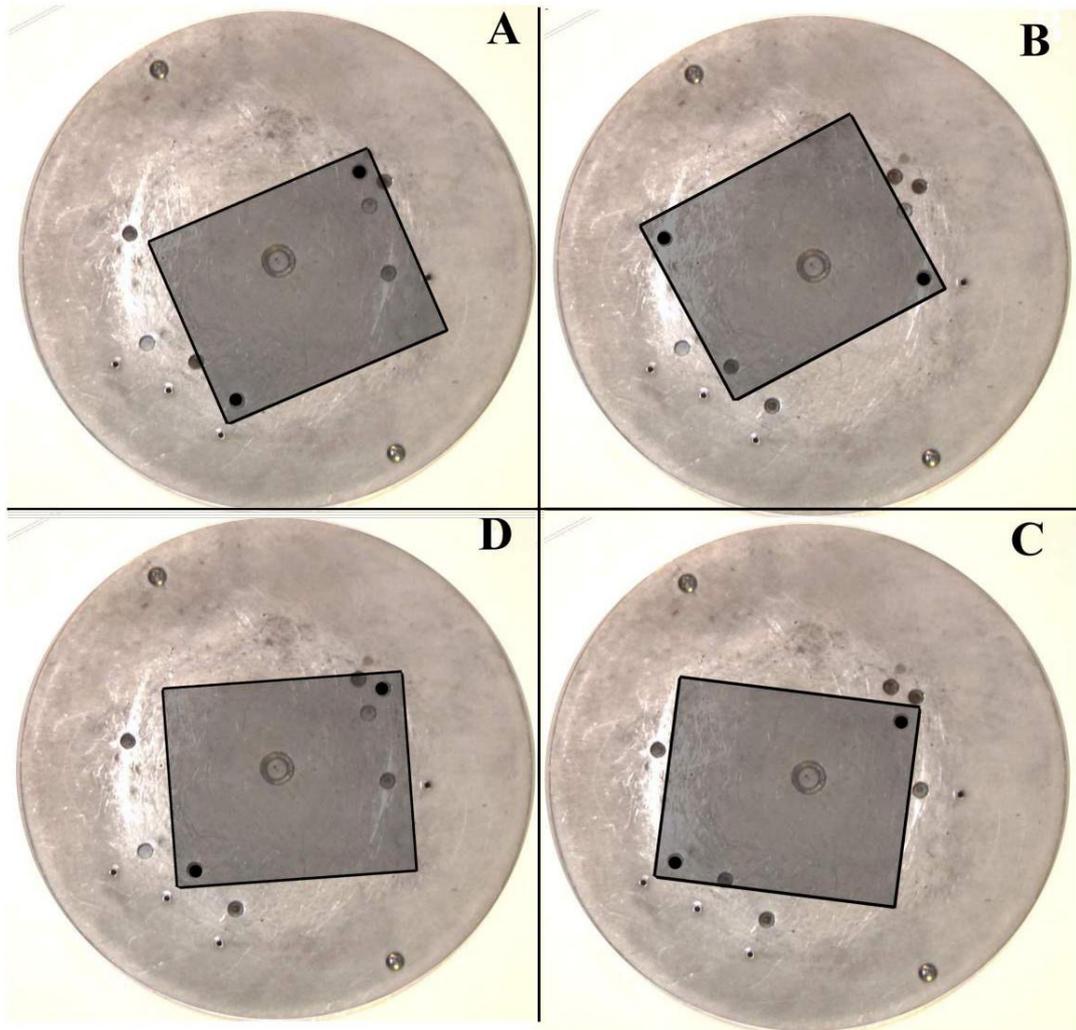


ABBILDUNG 12: GRUNDPLATTE MIT VIER OBJEKTTRÄGERPOSITIONEN

*A = Zahn 17; B = Zahn 11 u. 12; C = Zahn 22 u. 23; D = Zahn 23 - 25*

Die Abbildung 12 zeigt die Stanzungen in der Grundplatte, an denen der Parallelometertisch eingestellt wird. Es sind acht Stanzungen für die vier Auswertungsbereiche nötig.

Letzter Baustein des zweiten Arbeitsplatzes sind zwei Leuchtstoffröhren (11 Watt). Hauptsächliches Ziel muss es sein, vor allem den kritischen Approximalbereich bestmöglich auszuleuchten, um den Kontrast und die Farbtreue zu erhalten und keine Schattenbildung zuzulassen. Die Position der Lampen wurde deshalb zum einen  $90^\circ$  zum Objekt (senkrecht von oben), zum anderen  $45^\circ$  zum Objekt (schräg) angeordnet.

Die verwendete digitale Spiegelreflexkamera ist die RD-175 von Minolta® (Minolta, Langenhagen, Deutschland), eine Spiegelreflexkamera mit einer Auflösung von 1528\*1146 Pixel. Es wird ein Makroobjektiv Tamron® mit einer Brennweite von 90 mm, einem Durchmesser von 55 mm und einer Lichtstärke von 1:2,8 verwendet. Ein Makroabbildungsmaßstab bis 1:1 ist möglich.

Zur Optimierung der Farbdarstellung wird noch ein linearer Polarisationsfilter (Hama 750/520) vorgesetzt.

Das Objekt wird manuell fokussiert. Einige Probedurchgänge zeigten, dass bei einer Verschlusszeit von 1/15 Sekunde und einer Einstellung der Blende auf 19 eine maximale Tiefenschärfe erreicht wird.

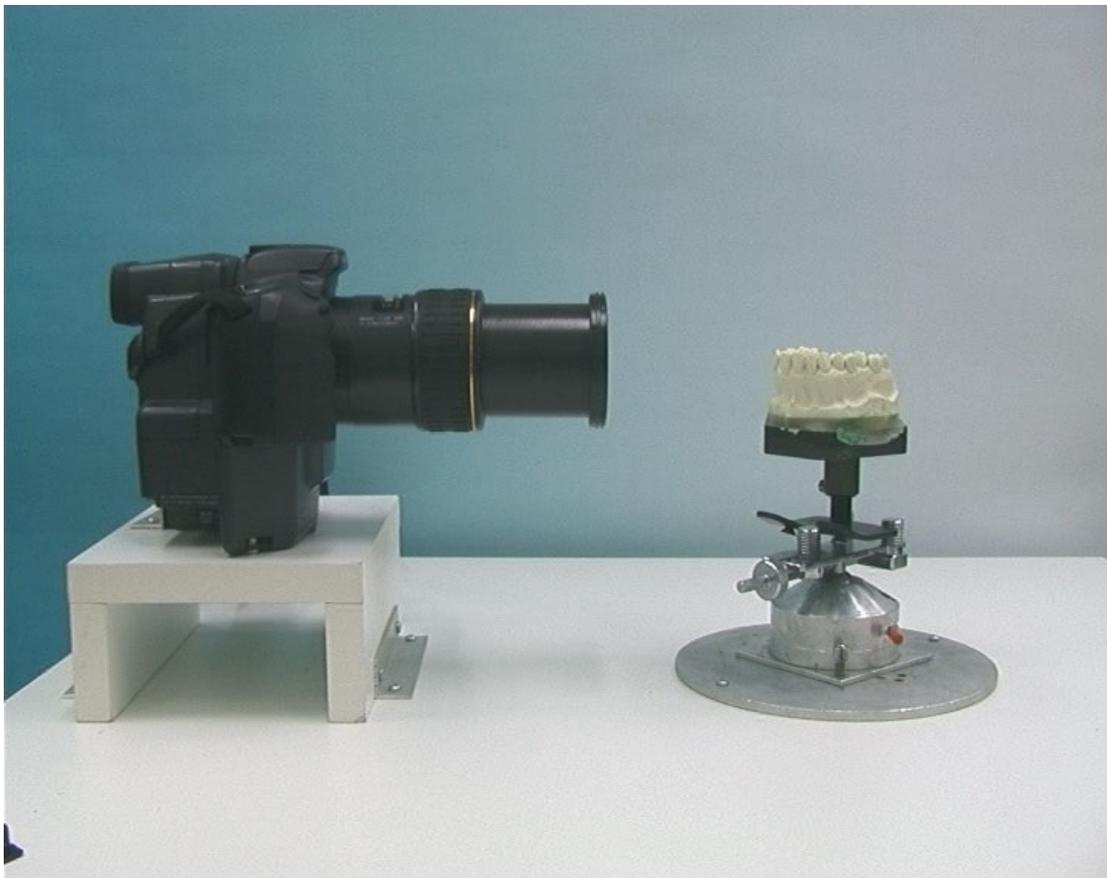


ABBILDUNG 13: *MODELL AM ANALYSEARBEITSPLATZ BEFESTIGT*

Die Abbildung 13 zeigt die Spiegelreflexkamera am standardisierten Arbeitsplatz zur Auswertung der Putzergebnisse.

### **3.4 Versuchsablauf**

Vor jedem Versuchsdurchlauf wird das Modell mit einer Handbürste und anschließend am Dampfstrahler Triton (Bego, Bremen, Deutschland) gereinigt. Der verwendete Plaqueersatz wird in 5 cm Entfernung zum jeweiligen Zahn für eine Sekunde aufgesprüht. Vorversuche hatten gezeigt, dass eine Applikationszeit von zwei bis drei Sekunden keinen sichtbaren Unterschied aufwies. Die Distanz des Sprühkopfes wird über eine Abstandslehre und die Sprühzeit über eine Stoppuhr eingehalten.

Als nächstes wird die komplette Zahnreihe mit einer Suspension (1:1) der Zahnpasta „Elmer Sensitive®“ benetzt.

Dann befestigt man das Modell am Roboterarbeitsplatz über das Sockelsystem. Nun wird das Putzprogramm des Roboters über den PC gestartet. Die vestibulären und okklusalen Flächen werden gereinigt (Abb. 14). Danach muss das Modell unter fließendem Wasser vorsichtig von der Zahnpasta befreit werden.

Die auszuwertenden Bereiche werden am Fotoarbeitsplatz mit den genannten Einstellungen fotografiert.

Die Bilder werden in das Auswertungsprogramm „PicEd Cora®“ geladen. Dort werden die für die jeweiligen Zähne entworfenen „Gebiete“ kongruent zu dem Zahnumriss positioniert und die entsprechende Farbmaske geladen. Über das Feld „Ausführen“ wird die verbliebene Plaque rot eingefärbt. Im Menüfeld „Analyse“ muss die „Flächenanalyse“ angeklickt werden, und nachdem die zuvor beschriebenen Parameter eingestellt wurden, wird über „Start“ die Auswertung in einem Diagramm dargestellt.

Die so erhaltenen Ergebnisse werden in der Tabellenkalkulation „Excel®“ zusammengefasst.

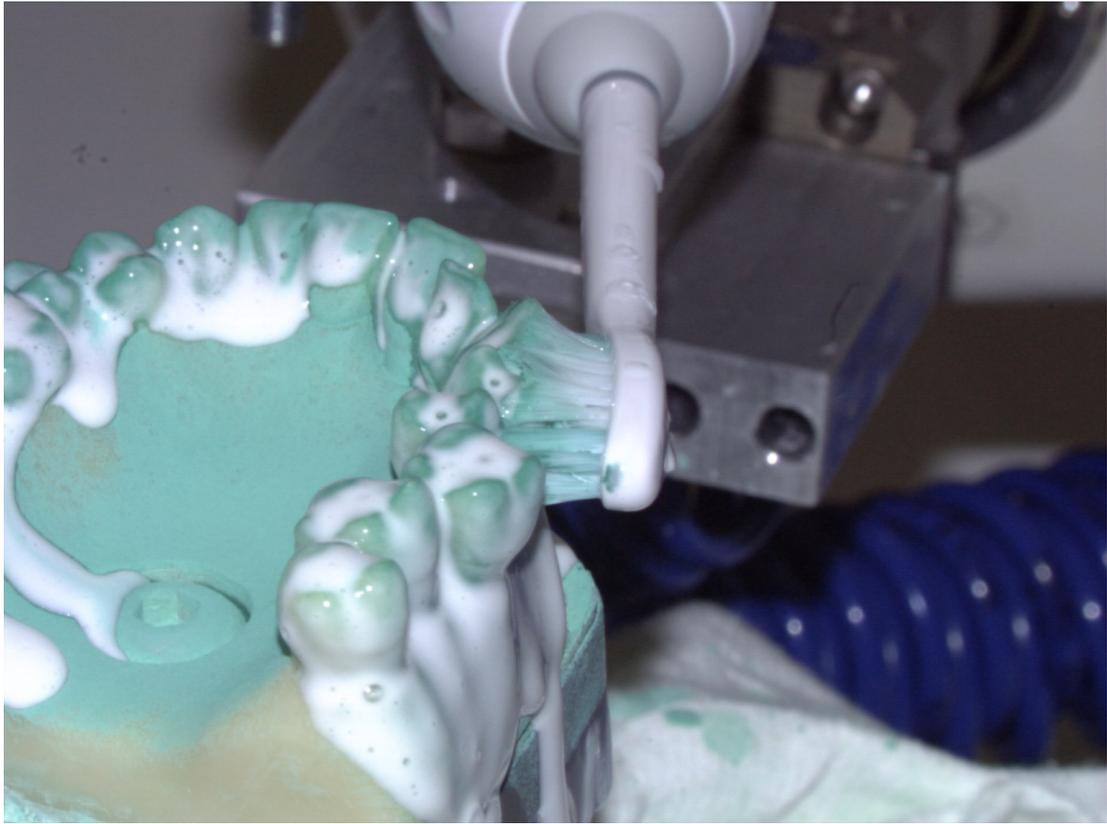


ABBILDUNG 14 : *ROBOTER BEIM PUTZVORGANG*

Die Abbildung 14 zeigt das mit der Zahnpastasuspension versehene Phantommodell während des Putzvorgangs am Roboterarbeitsplatz.

### 3.5 Auswertung

Die Bildanalyse wird mit der Software „PicED Cora 8.4“ (JOMESA Meßsysteme GmbH, München, Deutschland) durchgeführt. Nach dem Programmstart wird automatisch eine leere Arbeitszelle geöffnet. Auf dem linken Bildschirmrand wird der Benutzer durch einen Menüstreifen unterstützt, wobei der gegenwärtig eingestellte Arbeitszustand bzw. die Funktion „invert“ dargestellt ist. Einzelne Funktionen können aus der Windows®-Kopfzeile (Pull-Down-Menüs) gewählt werden.

Durch Anklicken von „Lesen nach Namen“ wird das Einlesen einer Grafik ermöglicht. Das geladene Bild muss unter den Menüpunkt „Ansicht“ auf „50 %“ verkleinert werden. Die Abbildung 15 zeigt einen eingelesenen Bereich, der im Folgenden ausgewertet werden kann.

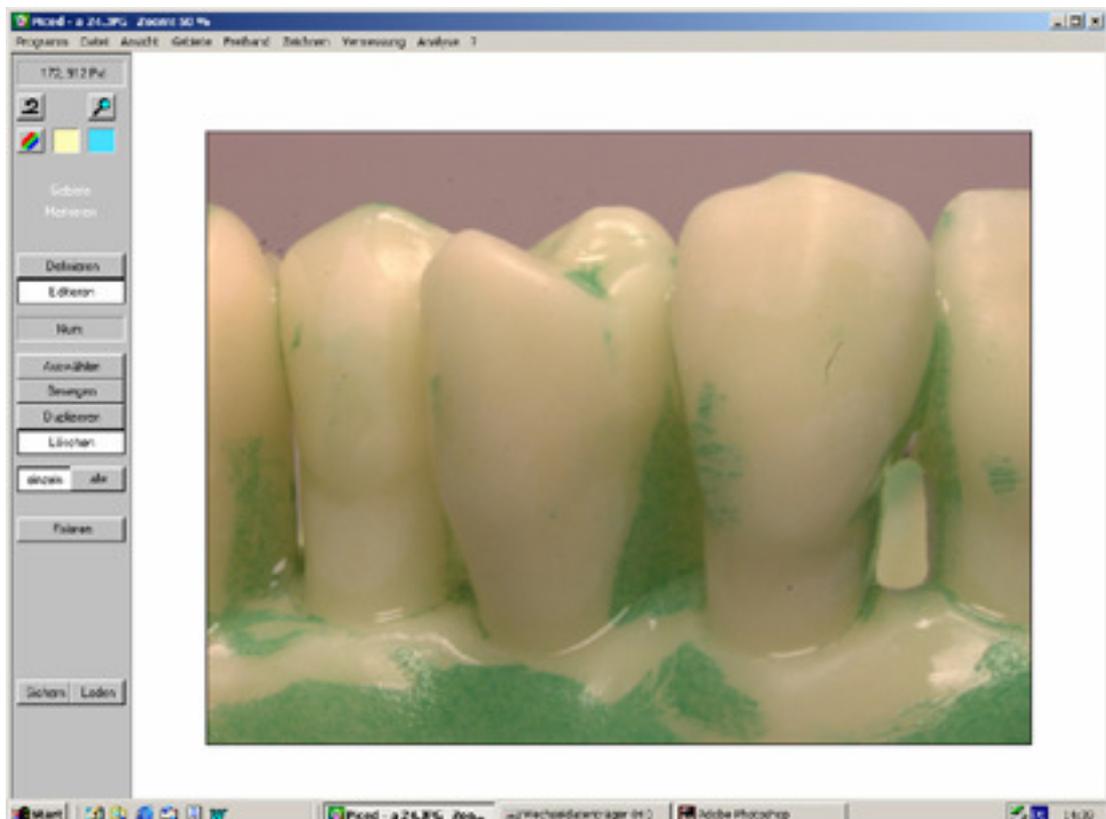


ABBILDUNG 15: AUSSCHNITT AUS PICED CORA 8.4, ZAHN 23 BIS 25

Das Markieren eines beliebigen Bereiches des Bildes wird durch die Auswahl des Menüpunktes „Gebiete“ ermöglicht. Dazu muss im Menüstreifen am linken Bildschirmrand das Feld „Definieren“, zum anderen das Feld „Setzen“ aktiviert werden. Dann kann man mit der Maus an einen Randpunkt des zu markierenden Objektes fahren. Um diesen Punkt zu fixieren, lässt man die linke Maustaste los. Mit gedrückter Maustaste wird nun der nächste Randpunkt angefahren. Auf die gleiche Weise wird der ganze auszuwertende Bereich markiert. Sobald man das definierte Gebiet geschlossen hat, ist das Feld „Start/Ende“ im Menüstreifen anzuwählen. Das Programm betrachtet das abgegrenzte Feld nun als eigenständigen Bereich. Modifikationen lassen sich über den Menüpunkt „Bewegen“, „Löschen“ und „Einfügen“ erreichen. Bei einer aktivierten „Linear“-Option wird die Verbindungslinie zweier markierter Punkte als Gerade dargestellt. Werden die Punkte in der „Bezier“-Einstellung gesetzt, wird zwischen drei Punkten eine „Bezier“-Kurve gelegt, die vereinfacht als Bogen beschrieben werden kann.

Diese Einstellung ist für die Markierung der abgerundeten Modellzähne zu bevorzugen.

Ein festgelegtes Objekt kann mit „Sichern“ gespeichert oder mit „Laden“ wieder eingeladen werden.

Für diese Versuchsanordnung wurden die Bereiche 17, 11 - 12, 22 - 23, und 23 - 25 markiert. Alle Gebiete begrenzen nicht nur die Zahnform, sondern fassen auch die marginale Gingiva mit ein. Beim Abstecken der approximalen Regionen wurde die Licht-Schattengrenze als Abschluss genommen.

Durch Speicherung dieser vier Bereiche ist es nun möglich, diese als eine Schablone auf alle auszuwertenden Fotos zu übertragen.

Vor der Auswertung muss noch der Kontrast angehoben werden, um die Farbunterschiede zwischen künstlicher Plaque und Phantommodell zu verstärken. Dies geschieht über die Menüpunkte „Gebiete“ und „Helligkeit/Kontrast“: im linken Menüstreifen müssen nacheinander „Gebiet“, „Kontrast“ und „Setze Kontrast“ angewählt werden. Die Vorversuche hatten gezeigt, dass eine allgemeine Kontrasterhöhung um 30 % die besten Ergebnisse brachte. Dazu muss der Schieber in der „ALL“-Region auf „+ 30“ verschoben und das ausgewählte Bild mit der Maus angeklickt werden. Die Abbildung 16 zeigt einen für die folgende Auswertung markierten Bereich. Der Kontrast wurde wie zuvor beschrieben erhöht.

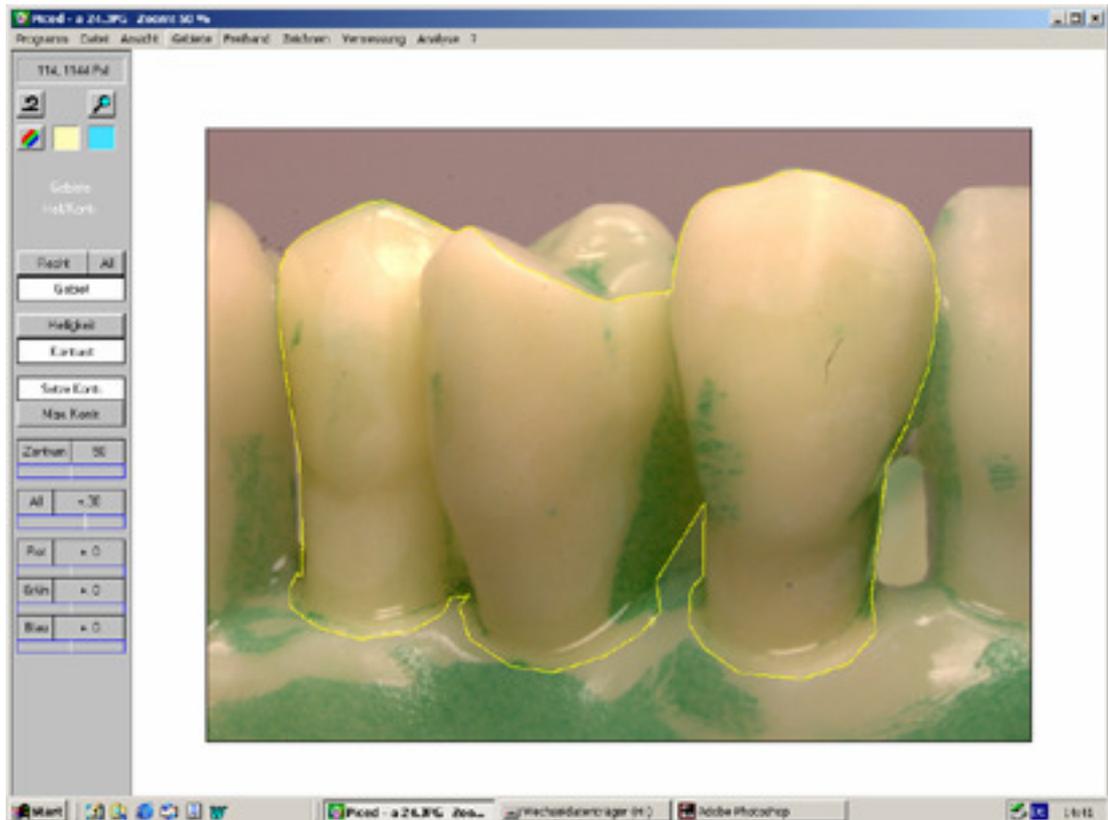


ABBILDUNG 16: ZUR AUSWERTUNG DEFINIERTES GEBIET

Nun erfolgt die Auswertung. Die verbliebene Farbe wird anhand von Farbkriterien ermittelt. Hierzu klickt man über den Menüpunkt „Analyse“, „Objekt-Filter“ auf „Gebiet“, „Definieren“ in dem Menüstreifen. Es erscheint ein Auswahlfenster, in welchem die eigentlichen Einstellungen zur Definition der Objektklassen stattfinden. Man kann nun eines von vier Farbsystemen (RGB, HLS, CMY, HSV) auswählen. Für unsere Untersuchung wurde das HLS-System (Hue-Lightness-Saturation) verwendet.

Als nächstes wählt man, wie die Abbildung 17 zeigt, das Feld „Ber. Histo.“; damit wird ein Farbhistogramm des Bildes berechnet und in einem Graphen dargestellt. Über zwei Balken können nun die Grenzwerte in den Bereichen Farbton, Helligkeit und Sättigung selektiert werden. Dieses kann entweder direkt im Histogramm oder durch Anklicken der Farbwerte im Bildfenster geschehen. Die Grenzwerte für Farbton, Helligkeit und Sättigung der einzelnen Bereiche werden rechts im gleichen Fenster angezeigt.

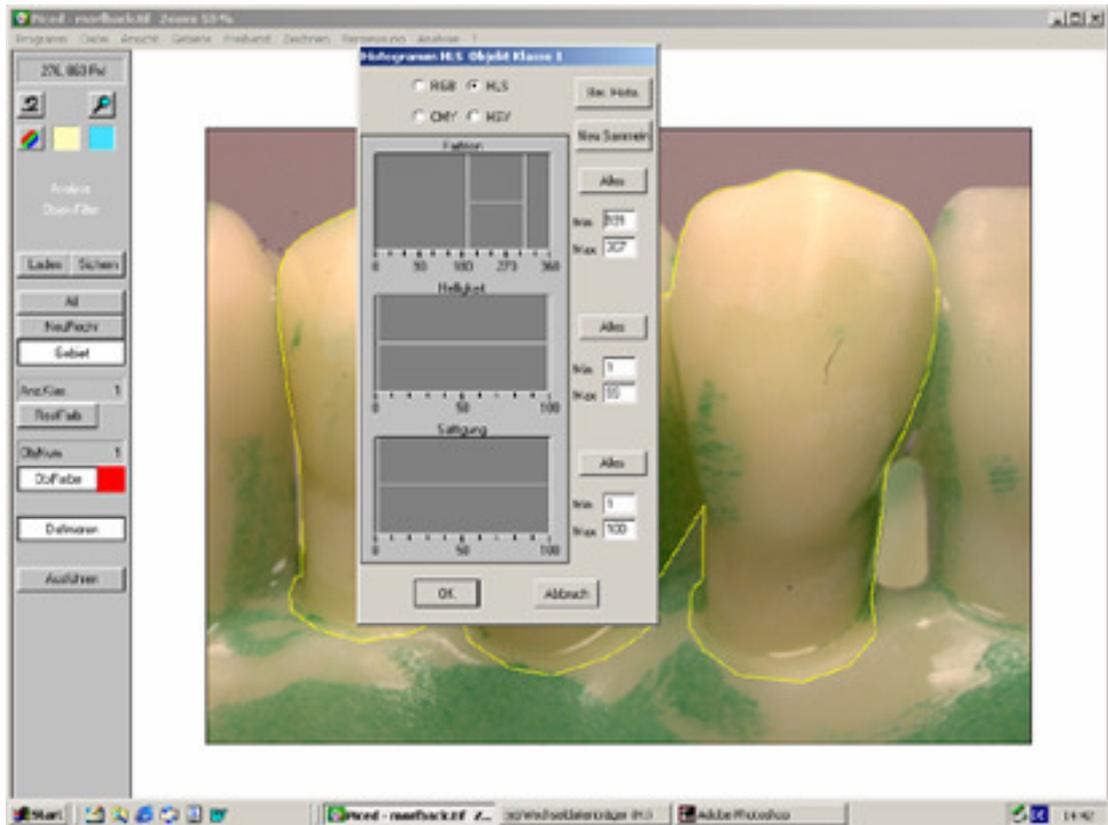


ABBILDUNG 17: DAS HISTOGRAMM ZEIGT FARBEREICHE FÜR ZAHN 23 - 25 AN

Für jede auszuwertende Region musste eine eigene Farbmaske eingestellt werden, denn jeder von diesen Bereichen hat durch unterschiedliche Formen ein individuelles Licht- und Schattenspiel. Durch diese Tatsache wirken die Farben des Plaqueersatzes und des Kunststoffmodells unterschiedlich. So wurden die Farbmasken in einigen Vorversuchen für alle vier Auswertungsbereiche festgelegt.

In der Tabelle 3 sind die Grenzwerte für Farbton, Helligkeit und Sättigung für jeden Bereich aufgeführt.

Zahn	Farbton (0 - 359)	Helligkeit (0 - 100)	Sättigung (0 - 100)
17	184 - 307	1 - 100	1 - 100
11, 12	187 - 307	1 - 100	1 - 100
22, 23	196 - 307	1 - 100	1 - 100
23, 24, 25	191 - 307	1 - 100	1 - 100

TABELLE 3: GRENZWERTE DER VERWENDETEN FARBMASKE IM HLS-SYSTEM

Nun gibt es drei Möglichkeiten, die Farben des Bildes zu filtern. Es kann die „Restfarbe“ (der saubere Bereich) oder die „ObjFarbe“ (künstliche Plaque) homogen eingefärbt werden. Genauso ist es möglich, einen der beiden Bereiche zu markieren und den anderen unmarkiert zu belassen.

„RestFarbe“ Rot; „ObjFarbe“ aus	Der Hintergrund wird homogen rot eingefärbt; die Objekte werden im Farbwert belassen.
„RestFarbe“ aus; „ObjFarbe“ Rot	Der Hintergrund wird im Farbwert belassen; die Objekte werden homogen rot dargestellt.
„RestFarbe“ Rot; „ObjFarbe“ Grün	Der Hintergrund wird homogen rot; Objekte werden homogen grün eingefärbt.

TABELLE 4: *MÖGLICHKEITEN DER FILTERUNG*

In dem vorliegenden Versuch wurde die „Plaque“ rot eingefärbt, da es so leichter zu erkennen ist, ob alle nicht-gereinigten Bereiche markiert sind.

Nachdem das Anfärben über die Funktion „Ausführen“ erfolgte, besteht die Möglichkeit über die Anwahl von „Neundef.“ in dem Menüstreifen, die rot markierten Gebiete wieder zu löschen und die Objektfilter-Einstellungen zu modifizieren. So kann man fortfahren, bis eine ideale Einstellung erreicht wurde. Die festgelegten Parameter lassen sich mit den Feldern „Sichern“ und „Laden“ leicht auf die folgenden Bilder übertragen.

Sind die Parameter für einen Auswertungsbereich festgelegt, erfolgt die Analyse der Versuchsdurchläufe bei unveränderten Einstellungen.

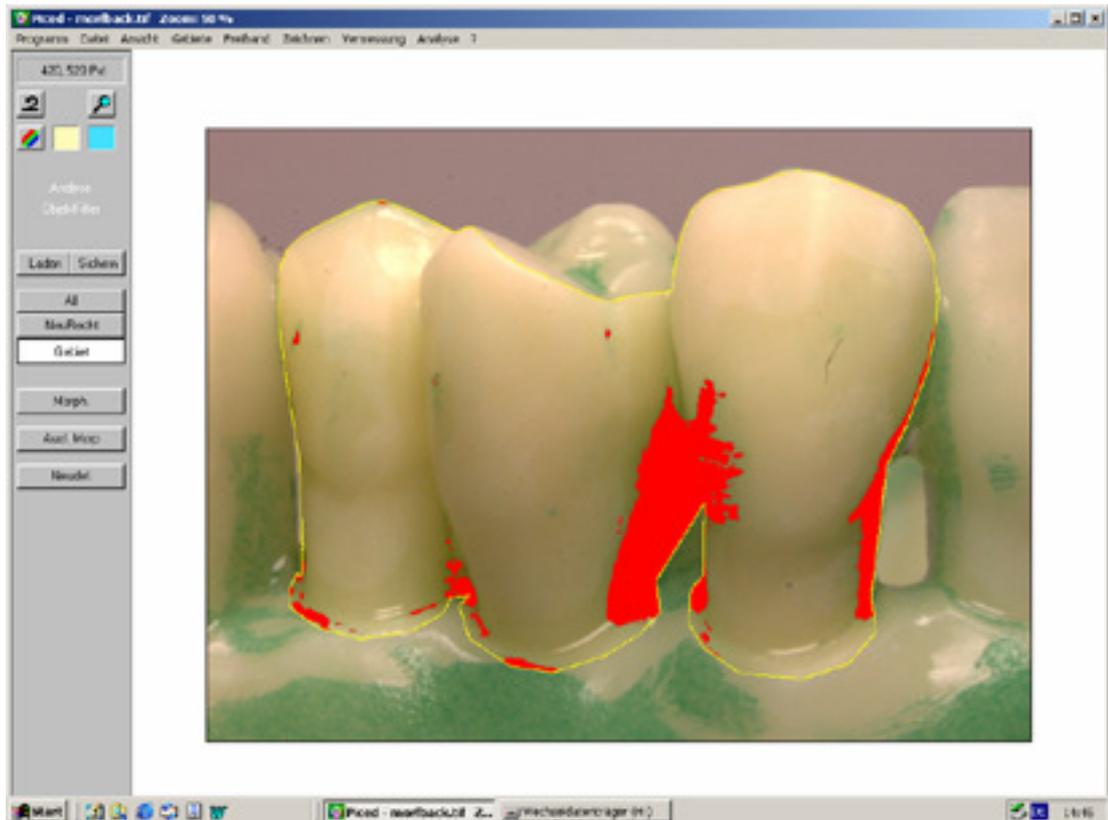


ABBILDUNG 18: IM BEREICH 3 MARKIERTE „PLAQUE“

Die Abbildung 18 zeigt die im Auswertungsbereich rot markierte „Plaque“.

Nachdem der Plaqueersatz markiert worden war, erfolgte die quantitative Berechnung des Restbelags. Die Auswahl von „Flächen Analyse“ unter „Analyse“ ermöglicht diese. Nun muss im Feld „Objekte“ das Dialogfenster entsprechend ausgefüllt werden. Durch die Option „Statistik“ erhält man ein komplettes Histogramm und die prozentualen Anteile an Plaque für das ausgewählte Gebiet. Über das Feld „Start“ wird die quantitative Analyse durchgeführt. Der Anteil an „Restplaque“ wird für die statistische Auswertung entnommen.

In der Abbildung 19 sieht man die graphische Darstellung der Auswertung. Der prozentuale Anteil der „Plaque“ an dem Gesamtbereich ist rechts neben dem Graphen aufgeführt.

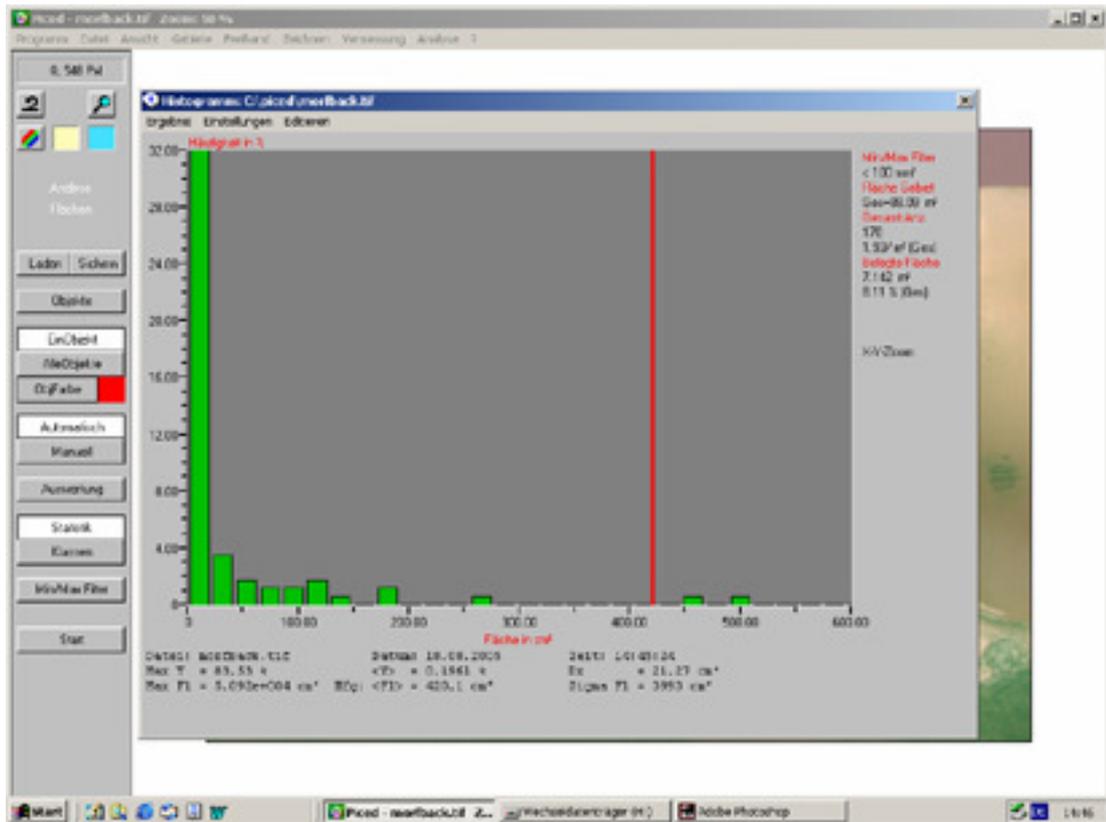


ABBILDUNG 19: QUANTITATIVE ANALYSE DER „RESTPLAQUE“

Die so gewonnenen Ergebnisse werden in der Tabellenkalkulation Excel® der Firma Microsoft® übernommen und anschließend in Statview® statistisch ausgearbeitet.

### 3.6 Vorversuche zur Standardisierung des Anpressdrucks

Sowohl *Mc Cracken* als auch *Van der Weijden* messen dem Anpressdruck eine untergeordnete Rolle hinsichtlich der Putzeffektivität bei. *Mc Cracken* stellte 2003 heraus, dass bei einer Anpresskraft von über 1,5 Newton und einer konstanten Putzdauer von zwei Minuten keine Verbesserung der Putzleistung durch eine Steigerung des Anpressdrucks erfolgt [54]. *Van der Weijden* ist der Meinung, dass zwischen der ausgeübten Kraft und der Effektivität der Plaque-Entfernung keine Korrelation besteht. Nach seinen Untersuchungen fallen andere Einflüsse wie die Putzdauer und die richtige Instruktion mehr ins Gewicht [80].

Dennoch wurde angestrebt, für die Versuchsreihen den Anpressdruck zu standardisieren. Die Positionen des Bürstenkopfes sind zwar durch das Roboterprogramm reproduzierbar, doch der Roboter ist nicht in der Lage, die Kraft die der Bürstenkopf auf das Modell ausübt, zu messen.

Um den Anpressdruck in unserer Versuchsreihe zu überprüfen, wurde eine Messvorrichtung an die elektrische Zahnbürste montiert. Diese Apparatur ermöglicht die Aufnahme der Auslenkung des Bürstenkopfes. Das in Abbildung 20 gezeigte Messinstrument bestätigte die Konstanz der Auslenkung und somit des Anpressdrucks während des gesamten Putzvorgangs.

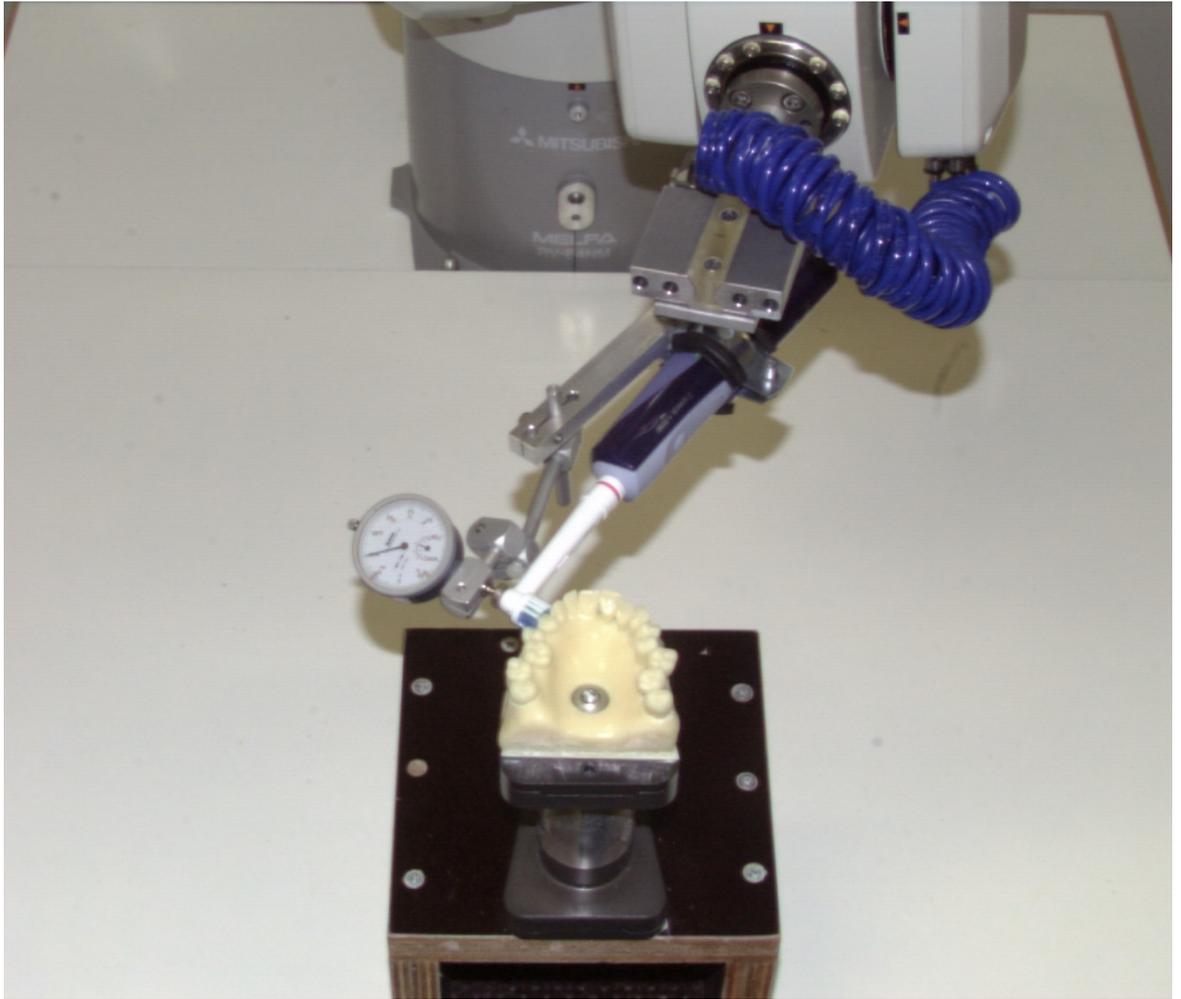


ABBILDUNG 20: *BÜRSTE MIT MESSGERÄT*

## 4 Ergebnisse

Insgesamt wurden in 120 Messreihen 480 Ausschnittsvergrößerungen erstellt und analysiert. Jede Bürste durchlief 30 Putzgänge, bei denen nach jeweils 10 ein neuer Bürstenkopf verwendet wurde. Das geputzte Phantommodell wurde in vier Regionen erfasst, so dass insgesamt acht Zähne pro Putzvorgang ausgewertet wurden.

Die Bereiche der Zähne 17, 11 - 12, 22 - 23 und 23 - 25 und die entsprechende marginale Gingiva wurden fotografiert. Die verbliebene Plaque wurde mit der Software „PicED Cora 8.4“ berechnet.

Die statistische Auswertung wurde für die Bereiche mit und ohne gingivale Rezessionen und als Gesamtergebnis erstellt. Die durchgeführten t-Tests lassen eine Gesamtbeurteilung für die jeweiligen Bürstentypen zu. Es wurden auch die Unterschiede der Effektivität in parodontal-geschädigten Regionen und in Bereichen ohne Rezessionen statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse für die einzelnen Bereiche wurden graphisch in einer Boxplot-Grafik dargestellt. Die statistische Auswertung der Gesamtuntersuchung und für die Bereiche ohne und mit Gingivarezessionen wurden mit dem t-Test (ungepaart) durchgeführt. Anschließend wurde das Signifikanzniveau ( $p = 0,05$ ) mittels der Bonferroni-Korrektur modifiziert. Dafür muss  $p$  durch die Anzahl der insgesamt durchgeführten t-Tests dividiert werden.

$$p / \text{Anzahl der t-Tests} = p_1$$

$$0,05 / 18 = 0,0027$$

$p$  = Signifikanzniveau

$p_1$  = mit *Bonferroni-Korrektur* geändertes  $p$

Anzahl der t-Tests = 18

Je mehr Tests durchgeführt werden, desto "überhöhter" sind die üblichen Signifikanzangaben. Mit einem einzigen Test und einem  $\alpha$ -Wert von 0,05 ist die Wahrscheinlichkeit, die Null-Hypothese korrekterweise zu akzeptieren

$(1 - 0,05) = 0,95$ . Führen wir zwei unabhängige Tests durch, so wird diese Wahrscheinlichkeit deutlich reduziert (für  $p$ :  $0,95^2 = 0,90$ ). Das bedeutet ebenso eine deutliche Änderung des entsprechenden  $\alpha$ -Werts von 0,05 auf 0,1. Diese Fehlerquelle wird als  *$\alpha$ -Fehler-Kumulierung* bezeichnet.

Um diesen Fehler auszugleichen, führt man die *Bonferroni-Korrektur* durch. Man multipliziert das einfache Signifikanzniveau  $p$  mit der Anzahl der Tests. So wird das Signifikanzniveau angepasst. Liegen diese so veränderten Signifikanz-Werte immer noch unter dem ursprünglichen  $\alpha$ -Wert (0,05), so können sie als signifikant betrachtet werden. Umgekehrt kann  $p$  durch Teilen mit der Anzahl von t-Tests korrigiert werden. Das heißt im vorliegenden Fall, in dem achtzehn t-Tests durchgeführt wurden, sind alle Werte für  $p < 0,0027$  signifikant.

Die Ergebnisse wurden in der Form von Boxplots dargestellt. Der Boxplot ist eine graphische Darstellung zur Charakterisierung der Verteilung der Werte beruhend auf Quartilen oder Perzentilen. Unterhalb des ersten Quartile liegt ein Viertel der Werte. Das zweite Quartil wird als Median bezeichnet. Oberhalb des dritten Quartils liegen die oberen fünfundzwanzig Prozent der Werte. Der Interquartilsabstand wird als Kasten (engl.: box) dargestellt. Im Kasten wird der Median durch eine Linie gekennzeichnet. Beim Median werden die Werte der Größe nach geordnet. Bei einer geraden Anzahl von Daten bildet man das arithmetische Mittel der beiden mittleren Werte. Die so erhaltene Zahl hat die Eigenschaft, dass die Hälfte der Werte darunter, die Hälfte darüber liegt. Der Median hat somit gegenüber dem Mittelwert den Vorteil, dass sich einzelne stark abweichende Werte nicht so stark auf ihn auswirken. Abbildung 21 zeigt ein Boxplot-Diagramm mit der entsprechenden graphischen Verteilung der Messwerte.

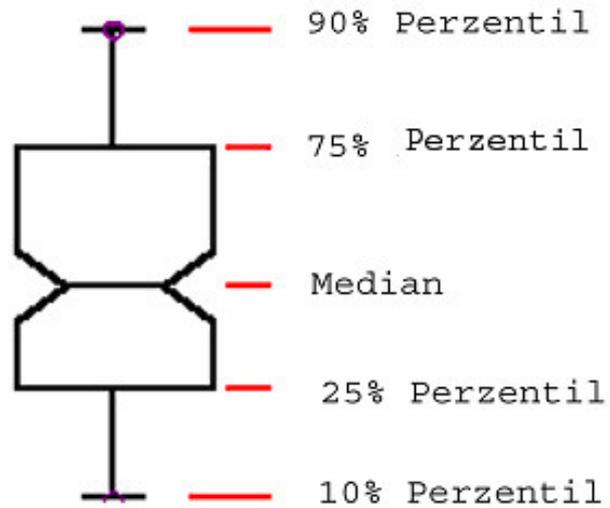


ABBILDUNG 21: *BOXPLOT-DIAGRAMM*

Die Auswertung der Ergebnisse ist in die Bereiche mit und ohne simulierte Gingivarezessionen aufgeteilt. Ebenso erfolgte eine zusammenfassende Betrachtung der einzelnen Teilbereiche.

## 4.1 Auswertung der Gesamtuntersuchung

Aus Tabelle 5 (Gesamtergebnis der vier elektrisch betriebenen Zahnbürsten) wird deutlich, dass alle die künstliche Plaque zu über 90 % (Restplaque < 10 %) entfernen konnten.

Dennoch gibt es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Bürsten. So hat die „Professional Care“ von Oral B das beste Ergebnis mit 94,8 % erzielt, gefolgt von der „Sonic Complete“ mit 93,3 % und der „Colgate Actibrush“ mit 91,5 %. Die „Sonicare Elite“ konnte 90,5 % der Plaque entfernen. In der Grafik (Abbildung 22) wird die Restplaque in Prozent angegeben. Die Mittelwerte der Restplaque als auch die Standard-Abweichung können der Tabelle 5 entnommen werden.

Zahnbürste	Median Restplaque [%]	Mittelwert Restplaque [%]	Standard- Abweichung
Colgate	8,235	8,454	± 3,317
Professional	5,08	5,192	± 2,882
S. Complete	6,88	6,672	± 2,382
Sonicare	9,12	9,493	± 2,290

TABELLE 5: MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR DIE  
GESAMTUNTERSUCHUNG

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen überwiegend signifikante Unterschiede an. Lediglich der Vergleich zwischen der „Sonicare Elite“ und der „Colgate Actibrush“ weist keine Signifikanz auf ( $p = 0,0051$ ). Die Signifikanzen sind für die Vergleiche der Bürsten untereinander sehr hoch. Eine Signifikanz liegt bei  $p < 0,0027$ . Die Werte für  $p$  können der Tabelle 6 entnommen werden.

	p-Wert
Colgate vs. Professional	< 0,0001
Colgate vs. S. Complete	< 0,0001
Colgate vs. Sonicare	0,0051
Professional vs. S.Complete	< 0,0001
Professional vs. Sonicare	< 0,0001
S. Complete vs. Sonicare	< 0,0001

TABELLE 6: UNGEPAARTER T-TEST FÜR DIE GESAMTUNTERSUCHUNG

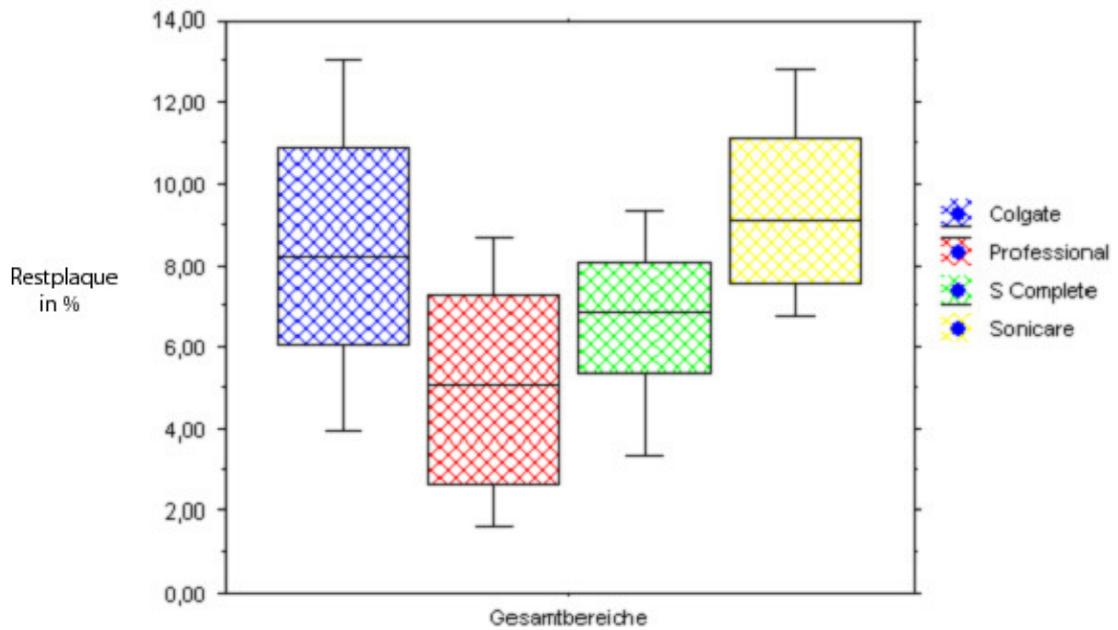


ABBILDUNG 22: PUTZEFFEKTIVITÄT DER VIER ZAHNBÜRSTEN IN DER GESAMTEN UNTERSUCHUNG

## 4.2 Bereiche ohne Gingivarezessionen

In den Bereichen ohne Gingivarezessionen hat die „Professional Care“, eine Zahnbürste mit oszillierendem Rundkopf am effektivsten gereinigt. Mit nur 3,1 % Restplaque im zweiten Bereich zeigte die rotierend oszillierende Zahnbürste ein sehr gutes Ergebnis. Sie hatte im ersten und zweiten Bereich signifikant besser die Beläge entfernt als die übrigen Bürsten.

Die Zahnbürsten „Colgate Actibrush“ und die „Sonic Complete“ hinterließen mit 6 % und 7 % etwa die doppelte Menge an Restplaque. Wie aus Tabelle 7 ersichtlich ist, unterscheiden sich „Colgate Actibrush“ und „Sonic Complete“ in Bereichen ohne Gingivarezessionen nicht signifikant ( $p = 0,0185$ ) voneinander.

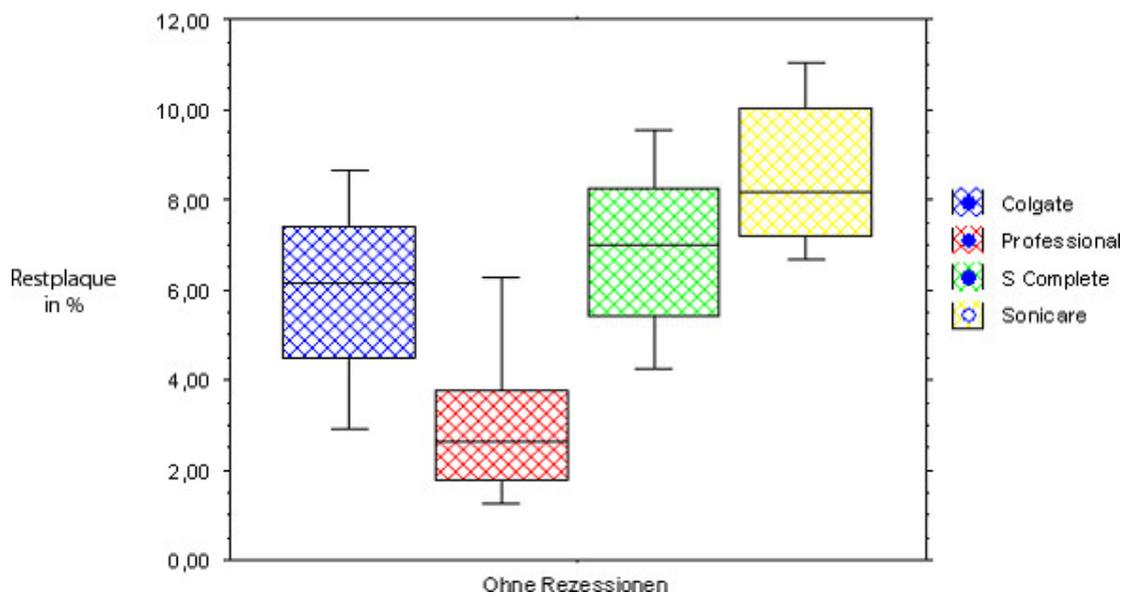


ABBILDUNG 23: PUTZEFFEKTIVITÄT DER VIER ZAHNBÜRSTEN IN DEN BEREICHEN OHNE GINGIVAREZESSIONEN

	p-Wert
Colgate vs. Professional	< 0,0001
Colgate vs. S. Complete	0,0185
Colgate vs. Sonicare	< 0,0001
Professional vs. S. Complete	< 0,0001
Professional vs. Sonicare	< 0,0001
S. Complete vs. Sonicare	< 0,0001

TABELLE 7: *T-TEST FÜR DEN BEREICH OHNE REZESSIONEN*

Die „Sonicare“ reinigte verglichen mit den anderen elektrischen Zahnbürsten signifikant schlechter. Sie hinterließ 8,6 % Plaque.

Zahnbürste	Median Restplaque [%]	Mittelwert Restplaque [%]	Standard- Abweichung
Colgate	6,18	6,004	± 2,127
Professional	2,645	3,121	± 1,950
S. Complete	6,98	6,998	± 2,424
Sonicare	8,185	8,582	± 1,783

TABELLE 8: *MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR DEN BEREICH OHNE REZESSIONEN*

### 4.3 Bereiche mit simulierten Gingivarezessionen

Die Bereiche mit simulierten Gingivarezessionen wurden insgesamt schlechter gereinigt als die ohne Rezessionen. In diesen Teilbereichen waren die „Sonic Complete“ und die „Professional Care“ effektiver als die „Colgate Actibrush“ und die „Sonicare Elite“. Im direkten Vergleich war die „Sonic Complete“ in diesem Bereich der „Professional Care“ leicht überlegen. Wie Tabelle 9 zu entnehmen ist, weist der Unterschied der Ergebnisse aber keine Signifikanz auf ( $p > 0,0027$ ).

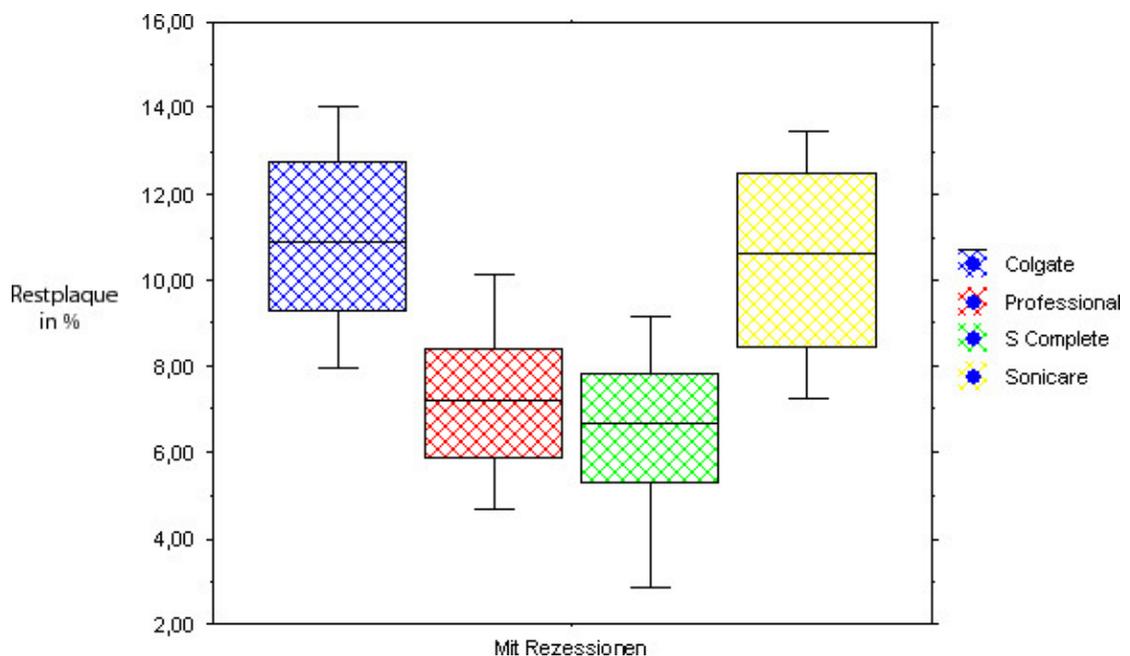


ABBILDUNG 24: PUTZEFFEKTIVITÄT DER VIER ZAHNBÜRSTEN IN DEN BEREICHEN OHNE GINGIVAREZSSIONEN

	p-Wert
Colgate vs Professional	< 0,0001
Colgate vs. S. Complete	< 0,0001
Colgate vs. Sonicare	0,2498
Professional vs. S.Complete	0,0234
Professional vs. Sonicare	< 0,0001
S. Complete vs. Sonicare	< 0,0001

TABELLE 9: *T-TEST FÜR DEN BEREICH MIT REZESSIONEN*

Die „Colgate Actibrush“ mit 10,9 % Restplaque und die „Sonicare Elite“ mit 10,4 % hinterließen in diesen Bereich die meisten Rückstände. Voneinander unterschieden sie sich nicht signifikant.

Zahnbürste	Median Restplaque [%]	Mittelwert Restplaque [%]	Standard-Abweichung
Colgate	10,85	10,903	± 2,338
Professional	7,205	7,264	± 2,054
S. Complete	6,79	6,347	± 2,313
Sonicare	10,6	10,404	± 2,390

TABELLE 10: *MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR DEN BEREICH MIT REZESSIONEN*

#### 4.4 Einzelne Bereiche im Vergleich

Die unten aufgeführte Grafik zeigt die einzelnen Ergebnisse in allen vier ausgewerteten Bereichen. Auffällig ist, dass mit der Ausnahme der „Sonic Complete“ alle anderen Zahnbürsten in den Bereichen ohne Gingivarezessionen mehr Plaque entfernen als in den Bereichen mit Gingivarezessionen. Dieses Ergebnis bestätigt die Annahme, dass Zähne, die Gingivarezessionen aufweisen, schwieriger zu reinigen sind.

Die „Sonic Complete“ hinterlässt in den Bereichen eins bis vier einen Anteil an Restplaque zwischen 6,0 und 7,1 %. Die Mittelwerte der „Sonic Complete“ schwanken zwischen den vier Bereichen nur gering.

In den Bereichen ohne Gingivarezessionen hat die „Professional Care“ am effektivsten gereinigt. Mit nur 2,3 % im ersten und 4 % Restplaque im zweiten Bereich zeigt die rotierend-oszillierende Zahnbürste ein gutes Ergebnis. Sie hat im ersten und zweiten Bereich signifikant besser die Beläge entfernt als die übrigen Bürsten.

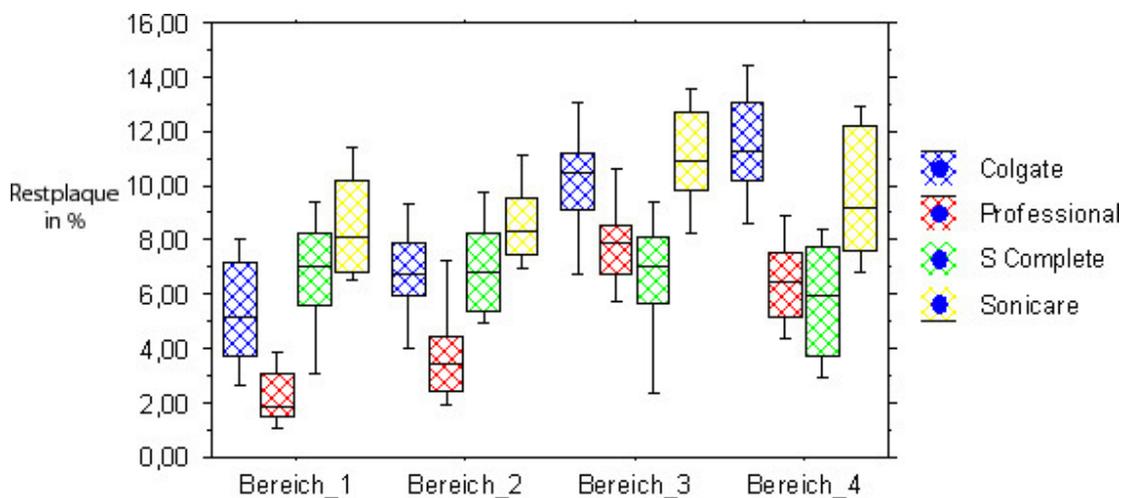


ABBILDUNG 25: PUTZEFFEKTIVITÄT DER VIER ZAHNBÜRSTEN IN DEN EINZELNEN BEREICHEN

## **5 Diskussion**

Mit der vorliegenden Studie wurde beabsichtigt, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem man in vitro elektrische Zahnbürsten im Bezug auf ihre Reinigungseffektivität untersuchen kann. An einem Phantommodell mit Zahnfehlstellungen und simulierten Parodontalschäden wurden zwei Schallzahnbürsten, eine batteriebetriebene und eine rotierend-oszillierende elektrische Zahnbürste miteinander verglichen.

### **5.1 Diskussion der Methode**

Die vorgestellte Methode ermöglicht, elektrische Zahnbürsten unter dem Aspekt der Putzeffektivität gegenüberzustellen. Es ist gelungen, zahlreiche Parameter zu standardisieren, die in einer klinischen Untersuchung nicht konstant wären.

Die Zahnstellung ist in jedem Versuchsablauf durch die Verwendung eines Kunststoffmodells immer identisch. Weiterhin wurde die ansonsten individuelle Putztechnik durch einen Roboter ersetzt. Durch eine Justierhilfe wird sichergestellt, dass in allen Versuchsreihen die Zahnbürsten gleich ausgerichtet sind. Der Aufbau des fotografischen Arbeitsplatzes erlaubt ein unkompliziertes, reproduzierbares Arbeiten. Das magnetische Sockelsystem für die Positionierung des Phantommodells entspricht der Positionierungshilfe am Roboter, so dass ein schneller und exakter Wechsel zwischen beiden Bereichen gewährleistet wurde.

Der Objektisch am fotografischen Arbeitsplatz kann über Zapfen in die dafür vorgesehenen Stanzungen einrasten. Die Auswertung findet unter konstanten Bedingungen an einem Personal-Computer statt.

Die verwendete Zahnpastasuspension ermöglicht, dass der hydrodynamische Effekt der elektrischen Bürsten ähnlich wie unter In-vivo-Bedingungen zur Geltung kommen kann. Dieses wäre auf einem trockenen Zahnmodell nicht möglich. Ein angefeuchteter Bürstenkopf mit einer gewissen Zahnpastamenge führte nur zu Beginn des Putzvorgangs zu einer verbesserten Putzeffektivität gegenüber dem

trockenen Putzen. Nach etwa sechs geputzten Flächen war kaum noch Zahnpasta auf dem Bürstenkopf vorhanden.

Die Zahnstellung und der simulierte Parodontalschaden entsprechen nicht einer idealen Zahnstellung. Die in der Literatur beschriebenen Versuche beschränken sich auf Zahnmodelle ohne diese Modifikationen. Es war beabsichtigt, die elektrischen Zahnbürsten besonders in schwierig zugänglichen Bereichen zu testen. Die Ergebnisse an einem Modell ohne Zahnfehlstellung würden erwartungsgemäß besser ausfallen.

Die Borsten des Bürstenkopfs wurden an allen Putzpositionen gleich tief in das Phantommodell verschoben, so dass man vom konstanten Anpressdruck an den zu reinigenden Flächen ausgehen kann. Zudem wird dem exakten Anpressdruck nicht mehr solch ein hoher Stellenwert zugesprochen. Nach *Mc Cracken* ist die Reinigungseffektivität ab einer Auflagekraft größer als 150 g nicht wesentlich von dem Anpressdruck abhängig [54]. *Van der Weijden* ordnet dem Anpressdruck ebenfalls eine untergeordnete Rolle bei der Putzeffektivität zu. Die Putzdauer und die Technik sind für das Ergebnis ausschlaggebend [80].

Ein weiteres Problem liegt darin, für jede der zu untersuchenden elektrischen Zahnbürsten das vom Hersteller empfohlene Putzkonzept umzusetzen. Diese weichen etwas voneinander ab. Philips gibt an, den Bürstenkopf nur an der Zahnreihe vorbeizuführen und an jedem Zahn kurz zu verweilen. Oral B und Colgate empfehlen, den Bürstenkopf um jeden Zahn herumzuführen. Die erste der beiden Empfehlungen wurde in einigen Vorversuchen für alle vier Bürsten umgesetzt. Der Roboter fuhr jeweils einen Punkt an der vestibulären Fläche jedes Zahnes an und verblieb dort für 1,4 Sekunden. Diese Zeitspanne entspricht der auf ein komplettes Gebiß hochgerechneten Zeit, die von allen vier Herstellern empfohlen wird. Durch die Zahnfehlstellung erreichten die Filamente die interdentalen Bereiche überhaupt nicht. So entschieden wir uns für eine Putzmethode, bei der die vestibulären Zahnflächen mit dem Bürstenkopf umfahren wurden. Bei diesem Versuchsablauf erzielten alle vier Zahnbürsten deutlich bessere Putzergebnisse.

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

Obwohl in der vorliegenden Untersuchung keine der geprüften elektrischen Zahnbürsten den Plaqueersatz zu 100 % entfernen konnte, zeigten alle vier Modelle ein Ergebnis, das jeweils über 90 % lag. Das ist ein gutes Resultat, wenn man bedenkt, dass die Zahnfehlstellung und die simulierten Parodontalrezessionen deutlich höhere Anforderungen an die Bürsten stellen als ein Zahnbogen mit regelrecht stehenden Zähnen.

Vergleicht man die vier elektrischen Zahnbürsten miteinander, so unterscheiden sich die Ergebnisse im gesamten Versuch nicht deutlich voneinander. Es fällt jedoch auf, dass die „Professional Care“ von Oral B sich von den anderen Bürsten in den Bereichen (1 und 2) ohne Rezessionen im Putzergebnis abhebt. Sie entfernt signifikant mehr Plaque als die übrigen getesteten Zahnbürsten ( $p < 0,001$ ). Der Mittelwert der verbliebenen Beläge liegt für die „Professional Care“ bei 3,12 %. Die „Colgate Actibrush“ und die „Sonic Complete“ unterscheiden sich hier nicht signifikant voneinander ( $p = 0,0185$ ). Die „Sonicare Elite“ erzielt in dem Bereich ohne simulierte Parodontalschäden das schlechteste Ergebnis mit einem Mittelwert von 8,58 % Restplaque. Mit dem runden Bürstenkopf und den längeren Borsten am Rand, wie es bei der „Professional Care“ der Fall ist, scheint es einfacher, möglichst viele Borsten gleichzeitig in Kontakt mit dem Zahn zu bringen. Die „Colgate Actibrush“, die ein ähnliches Bürstenkopfdesign aufweist, erzielt in diesen Bereichen (1 und 2) das zweitbeste Ergebnis. Dies ist in den Abbildungen 23 und 25 zu entnehmen.

Die Bereiche, die durch simulierte Rezessionen gekennzeichnet sind, werden von der „Sonic Complete“ und der „Professional Care“ in ähnlich gründlicher Weise gereinigt. Das etwas bessere Ergebnis liefert hier die „Sonic Complete“ mit einem Mittelwert von 6,35 % Restplaque gegenüber 7,26 % nach der Reinigung mit der „Professional Care“. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant ( $p = 0,0234$ ). Die „Sonicare Elite“ mit 10,4 % Restplaque und die „Colgate Actibrush“ mit 10,9 % reinigten beide signifikant schlechter als die beiden anderen Zahnbürsten ( $p < 0,0027$ ).

Um die unterschiedlichen Ergebnisse der getesteten elektrischen Zahnbürsten zu erklären, ist es wohl am sinnvollsten, die Putzleistung in den einzelnen Bereichen zu vergleichen. Zumindest sollte man die Gebiete, die keine simulierten Rezessionen aufweisen, gesondert betrachten. Denn die Ansprüche, die dort an die Bürsten gestellt werden, sind anders als bei den mit fünf Millimetern Rezessionen versehenen Bereichen.

Eine mögliche Erklärung für das schlechtere Abschneiden der „Sonicare Elite“ ist der schmalere Bürstenkopf. Insbesondere in den Bereichen mit simulierten Gingivarezessionen wurde ein schlechteres Ergebnis erzielt. Die Borstenfläche ist zu klein, um lange Zahnflächen koronal und zervikal gleichzeitig ausreichend zu reinigen.

Die „Colgate Actibrush“ hat einen Bürstenkopf, der dem der „Professional Care“ ähnelt. Der Grund für die schlechteren Putzergebnisse liegt offenbar an der fehlenden oszillierenden Bewegung und an der geringeren Frequenz der rotierenden Komponente. Die „Professional Care“ führt 8.800 Seitwärtsbewegungen pro Minute durch, während die „Colgate Actibrush“ nur mit 5.600 Seitwärtsbewegungen pro Minute reinigt.

Das Ergebnis der Untersuchung bestätigt die Erfahrungen aus vorangegangenen klinischen Studien, dass rotierend-oszillierende Zahnbürsten mehr Plaque entfernen als Schallzahnbürsten. Die „Professional Care“ bzw. das Vorgängermodell ist im Bezug auf die Effektivität der Plaqueentfernung der „Sonicare Elite“ überlegen [66].

## 6 Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war es, einen Arbeitsplatz zur quantitativen Untersuchung der Putzleistung von elektrischen Zahnbürsten zu entwickeln. An einem Phantommodell wurden vier elektrische Zahnbürsten bezüglich ihrer Putzleistung unter standardisierten und reproduzierbaren Bedingungen miteinander verglichen. Dazu wurde das Phantommodell mit einem Plaqueersatzmittel beschickt und nach dem Putzvorgang unter reproduzierbaren Bedingungen fotografiert. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe der Analysesoftware „PicED Cora 8.4“ der Firma JOMESA Meßsysteme GmbH.

Es konnten viele Faktoren des Putzvorgangs im Vergleich zu einer In-vivo-Untersuchung konstant gehalten werden. Somit war es möglich, die Ausrichtung des Bürstenkopfs, die Zahnstellung, die künstliche Plaque, die Zahnpasta und die Putzzeit konstant zu halten.

Für die Versuche wurden ein Phantommodell, das Zahnfehlstellungen und Gingivarezessionen aufweist, und ein Greifsatz für die elektrischen Zahnbürsten hergestellt. Es wurde ein Programm für die Umsetzung des Putzvorgangs am Roboter entwickelt. Der Arbeitsplatz ermöglicht es, die Putzleistung von elektrischen Zahnbürsten standardisiert zu vergleichen.

Insgesamt wurden in 120 Meßreihen 480 Ausschnittsvergrößerungen erstellt und analysiert.

Alle vier Bürsten waren in der Lage, über 90 % der Beläge zu entfernen.

Es stellte sich heraus, dass die rotierend-oszillierende Zahnbürste „Professional Care“ von Oral B® den drei verbliebenen Zahnbürsten überlegen war.

## Anhang

### MRL-Positionsliste

Die MRL-Positionsliste beinhaltet die genauen Positionskordinaten im Robotersystem. Die XYZ-Werte geben die Lage des ToolCenterPoint (TCP) an. Die Werte für „A, B, und C“ beschreiben die Ausrichtung der Roboterhand zum TCP.

0. X, Y, Z, A, B, C,R,A,F
1. 660.48,-28.93,341.51,136.53,0.1,89.98,R,A,F
2. 656.46,-25.14,341.5,136.53,0.1,89.98,R,A,F
3. 656.46,-25.13,339.62,126.41,0.15,90.26,R,A,F
4. 648.62,-26.14,338.4,126.41,0.15,90.26,R,A,F
5. 647.24,-28.01,339.99,126.41,0.15,90.26,R,A,F
6. 647.23,-28.03,339.6,121.38,0.17,90.25,R,A,F
7. 647.22,-28.03,338.71,115.89,0.19,90.23,R,A,F
8. 647.22,-28.02,338.17,104.41,0.24,90.19,R,A,F
9. 647.22,-28.02,338.77,97.2,0.26,90.16,R,A,F
10. 641.82,-28.68,338.72,97.2,0.26,90.17,R,A,F
11. 640.96,-24.82,338.5,84.54,-0.15,89.27,R,A,F
12. 640.97,-24.82,338.5,98.56,0.03,89.25,R,A,F
13. 640.34,-20.67,340,98.56,0.03,89.25,R,A,F
14. 630.89,-20.49,336.58,110.73,0.16,88.65,R,A,F
15. 630.89,-20.51,337.56,95.51,-0.2,88.66,R,A,F
16. 630.89,-20.53,337.54,86.71,-0.4,88.71,R,A,F
17. 630.88,-20.55,338.52,80.66,-0.53,88.76,R,A,F
18. 626.23,-18.77,338.42,80.66,-0.53,88.76,R,A,F
19. 627,-14.04,340.49,80.66,-0.53,88.76,R,A,F
20. 627.01,-14.07,338.48,72.55,-0.69,88.85,R,A,F
21. 621.82,-8,338.23,83.6,-0.47,88.73,R,A,F
22. 621.82,-8,338.24,74.46,-0.67,88.82,R,A,F
23. 621.81,-8.01,338.23,66.56,-0.82,88.92,R,A,F
24. 616.12,-4.51,338.13,65.49,-0.84,88.94,R,A,F
25. 616.12,-4.5,338.14,55.77,-8.51,89.09,R,A,F

26. 616.11,-4.51,338.11,49.61,-8.83,87.42,R,A,F
27. 616.11,-4.51,338.08,41,-9.11,88.77,R,A,F
28. 616.11,-4.52,338.06,29.5,-9.17,90.6,R,A,F
29. 617.93,0.09,338.86,22.93,-7.66,93.83,R,A,F
30. 617.06,2.09,338.98,22.93,-7.66,93.83,R,A,F
31. 617.23,2.28,337.32,19.3,-4.26,94.31,R,A,F
32. 607.13,-1.27,336.49,19.3,-4.26,94.31,R,A,F
33. 593.49,-55.04,430.85,93.92,9.62,80.07,R,A,F
34. 567.34,11.61,324.64,-18.21,-15.34,-96.64,R,A,F
35. 614.95,4.18,338.42,-30,-15.51,-85.29,R,A,F
36. 614.96,4.17,338.43,-42.43,-14.17,-82.1,R,A,F
37. 614.96,4.17,338.4,-51.83,-12.72,-79.91,R,A,F
38. 622.59,4.1,336.53,-58.29,-11.52,-78.55,R,A,F
39. 624.74,5.73,337.04,-55,-12.15,-79.22,R,A,F
40. 623.28,15.77,335.98,-59.26,-11.33,-78.36,R,A,F
41. 623.28,15.77,335.95,-59.26,-11.33,-85.2,R,A,F
42. 623.27,15.82,335.94,-64.81,-10.82,-84.13,R,A,F
43. 623.27,15.77,335.91,-74.35,-9.71,-82.43,R,A,F
44. 623.27,15.77,335.88,-76.98,-9.35,-84.29,R,A,F
45. 631.14,18.98,336.75,-74.98,-7.87,-83.78,R,A,F
46. 631.12,19.03,336.7,-79.62,-7.32,-83.17,R,A,F
47. 628.42,18.93,336.47,-89.51,-10.14,-84.64,R,A,F
48. 628.42,18.94,336.43,-93.76,-9.72,-85.09,R,A,F
49. 630.9,21.31,336.48,-99.29,-5.4,-85.37,R,A,F
50. 628.43,18.93,336.43,-102.91,-12.86,-83.42,R,A,F
51. 628.43,18.93,336.44,-113.21,-12.74,-83.69,R,A,F
52. 631.52,22.34,336.38,-116.27,-3.81,-86.27,R,A,F
53. 631.51,22.33,336.39,-106.51,-4.77,-84.73,R,A,F
54. 631.37,22.54,338.57,-106.51,-4.77,-84.73,R,A,F
55. 635.03,18.94,337.02,-96.57,-5.61,-85.63,R,A,F
56. 635.76,25.23,336.36,-96.57,-5.61,-85.63,R,A,F
57. 635.61,25.76,339.05,-96.57,-5.61,-85.63,R,A,F
58. 635.76,25.23,336.37,-86.98,-6.26,-86.63,R,A,F

59. 641.2,25.57,336.7,-86.97,-6.26,-86.63,R,A,F
60. 644.29,25.76,336.86,-94.62,-5.76,-85.83,R,A,F
61. 644.75,27.13,336.72,-108.91,-8.97,-84.53,R,A,F
62. 644.77,27.15,336.67,-117.5,-8.06,-85.26,R,A,F
63. 644.75,27.12,336.7,-125.44,-7.06,-85.21,R,A,F
64. 646.1,26.85,336.84,-131.46,-5.53,-85.62,R,A,F
65. 652.46,24.09,337.85,-121.87,-2.07,-88.86,R,A,F
66. 651.11,21.09,338,-114.41,-2.19,-89.13,R,A,F
67. 661.16,24.38,337.86,-102.28,-4.27,-89.54,R,A,F
68. 661.17,24.37,337.82,-112.85,-4.12,-88.77,R,A,F
69. 661.17,24.36,337.79,-120.95,-3.91,-88.2,R,A,F
70. 661.16,24.38,337.85,-132.28,-3.47,-87.47,R,A,F
71. 681.06,61.3,419.54,-110.62,-3.19,-89.5,R,A,F
72. 660.08,-25.37,339.71,162.54,64.43,167.45,R,A,F
73. 651.33,-27.08,342.28,144,72.48,149.06,R,A,F
74. 641.67,-18.63,342.33,-140.42,70.57,-133.32,R,A,F
75. 633.16,-21.77,342.31,146.05,76.5,149.61,R,A,F
76. 628.97,-16.87,342.44,171.58,74.98,175.56,R,A,F
77. 621.45,-13.25,343.43,179.67,75.14,-175.96,R,A,F
78. 615.52,-9.74,342.08,179.66,75.14,-176.08,R,A,F
79. 616.19,-0.52,343.42,179.65,75.14,-176.08,R,A,F
80. 615.23,7.62,342.81,179.64,75.14,-176.09,R,A,F
81. 621.99,13.17,343.94,179.64,75.14,-176.08,R,A,F
82. 624.82,19.71,343.84,179.65,75.14,-176.09,R,A,F
83. 631.65,23.02,343.09,-134.85,68.39,-135.27,R,A,F
84. 638.94,20.79,342.66,-175.86,74.73,-176.64,R,A,F
85. 646.84,27.77,342.87,-137.23,69.1,-136.86,R,A,F
86. 656.07,21.1,342.8,152.8,67.24,149.05,R,A,F
87. 664.46,24.12,340.41,-175.91,69.88,-177.35,R,A,F

## **MRL-Programm**

Der nachfolgend aufgeführte Programmcode entspricht der Darstellung der Programmieroberfläche in COSIMIR. Die den Positionen entsprechenden Koordinaten können der MRL-Positionsliste entnommen werden.

10 '

20 ' Putzvorgang Frasacomodell

30 ' vom 06.02.2004

40 '

50 'Allgemeine Voreinstellungen:

60 'Geschwindigkeitsfestlegung (X, High, kontinuierlich)

70 TL 240.00

80 SP 7,L,1

90 'Handgreifer schießen

100 'Hauptprogramm:

110 'Unterprogramm 1.Quadrant vestibulär (Positionen 2 bis 32)

120 GO

130 SP 15, L, 1

140 MO 69

150 MO 1

160 SP 7, L, 1

170 MO 2

180 MO 3

190 MO 4

200 MO 5

210 MO 6

220 MO 7

230 MO 8

240 MO 9

250 MO 10

260 MO 11

270 MO 12  
280 MO 13  
290 MO 14  
300 MO 15  
310 MO 16  
320 MO 17  
330 MO 18  
340 MO 19  
350 MO 20  
360 MO 21  
370 MO 22  
380 MO 23  
390 MO 24  
400 MO 25  
410 MO 26  
420 MO 27  
430 MO 28  
440 MO 29  
450 MO 30  
460 MO 31  
470 MO 32  
480 'Unterprogramm Quadrantenwechsel  
490 SP 15,L,1  
500 MO 33  
510 MO 34  
520 'Unterprogramm 2. Quadrant vestibulär (Positionen 35 bis 68)  
530 SP 7, L, 1  
540 MO 35  
550 MO 36  
560 MO 37  
570 SP 4, L, 1  
580 MO 38  
590 MO 39

600 SP 7, L, 1  
610 MO 40  
620 MO 41  
630 MO 42  
640 MO 43  
650 MO 44  
660 MO 45  
670 MO 46  
680 MO 47  
690 MO 48  
700 MO 49  
710 MO 50  
720 MO 51  
730 MO 52  
740 MO 53  
750 MO 86  
760 MO 54  
770 MO 55  
780 MO 87  
790 MO 56  
800 MO 57  
810 MO 58  
820 MO 59  
830 MO 60  
840 MO 61  
850 MO 62  
860 MO 63  
870 MO 64  
880 MO 65  
890 MO 66  
900 MO 67  
910 MO 68  
920 ' Unterprogramm Positionswechsel

930 SP 15, L, 1  
940 MO 69  
950 MO 70  
960 ' Unterprogramm okklusale Flächen  
970 SP 4, L, 1  
980 MO 71  
990 MO 72  
1000 MO 73  
1010 MO 74  
1020 SP 1, L, 1  
1030 MO 75  
1040 MO 76  
1050 MO 77  
1060 MO 78  
1070 MO 79  
1080 MO 80  
1090 SP 4, L, 1  
1100 MO 81  
1110 MO 82  
1120 MO 83  
1130 MO 84  
1140 MO 85  
1150 ' Grundposition Nr. 69  
1160 SP 15, L, 1  
1170 MO 69  
1180 ED  
1190 : MPC 1,328.12,-0.27,516.77,104.15,72.94,103.52,R,A,N,O  
1200 : MPC 1,267.51,12.79,336.83,168.32,18.71,150.45,R,A,N,O  
1210 : MPC 1,328.12,-0.27,516.77,104.15,72.94,103.52,R,A,N,O  
1220 : MPC 1,267.51,12.79,336.83,168.32,18.71,150.45,R,A,N,O

## Herstellernachweis

<b>Produkt</b>	<b>Hersteller</b>
Okklusionsspray der Firma ORBIS Dental GmbH in Offenbach	ORBIS Dental GmbH D-63067 Offenbach
Elmex Sensitive	GABA GmbH Postfach 2520 D-79515 Lörrach
Oral-B Professional Care Oral-B Sonic Complete	Gillette Gruppe Deutschland GmbH & Co.oHG Business Unit Oral B Frankfurter Strasse 145 D-61476 Kronberg im Taunus
Sockelplatte OK (TOP) Artex Typ AR Splitex Ü-Tisch	Girrbach Dental GmbH Postfach 140120 D-75138 Pforzheim
SheraPolan	Shera GmbH & Co. KG Espohlstrasse 53 D-49448 Lemförde Fax: 0049/5443/9933-0
Paladur PalavitG	Heraeus Kulzer GmbH Philipp-Reis-Straße 8/13 D-61273 Wehrheim/Ts.
Sonicare Elite	Philips GmbH Lübeckertordamm 5 D-20099 Hamburg Deutschland
PicEd Cora 8.4	JOMESA Meßsysteme GmbH Dachauer Straße 46 D- 80335 München Fax. 08/594952
RD-175	Minolta Europe GmbH Anwendungstechnik Minoltaring 11 D-30855 Langenhagen
Roboterarm (RV-E4NM) Steuergerät (CR-E356) Teaching Box (P8TB-TE)	Mitsubishi Electric Europe B.V. Gothaer Straße 8 D-40880 Ratingen
Colgate Actibrush	Colgate-Palmolive Lübecker Str. 128 D-22087 Hamburg
Makroobjektiv SP AF 90 mm F/2,8 Makro 1:1	Tamron k4 Millfield House Croxley Business Park Watford

## Literaturverzeichnis

1. *Adams H., Winston M. T., Heersink J., Buckingham-Meyer K. A., Costerton J. W., Stoodley P. (2002):* Development of a laboratory model to assess the removal of biofilm from interproximal spaces by powered tooth brushing. *Am J Dent Nov. Spec No: 12B - 17B.*
2. *Alblander J. M., Kingman A. (1999):* Gingival recession, gingival bleeding and dental calculus in adults 30 years of age and older in the United States, 1988 - 1994. *J Periodontol. 70: 30 - 43.*
3. *Arnold M., Trost G. (1972):* Über die Abhängigkeit des Putzeffektes von verschiedenen Formen des Zahnbürstenkopfes. *Dtsch Stomat. 22, 1, 46 - 53.*
4. *Ash M. M. (1964):* A review on the problems and results of studies on manual and power toothbrushes. *J Periodont. 35, 202 - 213.*
5. *Bass C. C. (1948):* The optimum characteristics of toothbrushes for personal oral hygiene. *Dental Items of Interest. 697 - 718.*
6. *Bass C. C. (1954):* An effective method of personal oral hygiene Part. *J Louisiana St Med Soc. 106, 100 - 112.*
7. *Birch R. H. und Mumford, J. M. (1963):* Electric toothbrushing. *Dent Pract Dent Rec. 13, 182 - 186.*
8. *Bolstorff C. (2001):* Entwicklung eines Arbeitsplatzes zur quantitativen Analyse der Putzleistung von Handzahnbürsten. *Med. Diss Münster.*
9. *Carter K., Landini G., Walmsley A. D. (2001):* Plaque removal characteristics of electric toothbrushes using an in vitro plaque model. *J Clin Periodontol. 28, (11), 1045 - 9.*
10. *Danser M. M., Driesen G. M., Timmermann M. F., van der Velden U., van der Weijden G. A. (2000):* A laboratory and clinical investigation comparing 2 oscillating/rotating electric toothbrushes. *J Clin Periodontol. 27: 277 - 283.*
11. *Danser M. M., Timmerman M. F., Jzerman Y., Pisaer M. I., Van der Velden U., Van der Weijden G. A. (2003):* Plaque removal with a novel manual toothbrush (X-Active) and the 3D Plaque Remover. *J Clin Periodontol. 30: 138 - 144.*
12. *Dean D. H. (1991):* Toothbrushes with graduated wear: Correlation with in vitro cleansing performance. *Clin Prev Dent. 13, 4: 25 - 30.*

13. *Dentino A. R., Derderian G., Wolf M. A., Cugini M. A., Johnson R., Van Swol R. L., King D., Marks P., Warren P. (2002):* Six-month comparison of powered versus manual toothbrushing for safety and efficacy in the absence of professional instruction in mechanical plaque control. *J Periodontol.* 770 - 778.
14. *DIN 13917 / Teil 1 / 2 (1979)*
15. *Dörfer C. E. (1999):* Reinigungswirkung eines maschinellen Hilfsmittels zur Interdentalraumreinigung im Vergleich zu Zahnseiden. *Dtsch Zahnärztl Z.* 54, 8: 494 - 498.
16. *Driesen G. M., Warren P. R., Bielfeld U., Helbig G. (2001):* A laboratory comparison of the efficacy of battery-operated, non-rechargeable power toothbrushes. *Am J Dent.* 14 (Spec No): 5B - 8B.
17. *Driesen G. M., Warren P. R., Hilfinger P. (1998):* Cleaning efficacy of a new electric toothbrush. *Am J Dent.* 11: 7 - 11,
18. *Driesen G. M., Warren P. R., Hilfinger P., Ernst C. P., Willershausen B. (1996):* The development of the Braun Oral-B ultra Plaque Remover. An in vitro robot study. *Am J Dent.* (Spec No): 13 - 17
19. *Duda S. Diss. (2001):* Entwicklung eines computer- und robotergestützten Arbeitsplatzes zur standardisierten Untersuchung der Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten.
20. *Ehmer U., Jorke C., Funkstuck B. (1975):* Distribution of prevalent morphological symptoms of the oral complex in 600 Jena school children in dependence of age and sex. *Stomatol DDR.* Mar; 25 (3): 179 - 83.
21. *Elliot J. R.:* A comparison of the effectiveness of a standard and electric toothbrush. *J Periodont.* 36, 322 - 329.
22. *Ernst C. P., Willershausen B., Driesen G., Warren P. R., Hilfinger P. (1997):* A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro. *Quintessence Int.* 28: 441 - 445.
23. *Flemmig T. F. (1993):* Parodontologie. Ein Kompendium. Thieme Verlag, Stuttgart.
24. *Galan D., Lynch E. (1993):* Epidemiology of root caries. *Gerodontology.* 10, 59 - 71.

25. *Golding P. S. (1982):* The development of the toothbrush. A short history of tooth cleaning. *Dental health.* 21, 4, 25 - 27.
26. *Golding P. S. (1982):* The development of the toothbrush. The modern toothbrush. *Dental health.* 21, 5, 10 - 11; 14 - 15.
27. *Gülzow H. J., Seeger U. (1965):* Klinisch-experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit elektrisch betriebener Zahnbürsten. *Dtsch Zahnarztl Z.* 20, 331 - 335.
28. *Haas A. (1994):* In-vitro-Vergleichsstudie von elektrischen Zahnbürsten mit Hilfe eines Industrieroboters. *Med Diss Mainz.*
29. Gebrauchsanweisung Colgate Actibrush.
30. Gebrauchsanweisung Sonicare Elite 7000.
31. Gebrauchsanweisung Professional Care
32. Gebrauchsanweisung Sonic Complete
33. *Heinze S. D. (1993):* Kieferorthopädie und Kariesrisiko. *Prakt Kieferorthopädie.* 7: 31 - 46.
34. *Heinze S. D., Finke C. (1992):* Individualprophylaxe in der Kieferorthopädie. Berlin, Quintessenz.
35. *Hellwig E., Klimek J., Attin T. (2003):* Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer 3. Aufl. Stuttgart.
36. *Holtkamp P. (1965):* Vom „Zahn-Bürstlein“ zur elektrischen Zahnbürste. *Dental-Dienst.* 2, 10 - 11.
37. *Hope C. K., Wilson M. (2003):* Effect of dynamic fluid activity from an electric toothbrush on in vitro oral biofilms. *J Clin Periodontol.* 624 - 629.
38. *Hope C. K., Petrie A., Wilson M. (2005):* Efficiency of removal of sucrose-supplemented interproximal plaque by electric toothbrushes in an in vitro model. *Appl. Environ. Microbiol.* 1114 - 1116.
39. *Hoppe R. (2005):* Die Weltbürste. *Der Spiegel.* 26, 108 -113.
40. *Schroeder H. E. (1997):* Pathobiologie oraler Strukturen. Karger Verlag. 3. Aufl. Basel.
41. *Imfeld T., Sener B., Simonovic I. (2000):* In-vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. *Acta Med Dent.* 5, 37 - 47.

42. *Kalsbeek H., Truin G., Poorterman J. H. G., van Rossum G. M. J. M., Hans M., van Rijkom H. M., Gijsbert H. W. Verrips (2000): Trends in periodontal status and oral hygiene habits in Dutch adults between 1983 and 1995. Community Dent Oral Epidemiol 28: 112 - 118.*
43. *Khambay B. S., Walmsley A. D. (1995): An in vitro evaluation of electric toothbrushes. Quintessence Int 26, 12: 841 - 848.*
44. *Khambay S. B., Walmsley D. A. (1996): Eine In-vitro-Untersuchung elektrischer Zahnbürsten. Quintessenz 47, 6, 805 - 820.*
45. *Klinger H. G., Wiedemann W., Boginger H. und Homberg A. (1983): Vergleichende Untersuchungen über elektrische Zahnbürsten. Zahnärztl Mitt 73, 2738 - 2751.*
46. *Kossack C., Brinkman P. G. J. (2005): Plaque and gingivitis reduction in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances – comparison of toothbrush and interdental cleaning aids. J Orofac Orthop. 66: 20 - 38.*
47. *Kramer E., Gierig R., Klemke J. (1995): Standortbestimmung der zahnärztlichen Prophylaxe. ZWR. 104. 9: 634 -638.*
48. *Lang H. (2005): (Schall-)Zahnbürsten. Dtsch Zahnärztl Z 60, 7: 371 -372.*
49. *Lange D. E. (1986): Parodontologie in täglicher Praxis. 3. Aufl. Quintessenz. Berlin-Chicago, 103 - 114.*
50. *Lazarescu D., Boccaaneala S., Illiescu A., De Boever J. A. (2003): Efficacy of plaque removal and learning effect of a powered and a manual toothbrush. J Clin Periodontol. 30, 8, 726.*
51. *Lefkowitz W., Robinson H. B. G. (1962): Effectiveness of automatic and hand brushes in removing dental plaque and debris. J Am Dent Ass. 65, 351 - 361.*
52. *Lohse W. G., Carter H. G, Brunelle J. A. (1977): The Prevalence of root surface caries in a military population. Military Medicine. 142: 700 - 703.*
53. *Mac Neill S., Walters D. M., Dey A., Glaros A. G., Cobb C. M. (1998): Sonic and mechanical toothbrushes: An in vitro study showing altered microbial surface structures but lack of effect on viability. J Clin Periodontol. 25, 988 - 993.*

54. *McCracken G. I., Janssen J., Swan M., Steen N., de Jager M., Heasman P. A. (2003):* Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush. *J Clin Periodontol.* 30: 409 - 413.
55. *Miller P. D. Jr. (1985):* A classification of marginal tissue recession. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 5 (2): 8 - 13.
56. *Muhler C. J. (1969):* Comparative frequency of use of electric toothbrush and hand toothbrush. *J Periodontol.* 40: 268 - 270.
57. *Niederman R., Ho H. P. (1997):* Effectiveness of the Sonicare sonic toothbrush on reduction of plaque, gingivitis, probing pocket depth and subgingival bacteria in adolescent orthodontic patients. *J Clin Dent.* 8: 15 - 19.
58. *Niemi M. L. (1987):* Gingival abrasion and plaque removal after toothbrushing with an electric and a manual toothbrush. *Acta Odontol Scand.* 45: 367 - 70.
59. *Niermann J. (1997):* Vergleichende Untersuchung über die Reinigungseffektivität verschiedener elektrischer Zahnbürsten bei nicht-eugnather Zahnstellung unter standardisierten Bedingungen. *Med. Diss Münster.*
60. *Nygaard-Ostby P., Edvardsen S., Spydevold B. (1979):* Access to interproximal tooth surfaces by different bristle designs and stiffness of toothbrushes: *Scand J Dent Res.* 87: 424 - 430.
61. *Paraskevas S., Dannser M. M., Timmermann M. F., Van der Velden U., Van der Weijden G. A. (2005):* Optimal rinsing time of intra-oral distribution (spread) of mouthwashes. *J Clin Periodontol.* 32: 665 - 669.
62. *Powers G. K., Tussing G. J., Bradley R. E. (1967):* A comparison of effectiveness in interproximal plaque removal of an electric toothbrush and a conventional hand toothbrush. *J Periodont.* 5, 37 - 41.
63. *Quigley G. A., Hein J. W. (1962):* Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *J Am Dent Assoc.* 65, 26 - 29.
64. *Rawls H. R. (1993):* Interproximal penetration of commercial toothbrushes as determined by statistic and dynamic tests using recommended brushing techniques. *J Clin Dent.* 4: 88 - 95.

65. Ring M. E. (1999): The electric toothbrush of one hundred years ago. *Periodont Clin Invest.* 21, 24.
66. Rosema N. A., Timmerman M. F., Piscoer M., Strate J., Warren P. R., Van der Velden U., Van der Weijden G. A. (2005): An oscillating/pulsating electric toothbrush versus a high-frequency electric toothbrush in the treatment of gingivitis. *J Dent.* 33 Suppl 1: 29 - 36.
67. Sauerwein E. (1985) : *Zahnerhaltungskunde* 5.Aufl. Thieme-Verlag. 124 - 131.
68. Schulze C. (1983): Genetic factors in aetiology of dysgnathias. *Zahnärztl Prax.* Apr 8; 34 (4): 130 - 1, 134 - 6, 138.
69. Schweisheimer W. (1969): Bevor die Zahnbürste erfunden wurde. *Quintessenz.* 20: 149 - 150.
70. Schweisheimer W. (1970): Before the toothbrush was invented. *Dent Labor.* 18, 8: 55.
71. Scutt S. J., Swann J.C. (1975): The first mechanical toothbrush? *Br Dent J.* 19, 139 (4), 152.
72. Sharma N. C., Qaqish J. G., Cugini M. A., Warren P. R. (2001): The effect of the power toothbrushes on calculus and stain. *J Dent Res.* 80 (Spec.Iss): 548, 171.
73. Sicilia A., Arregui I., Gallego M., Cabezas B., Cuesta S. (2002): A systematic review of powered vs. manual toothbrushes in periodontal cause related therapy. *J Clin Periodontol.* 29 Supp3: 39 - 54.
74. Simon K. (2005): Zahnbürstenmanufakturen in Frankreich. *Zahnärztl Mitt.* 95, 2: 116 - 120.
75. Smukler H., Nager M. C., Tolmie P. C. (1989): Die Morphologie der interdentalen Zahnflächen und ihre Wirkung bei der Plaquebeseitigung. *Quintessenz.* 8: 1453 - 1463.
76. Stolz K., Bay L. (1994): Comparison of a manual and a new electric toothbrush for controlling plaque and gingivitis. *J Clin Periodontol.* 21, 86 - 90
77. Tugnai A. T., Clerehigh V. (2001): Gingival recession, its significance and management. *J Dent.* 29, 381 - 394.

78. *Van der Weijden G. A. (2002): Models for assessing powered toothbrushes. Adv Dent Res. 16: 17 - 20.*
79. *Van der Weijden G. A., Timmerman M. F. A., Nijbour M. A., Van der Velden U (1993): A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. Timerstudy. J Clin Periodontol. 20: 476 - 481.*
80. *Van der Weijden G. A., Timmerman M. F., Danser M. M., Van der Velden U. (1998): Relationship between the plaque removal efficiency of a manual toothbrush and brushing force. J Clin Periodontol. 25, 413 - 416.*
81. *Van der Weijden G. A., Timmerman M. F., Piscaer M., Ijzerman Y., Van der Velden U. (2004): Plaque removal by professional electric toothbrushing compared with professional polishing. J Clin Periodontol. 31 (10): 903 - 907.*
82. *Van der Weijden G. A., Timmerman M. F., Reijerse E. (1994): The long term effect of an oscillating/rotating toothbrush on gingivitis. An 8 month clinical study. J Clin Periodontol. 21: 86 - 90.*
83. *Van der Weijden G. A., Danser M. M., Nijboer A., Timmerman M. F., Van der Velden U. (1993): The plaque-removing efficiency of an oscillating/rotating toothbrush. J Clin Periodontol. 20, 273 - 278.*
84. *Volpenhein D. W., Walsh M. E., Dellerman P. A., Burkett T. A. (1994): A New Method for In vitro Evaluation of the Interproximal Penetration of Manual Toothbrushes. J Clin Dent. 5: 27 - 33.*
85. *Warren P. R., Cugini M. A., Marks P., King D. W. (2001): Safety, efficacy and acceptability of a new power toothbrush: A 3-month clinical investigation. Am J Dent. 14: 3 - 7.*
86. *Wilson S., Levine D., Dequincey G., Killooy W. J. (1993): Effects of two brushes on plaque, gingivitis, abrasion and recession: a 1-year longitudinal study. Compend Suppl. 16: 69 - 79.*
87. *Wu-Yuan C. D., Anderson R. D. (1994): Ability of the Sonicare electric toothbrush to generate dynamic fluid activity that removes bacteria. J Clin Dent. 3: 88 - 93.*
88. *Yankell S. L., Xiuren S. (1993): Comparative Laboratory Evaluation of Two New Toothbrushes Regarding Interproximal Access Efficacy. J Clin Dent. 4 (Suppl D) D1 - D4.*

89. Zimmer S., Nazhat V., Bizhang M., Seemann R., Barthel C. (2002): Clinical efficiency of a new sonic/ultrasonic toothbrush. J Clin Periodontol. 29, 496 - 502.

## Lebenslauf

- 27.02.1978 Geboren in Swietochlowice (Polen)
- Eltern: Alexander Baldys, Dipl.-Ing. Maschinenbau  
Barbara Baldys, Dipl.-Ing. Maschinenbau
- Geschwister: Monika Baldys  
Matthias Baldys  
Verheiratet: mit Anne Essing  
Sohn: Piet Baldys
- 09/1985- 06/1988 Grundschule in Kattowitz (Polen)
- 08/1988-6/1989 Grundschule in Mehrhoog
  
- 08/1989-06/99 Konrad-Duden-Gymnasium in Wesel; am 04.06.1999  
Allgemeine Hochschulreife
- 04/2000-07/2005 Studium der Zahnmedizin an der Westfälischen Wilhelms-  
Universität in Münster,
- Staatsexamen 2005
  
- seit 08/2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Poliklinik für  
Zahnerhaltung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des  
Universitätsklinikums Münster bei Herrn Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott

---

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott, für die freundliche Überlassung des Themas.

Herrn Oberarzt Dr. M. Kaup und Herrn Dr. S. Duda danke ich für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

Herzlicher Dank gebührt auch Herrn Dr. S. Bürklein für die Hilfestellung bei der statistischen Auswertung.

Bei den Technikern des Universitätsklinikums Münster, aber hauptsächlich bei meinem Vater, bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Herstellung des Versuchsaufbaus.

Meinen Eltern, meiner ganzen Familie und meiner Frau danke ich sehr herzlich für die liebevolle Unterstützung in den letzten Jahren.