Aus der
Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Universitätsklinikums Ulm
Abteilung für Kieferorthopädie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. F. G. Sander

Putzeffizienz neuer Handzahnbürsten

unter Verwendung

eines 4-Achsen Roboters

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Ulm

vorgelegt von
Katrin Völker
aus Ilmenau
2005

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin

1. Berichterstatter: Prof. Dr. F. G. Sander

2. Berichterstatter: Prof. Dr. F. Sitzmann

Tag der Promotion: 11. Mai 2006

Meinen Eltern und meinem Bruder Robert gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	**VI**
1.	**Einleitung und Problemstellung**	**1**
1.1	**Handzahnbürsten**	**2**
1.1.1	Zahnpasta	3
1.1.2	Putztechniken	4
1.1.3	Putzkraft	5
1.1.4	Putzdauer	6
1.2	**Gegenüberstellung von *in-vivo*- und *in-vitro*-Testverfahren zur Ermittlung der Reinigungseffizienz von Zahnbürsten**	**7**
1.3	***In-vitro*-Putzversuche**	**8**
1.3.1	Übersicht ausgewählter *in-vitro*-Zahnbürstenstudien und verwendeter künstlicher Plaque bzw. Plaqueersatzmittel	9
1.4	**Problemstellung**	**11**
2.	**Material und Methode**	**13**
2.1	**Versuchsaufbau**	**13**
2.1.1	Roboter	13
2.1.2	Das Steuerelement	13
2.1.3	Modellträger	15
2.1.4	Putztechniken	16
2.1.5	Putzdauer und Putzkraft	16
2.2	**Modellherstellung**	**17**
2.2.1	Plaqueersatz und Beschichtung	18
2.3	**Versuchsauswertung**	**19**
2.3.1	Camera und Halterung	19
2.3.2	Personalcomputer	20
2.3.3	Funktionsweise des Computerprogrammes „Grau“	21
2.4	**Versuchsreihen**	**24**
2.4.1	Ausgewählte Zahnbürsten	25
2.4.2	Ausgewählte Putzmedien und Herstellung der Pastensuspension	28
2.4.3	Durchführung des Putzvorganges	28

3. Ergebnisse 30
3.1 Ergebnisse der ersten Versuchsreihe einfache Zahnmodelle 31
3.1.1 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik 32
3.1.2 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik 33
3.1.3 Putzeffizienz Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik 34
3.2 Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Modelle mit Brackets 35
3.2.1 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik 36
3.2.2 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik 38
3.2.3 Putzeffizienz Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik 40

4. Diskussion 41
4.1 Bewertung der Methoden 41
4.1.1 Versuchsaufbau 41
4.1.2 Zahnattrappen und Plaqueersatz 43
4.1.3 Versuchsauswertung 44
4.1.4 Ausgewählte Zahnbürsten und Zahnpasten 45
4.2 Besprechung der Ergebnisse 45
4.2.1 Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: einfache Zahnmodelle 45
4.2.2 Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Modelle mit Brackets 46
4.3 Schlussfolgerung 48

5. Zusammenfassung 50

6. Literaturverzeichnis 52

7. Anhang 57

8. Danksagung 70

Abkürzungsverzeichnis

RDA: Radioactive Dentin Abrasion

REA: Radioactive Enamel Abrasion

PVM/MA: Polyvinylmethylether maleic anhydride

PVC: Polyvenylchlorid

P&D: Pearls & Dents®

1. Einleitung

In einer aktuellen Diskussion sollen nun auch in Deutschland zahnmedizinische Leistungen nach dem Schweizer Vorbildmodell „privatisiert“ werden und der Zahnersatz aus der gesetzlichen Krankenversicherung gestrichen werden.
Davon verspricht man sich mehr Eigenverantwortung und in Folge dessen eine erhebliche Förderung der oralen Gesundheit [33].
Damit dieses Modell funktionieren kann, ist jedoch nicht nur die Eigenverantwortung des Patienten, sondern auch Verantwortung der Zahnärzteschaft gefragt.
Wissensdefizite müssen beseitigt werden, indem aktiv Aufklärung zum Thema Prophylaxe betrieben wird, da Zahnersatz in hohem Maße prophylaxeabhängig ist.
2004 brachte die Bundeszahnärztekammer in Zusammenarbeit mit Colgate eine Broschüre für Patienten mit dem Titel „Mundgesundheit ist Lebensqualität“ heraus.
In dieser Broschüre wird über „die 3 Säulen der Mundgesundheit“ informiert.

Zu den 3 Säulen der Mundgesundheit gehören:

Die Prophylaxe zu Hause, bei der die Zähne mindestens zweimal täglich sorgfältig gereinigt werden sollen. Neben einer guten Zahnbürste sollte eine Fluoridzahnpasta, die möglichst auch antibakterielle Eigenschaften besitzen soll, verwendet werden [1, 31].
Auch eine ausgewogene und zahnfreundliche Ernährung gehört zur Prophylaxe zu Hause.

Der zweite Baustein ist die Zahnärztliche Kontrolluntersuchung, die zweimal im Jahr durchgeführt werden sollte, um Veränderungen, die einen Behandlungsbedarf erfordern, festzustellen.

Als dritter Baustein gilt die professionelle Zahnreinigung, bei der harte und weiche Beläge, die beim täglichen Zähneputzen nicht erreicht werden, entfernt werden [26, 46, 58].

Somit kann mit der Wahl der richtigen Zahnbürste und Zahnpasta ein wichtiger Beitrag zur Mundhygiene geleistet werden.

Mundhygiene umschreibt die regelmäßige und häufige Entfernung von Zahnbelägen, bevor diese zur aktiven mikrobiellen Plaque heranreifen können [8].
Daraus ist zu schließen, dass die Mundhygiene einen wichtigen Stellenwert bei der Kariesprophylaxe und bei der Vorbeugung von Erkrankungen des Zahnhalteapparates einnimmt [2, 16, 18, 23].
Verschiedene Hilfsmittel stehen dafür zur Verfügung: die Zahnbürste zur Reinigung der bukkalen, oralen und okklusalen Zahnflächen; Hilfsmittel zur Reinigung der Interdentalräume, wie z.B. Zahnseide; und unterstützende Maßnahmen, wie die Verwendung von Zahnpasta [13, 63].
Die Zahnbürste ist zwar Voraussetzung, aber nur ein Teilaspekt einer guten Mundhygiene. Wichtiger noch sind die Putztechnik, Häufigkeit und Dauer der Benutzung [67].

1.1 Handzahnbürsten

Ein nahezu unüberschaubares Angebot von Zahnbürsten ist heutzutage auf dem Markt erhältlich. Dabei gelten Produkte, die folgende Merkmale aufweisen als empfehlenswert:
Die Einzelborste soll aus einem dauerelastischen, chemisch beständigen Kunststoff bestehen.
Die Borstenenden sollen abgerundet sein, um Gingivaverletzungen zu vermeiden [4].
Dieses Merkmal brachte mit sich, dass lange Zeit ein ebenes Borstenfeld und parallel stehende endgerundete Kunststoffborsten propagiert worden sind. Da es aufgrund von maschinellen Fertigungstechniken nicht möglich war, schräg stehende Borstenenden abzurunden.
Die Abrundung fand erst statt, nachdem die Borstenbüschel mit Hilfe von Metallklammern im Bürstenkopf verankert worden waren [28].

Der Industrie gelang es durch neue Fertigungstechniken die Borstenenden abzurunden, bevor diese in den Borstenkopf eingebaut werden.

Damit war der Weg für V-Borsten frei gegeben und Zahnbürsten der neuen Generation, wie z.B. die CrossAction® von Oral-B®, die elmex interX oder die Dr. Best X-Activ kamen auf den Markt. Durch die schräg angeordneten Borsten verspricht man sich Vorteile bei der Reinigung der Zahnzwischenräume.
Ein weiteres Merkmal einer guten Bürste ist ein multitufted Borstenfeld, d.h. das Bürstenfeld ist aus einem vielbündeligen Borstenfeld zusammengesteckt. Der Borstenkopf sollte möglichst klein sein, um auch schwer zugängliche Bereiche, wie die hinteren Molaren gut zu erreichen.
Der Zahnbürstengriff soll gut in der Hand liegen, damit die Führung der Zahnbürste erleichtert wird und eine kontrollierte Bewegung des Bürstenfeldes in der Mundhöhle möglich ist [17].

1.1.1 Zahnpasta

Ein zusätzlicher Reinigungseffekt wird der Zahnpasta zugeschrieben. Dieser Effekt geht hauptsächlich auf die Wirkung der Putzkörper zurück [47]. Die Putzkörper machen einen Anteil von 20 – 40 % am Gesamtanteil aus und bestehen heute meist aus hydratisierten Silika. Dabei ist zu beachten, dass die Form und die Härtegrade der Putzkörper nur ein Minimum an Abrasion bewirken sollen. Die RDA (Radioactive Dentin Abrasion) und REA (Radioactive Enamel Abrasion) wurden als internationale Vergleichswerte eingeführt. Sie liegen zwischen 30 und 120 für Dentin, sowie zwischen 20 und 90 für Schmelz.
Ein ebenfalls unverzichtbarer Bestandteil sind die Feuchthaltemittel. Mit einem Mengenanteil von 20-40 % geben sie der Zahncreme Geschmeidigkeit und bieten Schutz vor Austrocknung. Dabei finden Glycerin und Propylenglykol, sowie die Zuckeraustauschstoffe Xylit und Sorbit Anwendung.
Der dritte mengenmäßige Hauptbestandteil ist demineralisiertes Wasser mit
20-40 %.
Weitere 10 % machen spezielle Wirkstoffe aus, wie Bindemittel, Schaummittel, Süßstoff, Geschmacksstoffe, Farb- und Konservierungsstoffe und therapeutische Wirkstoffe zur Karies- und/oder Parodontitisprophylaxe, sowie zur Desensibilisierung überempfindlicher Zahnhälse. Therapeutische Wirkstoffe sind vor allem in ausreichendem Maß ionisierbares Fluorid [10,15, 20, 52].

Daneben spielen antibakterielle Substanzen, wie zum Beispiel Chlorhexidin, Triclosan, Xylit, und zum Schutz vor überempfindlichen Zahnhälsen Strontium – bzw. Kaliumchlorid eine wichtige Rolle [29].

1.1.2 Putztechniken

In der Literatur werden eine Vielzahl von Putztechniken beschrieben.
Die Schrubbtechnik folgt individuellen Bewegungsmustern, wobei eine horizontale, grobmotorische Hin- und Herbewegung ausgeführt wird, bei der das Bürstenfeld senkrecht auf die Zahnflächen gerichtet ist und ein variabler Andruck gegen die Zahnreihen erfolgt [42].
Diese Technik ist international als kindgemäßer Einstieg in die Zahnpflege akzeptiert [59].
Nachteil dieser Methode ist, dass durch die Schrubbewegungen Kariesprädilektionsstellen überstrichen werden und eine unsystematische Zahnpflege vorherrscht.
Bei steigenden motorischen Fähigkeiten und Compliance kann man Kindern im Rahmen einer Mundhygieneinstruktion die Stillmanntechnik näher bringen. Dabei zeigt das Bürstenfeld wurzelwärts und wird gegen Zahn und Zahnfleisch angedrückt und horizontal bewegt und anschließend abrollend zur Kaufläche geführt. Somit ist die Stillmanntechnik ein kombinierter Bewegungsablauf von Rüttel- und Rollbewegung [57].
Man schreibt dieser Technik eine gute Massagewirkung und Kräftigung des Zahnfleischsaumes zu und eine gute Reinigungswirkung in den interdentalen Nischen. Die Stillmann-Technik ist jedoch nicht in der Lage, subgingivale Plaque vollständig zu entfernen [25].
Andere Techniken, die von Kindern genutzt werden, sind die Rotationsmethode nach FONES (1934) oder die Vertikale Rot-nach-Weiß- Methode nach Leonhard [21, 36].
Als effektive und gleichzeitig schonende Putztechnik gilt die modifizierte Bass-Technik. Sie kann zur Karies- und Parodontitisprophylaxe bei Patienten empfohlen werden, bei denen die Interdentalpapillen erhalten sind und die marginale Gingiva nahe der Schmelz-Zement-Grenze endet [5].

Dabei werden die Borsten im 45 ° Winkel zur Längsachse des Zahnes angestellt.
Die Putzbewegung ist eine rüttelnde, kreisende Bewegung, die etwa eine Prämolarenbreite umfassen sollte und unter leichtem Andruck erfolgen sollte [27].
Diese Technik erfordert eine ausreichende manuelle Geschicklichkeit und zählt nicht zur durchschnittlich verwendeten Putztechnik in der Bevölkerung [51].

Es gibt eine Vielzahl von Studien, die durchgeführt wurden, um die Überlegenheit der ein oder anderen Zahnputztechnik zu demonstrieren. Die effektivste lässt sich dennoch nicht benennen [7,12, 22].

1.1.3 Putzkraft

Zahnbürsten wurden aber nicht nur in Bezug auf das Borstenfeld weiterentwickelt.
Im Laufe der Zeit ergaben immer mehr Untersuchungen, dass eine gute Mundhygiene auch Nebenwirkungen haben kann: Putzdefekte, Traumatisierung von Gingiva und Mukosa und hypersensible Zähne nehmen zu [32].
Ursache dafür sind falsche und mit zuviel Kraft ausgeübte Putztechniken.
Durch die Entwicklung druckreduzierender Zahnbürsten versuchen Hersteller diesem Problem entgegen zu wirken. Die Spezialfederung ist eine Entwicklung der Dr. Best Forschung. Sie gibt bei zu starkem Druck nach und schützt so das Zahnfleisch vor Verletzungen. Die Grundlage dieses Mechanismuses stellt eine Materialschwächung dar, indem am Übergang vom Bürstengriff zum Bürstenhals ein federndes Element eingebaut wurde und somit nicht die volle Kraftübertragung des Anwenders auf den Bürstenkopf möglich ist.
Eine andere Lösung des Problems bietet die meridol® Zahnbürste. Diese besitzt konische Borsten, die an der Spitze nur noch 0,05 mm dick sind, im Gegensatz zu normalen Borsten, die zwischen 0,18 und 0,35 mm dick sind. Dadurch ist die Zahnbürste sehr weich und verhindert die Traumatisierung der Gingiva und Mukosa.
Ähnlich geht auch die Firma Fuchs GmbH mit der fuchs® sensitiv das Problem an.
Die Zahnbürste verfügt über neuartige 4 Finger-Borsten. Durch definierte Teilung wird die Anzahl der Borsten vervierfacht. Dadurch verspricht man sich eine noch gründlichere Reinigung der Zähne und des Zahnfleisches. Außerdem besitzt die Bürste einen flexiblen Bürstenhals, dieser ermöglicht einen sanften Anpressdruck und schützt so das Zahnfleisch vor Verletzungen.

In der Literatur findet man unterschiedliche Angaben zur Anpresskraft. Die Angaben schwanken dabei erheblich.
Die Werte liegen meist zwischen 1 N und 5 N [38].
In einer Studie von VAN DER WEIJDEN et al. 1996 konnte keine bedeutsame Beziehung zwischen Anpresskraft und Reinigungswirkung von unterschiedlichen Handzahnbürsten gefunden werden [62].
Um Rezessionen, McCall-Girlanden und Bürstläsionen zu vermeiden, gaben KRAMER et al. 1995 eine mittlere Kraft von 2 N an [34].
Auch VÖLK et al. 1987 waren der Meinung, dass bei einer mittleren Kraft unter 2 N Putzläsionen vermieden werden können [61].

1.1.4 Putzdauer

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Häufigkeit und die Dauer der Zahnbürstenbenutzung. Eine repräsentative Untersuchung aus dem Jahre 1999 ergab, dass nur 13 % der Senioren, 20 % der Erwachsenen und 27 % der Jugendlichen zweimal täglich Putzen, wobei die Putzdauer mindestens 2 min beträgt [43].
SAUERWEIN 1985 setzt eine Zahnputzdauer von 2 min voraus, ein anderer Autor spricht von 3 min [35, 51].
Zwischen der Dauer des Zähneputzens und der Plaqueentfernung besteht ein stark positiver Zusammenhang [30].
Je länger geputzt wird, desto sauberer werden die Zähne. Die ideale Zahnputzdauer ermittelten HAWKINS et al.1986, sie liegt bei 5,1 min. Darüber hinaus führte das Putzen zu keiner nennenswerten Verbesserung [24].

1.2 Gegenüberstellung von *in-vivo*- und *in-vitro*-Testverfahren zur Ermittlung der Reinigungseffizienz von Zahnbürsten

Um das unüberschaubare Angebot an Zahnbürsten zu sortieren und zu evaluieren, gibt es immer wieder Studien, in denen versucht wird, die Reinigungseffizienz verschiedener Zahnbürsten zu ermitteln.

Die Reproduzierbarkeit und Repräsentation von *in-vivo*-Studien ist schwierig auf Grund von mehreren Faktoren:
Bei jedem Menschen gibt es individuelle Unterschiede bezüglich des Zahnfleisches, der Zahnstellung, Art und Menge von Restaurationen.
Auch genetisch determinierte und infektiologische Faktoren sowie Allgemeinerkrankungen und exogene Einflüsse, wie die Exposition von Nahrungs- und Genussmitteln führen zu unterschiedlicher Plaqueakkumulation.
Es besteht eine enge Korrelation zwischen Mundhygiene und sozialer Herkunft [44].
Nicht zuletzt spielen das Alter und Stress eine wichtige Rolle bei den Putzgewohnheiten.
Durch all diese Faktoren resultieren bei jedem Menschen Unterschiede in der Plaqueakkumlation und machen es schwierig, allgemeingültige Aussagen zu treffen und Studien untereinander zu vergleichen.
Erschwerend kommt hinzu, dass *in-vivo*-Studien meist mit hoch motivierten Patienten, wie Zahnmedizinstudenten oder Zahnarzthelferinnen durchgeführt werden, die eine optmierte Putztechnik anwenden und deshalb eine exzellente Mundpflege aufweisen [40].
Zur Auswertung der Versuche hat sich in klinischen Studien der Modified Navy Plaque Index durchgesetzt, bei dem je nach Interesse, der Zahn als Ganzes, oder nur der gingivale oder approximale Bereich bewertet wird. Dabei wird jediglich festgestellt, ob Plaque vorhanden ist =1 oder nicht vorhanden ist=0 [49].
Dieser Index ist stark von der Subjektivität des Untersuchers abhängig.

Um all diese Faktoren auszuschließen hat man in zahlreichen *in-vitro*-Versuchen angetrebt, Putztechniken der Menschen durch Roboter zu immitieren, echte Zähne durch möglichst naturgetreue Nachbildungen zu ersetzen und eine definierte Plaquemenge herzustellen.

1.3 *In-vitro*-Putzversuche

Zur Zeit gibt es kein standardisiertes *in-vitro*-Testverfahren für Zahnbürsten.
Bei in-vitro-Zahnbürstenstudien treten immer dieselben Problematiken auf.

Erstens sollen die Putzbewegungen des Menschen, d.h. seine Hand bzw. Armbewegungen möglichst naturgetreu nachempfunden werden. Dies geschieht durch die Verwendung von Robotern.
Erste Putzversuche wurden mit 2-Achsen Robotern durchgeführt. Die Bewegungsmöglichkeiten entsprechen einer Hand, die starr mit Unterarm und Oberarm verbunden ist, wodurch nur eine rein horizontale oder vertikale Bürstbewegung möglich war [3, 39, 54].
Neuere werden mit 4-Achsen oder sogar 6-Achsen Robotern durchgeführt, wodurch Handgelenk und Schultergelenk an Bedeutung gewinnen.

Zweitens sollen die Zähne und die Gingivaverhältnisse imitiert werden.
NYGAARD-OSTBY verwendete 1979 einfache Blöcke, die Furchen aufwiesen [45].
Heutzutage werden meist Frasacozähne bzw. Frasacomodelle oder auch Duplikate von diesen verwendet oder auch extrahierte Zähne.

Das dritte und meist größte Problem betrifft die Herstellung von künstlicher Plaque oder einem Plaqueersatzmittel.
Laut Definition ist Plaque eine weiche, variabel dicke, stumpf gelblich-graue Auflagerung, die aus verschiedenen Bakterien und einer Matrix (bakterielle Produkte, Speichelkomponenten) besteht.
Sie ist das Produkt bakterieller Kolonisierung und Proliferation und haftet fest auf der Zahnoberfläche, ist also nur mechanisch mit der Zahnbürste und/oder instrumentell durch den Zahnarzt zu entfernen, nie jedoch mit scharfem Wasserstrahl [53].

Somit ergibt sich folgende Anforderungen an die künstliche Plaque oder das Plaqueersatzmittel: es sollte eine ausreichende Haftfestigkeit zur künstlichen Zahnoberfläche aufweisen.

Um letztendlich Aussagen über die durchgeführten Versuche treffen zu können, ist ein möglichst objektives Auswertungsverfahren notwendig. Die Entwicklung läuft auf digitale Auswertungsverfahren hinaus, damit stellt sich die nächste Anforderung an den Plaqueersatz: es sollte ein deutlicher Farbunterschied zwischen der künstlichen Zahnreihe und dem Plaqueersatzmittel bestehen.

1.3.1 Übersicht ausgewählter *in-vitro*-Zahnbürstenstudien und verwendeter künstlicher Plaque bzw. Plaqueersatzmittel

Mit Hilfe des Versuchsaufbaus nach NYGAARD-OSTBY 1979 sollte die Wirkung von Zahnbürsten im Approximalbereich untersucht werden [45]. Er verwendete eine 2-Achsen Bürstmaschine, die eine Oberfläche bürstete, die einer Zahnreihe ähnelte. Die simulierte Zahnreihe wurde mit Okklusionsfolie umgeben, diese diente somit als Indikator für das approximale Penetrationsvermögen der untersuchten Zahnbürsten. Dieser Versuchsaufbau wurde in späteren Untersuchungen häufig kopiert [64, 65].

Der Versuchsaufbau von NYGAARD-OSTBY 1979 wurde durch RAWLS 1993 weiterentwickelt [48].
Die simulierte Zahnreihe wurde durch Oberkiefermodelle (Columbia Dentoform Zahnmodelle) ersetzt und um eine Aussage über das Plaqueentfernungspotential ausgewählter Zahnbürsten treffen zu können, wurde ein blauer Ethylcellulosefilm hergestellt, der jedoch in der Haftung nicht der natürlichen Plaque entsprach.

Modifiziert wurde der Versuchsaufbau von VOLPENHEIN 1994, der die Hartnäckigkeit von 12 stündiger *in-vivo* gewachsener Plaque mit einem roten alkoholbasierenden Ethylester von einem PVM/MA Copolymer nachzuahmen versuchte [60].

Die Zahnputzbewegungen durch die Bürstmaschine sollten noch präziser ausgeführt werden. Aus diesem Grund wurde die Bürstmaschine mit Datenmaterial programmiert, das durch die Auswertung von Videobändern über die Bürstgewohnheiten von Probanden entstanden ist.

Nach dem Vorbild der Probanden führte die Putzmaschine 3 verschiedene Bürstbewegungen aus: eine horizontale Vor- und Zurückbewegung, eine Hoch-und Runterbewegung oder eine Rotationsbewegung.
Das Auswertungsverfahren entwickelte VOLPENHEIN soweit, dass Bilder digitalisiert wurden und anschließend mit einem Bildverarbeitungsprogramm unter einem Raster ausgewertet werden konnten.

ERNST et al. 1997 führten eine Studie über die Reinigungseffizienz von elektrischen Zahnbürsten mit Hilfe eines 6-Achsen Industrieroboters durch [19]. Als Plaqueersatz fand eine Mischung aus Plakafarben (Mali Plus, Eberhard Faber und Waco Fin, Heinrich Wagner) Anwendung. Ausgewertet wurden die Versuche durch den visuellen Plaqueindex.

MAYER 2000 untersuchte die Effizienz von Zahnbürsten bei der Reinigung von festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen mit Hilfe einer 2-Achsen Bürstmaschine und Brackets, die auf Plexiglasträger geklebt wurden und mit einer Lösung aus Lakritze beschichtet wurden [39]. Eine Aussage über die Effizienz einer Zahnbürste traf MAYER über eine subjektive Beurteilung der Reinigungsleistung durch eine Gradeinteilung.

SETZWEIN 2002 stellte in einer Zahnbürstenstudie ein Zahnmodell mit natürlichen Zähnen, um natürliche Oberflächeneigenschaften zu erhalten, vor. Belag wurde durch Tee, der anschließend mit Methylenblau eingefärbt wurde, erzeugt.
Nach dem Putzvorgang wurden Dias angefertigt, die mit einem dafür entwickelten Computerprogramm „Corpus“ ausgewertet wurden [54].

Es gibt auch Versuche Plaque *in-vitro* zu züchten. Einen Ansatz dazu bietet BÖSSMANN [9]. Er versetzt menschlichen Reizspeichel mit 5 prozentiger Saccharoselösung und trägt diese auf extrahierte Zähne auf. Dieses Verfahren ist sehr komplex und langwierig.

1.4 Problemstellung

Im ersten Schritt sollte ein Versuchsaufbau entwickelt werden, der es ermöglichte, dass ein 4-Achsen Roboter so programmiert wird, dass er immer wieder dieselben Putzbewegungen ausführt.
Der Roboter sollte einmal die wohl gebräuchlichste Putztechnik, die Schrubbtechnik, und eine kompliziertere Technik, die Stillmanntechnik, ausführen. Für jede Zahnbürste sollte dieselbe Ausgangsposition und dieselbe ausgeübte Putzkraft herrschen.

Im zweiten Schritt sollte nun sozusagen der Patient und sein Problem
-die Plaqueakkummulation- nachempfunden werden. Dabei interessierte nicht nur der bezahnte Patient ohne kieferorthopädische Versorgung, sondern auch der Bracketträger, da durch die Brackets Nischen und unebene Oberflächen geschaffen werden, die die Bildung und Ansammlung von Plaque begünstigen. Dadurch ist die Mundhygiene erschwert und das Kariesrisiko erhöht [66].
Die Anforderung an den Plaqueersatz sollte zum einen sein, dass er eine hohe Haftfestigkeit zum künstlichen Zahn aufweist und zum anderen, dass er sich deutlich von der Farbe der künstlichen Zahnreihe abhebt.

Im dritten Schritt sollte ein Arbeitsplatz geschaffen werden, durch den es möglich war, die Ergebnisse objektiv auszuwerten und eine quantitative Analyse der Putzleistung zu erhalten.

Nachdem diese Voraussetzungen alle geschaffen waren, sollten 10 handelsübliche Zahnbürsten in Verbindung mit verschiedenen Putzmedien, Wasser, der Zahnpasta Elmex® und der Zahnpasta Pearls & Dents®, auf ihre Reinigungseffizienz getestet werden.
Die Zahnbürsten unterscheiden sich in der Anzahl und Anordnung der Borstenbündel, der Länge und der Breite und Anordnung des Borstenfeldes, dem Material und Durchmesser der Einzelborsten sowie der Gestaltung und Länge des Zahnbürstengriffes.

Es sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Kann man mit einer komplizierteren Putztechnik wirklich mehr Putzeffizienz erreichen, als mit der einfachen Schrubbtechnik?
- Wenn diese Frage mit ja beantwortet werden kann, wie hoch ist die Steigerung oder ist es sogar möglich mit einer geeigneten Bürste in Verbindung mit einem geeigneten Medium eine schlechte Putztechnik auszugleichen?
- Ist es auch möglich, mit den getesteten Zahnbürsten Brackets effektiv zu reinigen?
- Erweisen sich bestimmte Borstenanordnungen als besonders günstig?

2. Material und Methode

2.1.Versuchsaufbau

Der entwickelte Arbeitsplatz zur Durchführung der Putzversuche besteht aus einem Roboter, einem Steuerelement und einer Haltevorrichtung zur Aufnahme der Zahnattrappen.

2.1.1 Roboter

Die Abbildung 1 zeigt den Robot Sankyo SKILAM SR 5383 (Sankyo Seiki Mfg.Co.,Ltd.) und die Vorrichtung zur Halterung der Modelle.
Der Roboter ist ein 4-Achsen Roboter vom rechtwinkligen Koordinatentyp, welcher drei Translationsachsen und eine Rotationsachse besitzt.
Auf der X-Achse kann er lineare Vor- und Zurückbewegungen und auf der Y-Achse in derselben Ebene Seitwärtsbewegungen ausführen. Auf beiden Achsen ist eine Auslenkung von 300 mm möglich.
Auf der Z-Achse ist er in der Höhe regulierbar mit einer maximalen Auslenkung von 150 mm. Die W-Achse ist eine Drehachse.
Für die genaue Bestimmung eines Punktes im Raum ist dem Roboter ein Koordinatensystem zugeordnet. Er findet die programmierte Position mit einer Genauigkeit von 0,06 mm wieder. Der Nullpunkt des Koordinatensystems ist in der Position „Home“ gespeichert, die den Ausgangspunkt für jede Bewegung darstellt.

2.1.2 Das Steuerelement

Die Abbildung 2 zeigt das Steuerelement.
Über das Steuerelement kann der Roboter programmiert und bedient werden. Die andere Möglichkeit der Programmierung besteht über einen Personalcomputer.
Es können fünf Programme eingegeben und die Positionsdaten gespeichert werden.
Auf dem Bildschirm wird das Programm mit den jeweiligen Koordinaten angezeigt.
Über das Steuerelement lässt sich der Roboter starten und wieder stoppen.
Außerdem befindet sich am Steuerelement ein Emergency-Stop-Schalter.
Die Arbeitsschritte zum Bedienen des Roboters sind im Anhang festgehalten.

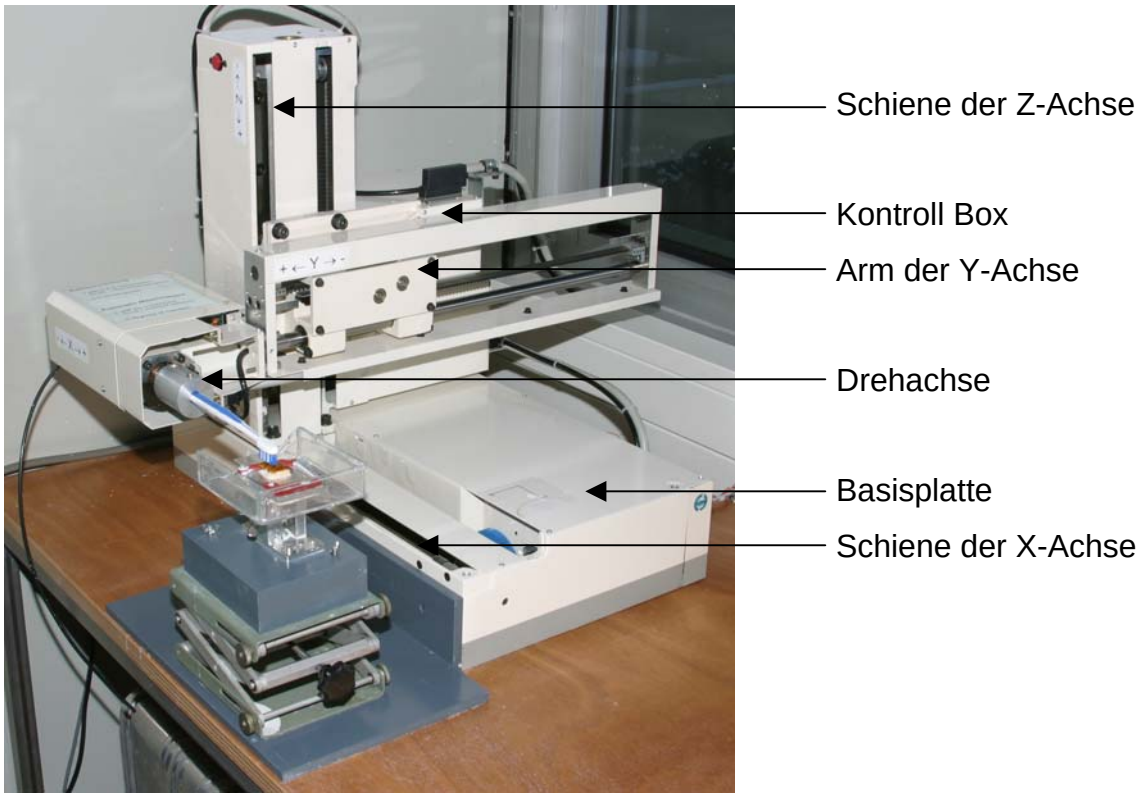


Abb.1 Robot SR 5383 und Modellhaltevorrichtung.

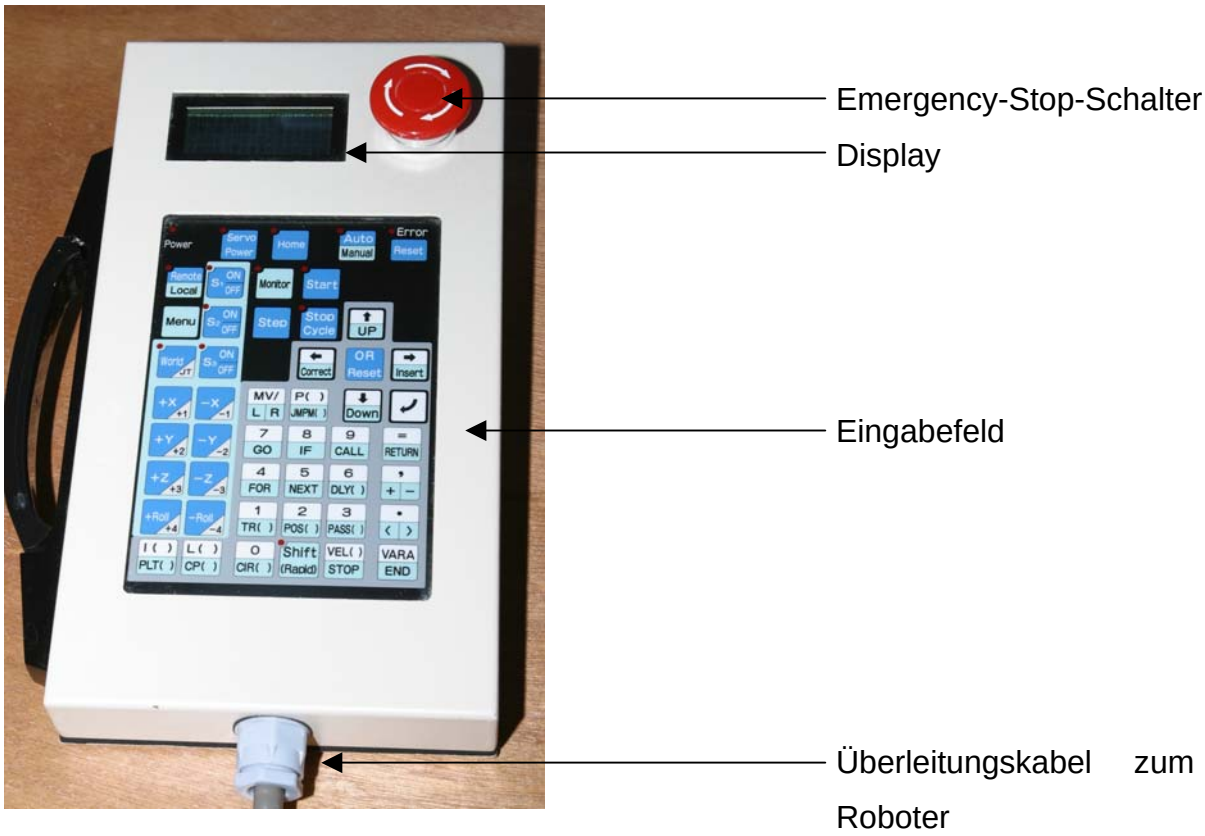


Abb.2 Das Steuerelement.

2.1.3 Der Modellträger

Der Modellträger ist durch eine PVC Platte fest mit der Unterlage und dem Roboter verbunden.

Der Modellträger besteht aus einem höhenverstellbaren Tisch, einem 40 mm hohen PVC Block. Dieser Block dient als Platzhalter für die späteren Kraftmessungen.

Darüber ist ein kleinerer, mit einem Kugelgelenk versehener Tisch befestigt, um das Modell nach der Ausrichtung des Bürstenkopfes zu positionieren. An diesem Tisch ist ein Auffangbehälter für das Slurry und eine Einspannvorrichtung für das Modell angebracht.

Abbildung 3 zeigt den Modellträger.

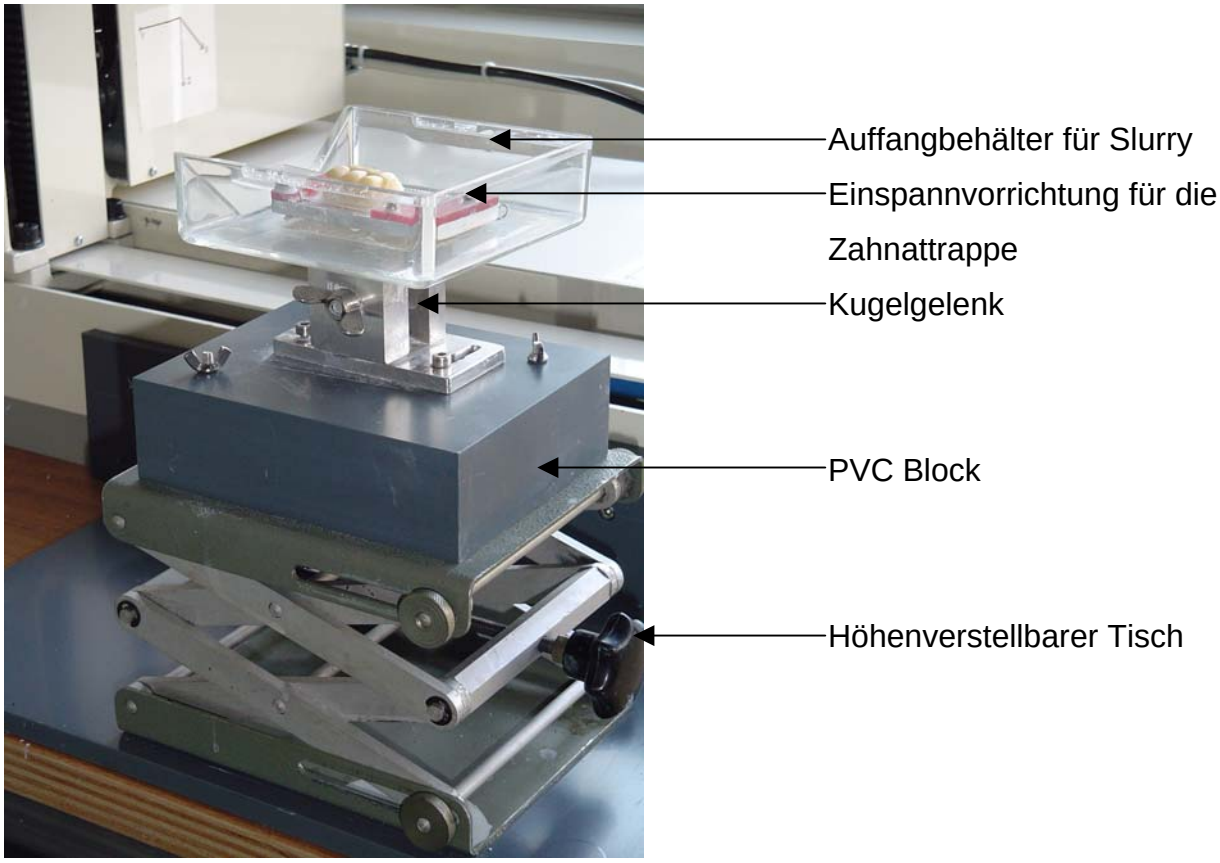


Abb. 3 Der Modellträger.

2.1.4 Putztechniken

Entsprechend der Bewegungsmöglichkeiten des Roboters sollte zum einen die Schrubbtechnik und zum anderen die Stillmanntechnik simuliert werden. Dazu wurden 2 Programme eingespeist.
Programm 1 macht eine lineare Vor- und Zurückbewegung, die senkrecht auf die Zähne gerichtet ist, mit der Auslenkung von 10 mm nach jeder Seite. Die Bürste trifft die Vestibulärflächen und den Zahnfleischsaumbereich gleichermaßen. In das Programm wurde ein Zwischenstop eingebaut, um eine Kraftmessung durchzuführen.
Programm 2 verrichtet eine lineare Vor- und Zurückbewegung in einer um 45° geneigten Ebene zum Zahnfleischsaumbereich und eine Abrollbewegung in Richtung der Zahnkronen.

2.1.5 Putzdauer und Putzkraft

Es wurden jeweils 20 Putzzyklen, die einer Zeitspanne von 15 s entsprechen, durchgeführt.
Vor jedem Putzdurchgang erfolgte eine Kraftmessung. Dabei ist die entsprechende Zahnbürste in die Halterung am Roboter eingebracht. Der PVC Block wurde gegen eine Briefwaage, die ebenfalls die Höhe von 40 mm hat, ausgetauscht. Darauf wurde der Tisch mit der Modellhalterung gestellt. Anschließend wird der Sockeltisch so lange in der Höhe verstellt bis die Waage ein Gewicht von 104 g anzeigt. Nach der Kraftbestimmung wurde anstelle der Waage wieder der PVC Block eingebracht, um eine stabile Unterlage für die Putzversuche zu gewährleisten. Die Abbildung 4 zeigt diesen Vorgang.

Abb. 4 Vorgang der Putzkraftbestimmung.

2.2 Modellherstellung

Es wurde mittels Frasacozähnen 13, 14, 15 ein Zahnattrappenmodell hergestellt. Die Zähne wurden mit Klebewachs auf einer 80x30 mm großen Plexiglasscheibe befestigt und die Papillen ausmodelliert.

Von diesem Modell wurde mit einem additionsvernetzten Dubliziersilikon Hydrosil (Siladent-Technik) eine Hohlform hergestellt, die anschließend mit Palavit ® 55 VS (Heraeus Kulzer GmbH) ausgegossen wurde. Dabei war gewährleistet, dass die Zähne immer an der selben Stelle auf der Plexiglasscheibe positioniert wurden.

Nach einer Aushärtungszeit von 10 min konnte die Applikationshilfe geöffnet werden. Die Herstellung weiterer 40 Modelle, die von 1 bis 40 durchnummeriert wurden, erfolgte nach demselben Prinzip.

Anschließend wurden die Zahnkronen mit Korund (Körnung 40 ym) sandgstrahlt, um die Oberfläche anzurauhen und ein besseres Haften des Plaqueersatzes zu erreichen.

Die Hälfte dieser Modelle wurden mit Forestadent®-Brilliant®-Brackets (Forestadent) versehen, die mit Hilfe der Setzlehre positioniert wurden.
Die Brackets wurden mit dualhärtendem Befestigungskomposit Super C Ortho (Amco) geklebt und anschließend 60 s lichtgehärtet.
Vom ersten Modell wurde mit Silaplast Futur (Detax GmbH & Co. KG) ein Abdruck genommen und mit einem Skalpell (Aeskulap) soweit zurückgeschnitten, dass die Brackets als Fenster frei lagen. Mit dieser Positionierungshilfe wurden alle anderen Modelle mit Brackets versehen. Die Verwendung von zahnfarbenen Brilliant Brackets war obligat, da eine Spiegelung bei anschließender Digitalphotographie auszuschließen sein sollte.
Zuletzt wurde ein zahnfarbener Draht Forestadent-Titanol®-Superelastic in die Bracketslots eingebracht und mit einer Gummiligatur (Forestadent) befestigt.

2.2.1 Plaqueersatz und Beschichtung

Als Plaqueersatz diente eine Suspension aus Lakritze (Firma Haribo) und Wasser. 200 g Lakritze wurde in kleine Stücke geschnitten und in einem Liter destilliertem Wasser aufgekocht und anschließend püriert. Danach wurde die Suspension so lange geköchelt, bis sich die Lakritze vollständig aufgelöst hatte. So entstand eine homogene Lösung von dunkelbrauner Farbe.
Von diesem Plaqueersatz wurde ausreichend hergestellt, um alle Versuche durchführen zu können.
Durch die Aufbewahrung im Brutschrank bei ca. 50 °C blieb die Lösung flüssig.

Nach einigen Vorversuchen stellte sich heraus, dass weder durch das Bestreichen, noch Besprühen der Modelle eine gleichmäßige Schichtstärke erreicht werden konnte, deshalb wurden die Modelle in die Lösung getaucht.
Dazu wurde ein Teil der Lösung auf 80 °C erhitzt und in eine Glasschale gegeben. Danach erfolgte der Tauchvorgang und die 24 stündige Lufttrocknung der Modelle, um ein maximales Austrocknen und festes Haften an den Zahnattrappen zu gewährleisten.
Nach der Versuchsauswertung wurden die Modelle in ein heißes Wasserbad gelegt, um die Plaquereste vollständig zu entfernen, anschließend getrocknet und dann erneut getaucht.

2.3 Versuchsauswertung

Durch digitale Photographie und anschließende Verarbeitung mit einem speziell dafür geschriebenen Computerprogramm sollte ein objektivierbares und reproduzierbares Ergebnis entstehen. Dafür wurde ein zweiter Arbeitsplatz eingerichtet. Dieser besteht aus einer Camera, die in eine dafür hergestellte Halterung eingeschraubt werden konnte, und einem Personalcomputer.

2.3.1 Camera und Halterung

Es wurde die Spiegelreflexcamera KODAK Professional DCS 460 Digital Camera verwendet. Dabei handelt es sich um eine monochrome Camera.

Abb.5 KODAK Professional DCS 460 Digital Camera mit Halterung.

Abb. 6 Ausschnitt aus Basisplatte mit Referenzkeil.

Die Halterung für die Camera besteht aus einer Basisplatte an der 2 Halogenleuchten und ein Winkel, in den die Zahnattrappen angelegt werden können, angebracht sind. An diesem Winkel ist auch der Referenzkeil befestigt, der für weiß, grau und schwarz bei jeder Aufnahme einen Wert lieferte (Abb. 4). Diese Werte wurden bei jeder Auswertung verglichen, dabei war eine Abweichung bis zu 5 Punkten akzeptabel.

Zur Aufnahme der Modelle in zervikal – koronaler Richtung wurde ein Keil aus Silaplast hergestellt, der ebenfalls am Winkel angelegt werden konnte.

Durch den Stativtisch kann die Camera immer in derselben Position montiert werden, da eine Stativschraube zur Aufnahme der Camera an der Rückseite angebracht ist.
Durch die Halterung ergibt sich ein definierter Arbeitsabstand zwischen Objektivvorderkante und Modell, der zu einem konstanten Bildausschnitt führt.
Zum Aufnehmen der Bilder wurde der manuelle Modus gewählt, mit der größtmöglichen Blende von 22, der Belichtung von 1/15 s und einer Punktschärfe von 1,25, die direkt am Objektiv eingestellt wurde. Beim Objektiv handelte es sich um ein Makroobjektiv mit der festen Brennweite von 90mm.
Es wurde kein aufgesetzter Blitz als Zusatzbeleuchtung verwendet.
Als Beleuchtung dienten 2 festinstallierte Halogenleuchten (Osram) mit 12 V, 20 W und 51 mm Durchmesser.
Das Glas der Leuchten wurde sandgestrahlt, um eine diffuse Strahlung zu erzeugen.
Im Raum war die Beleuchtung ausgeschaltet. Es gab keinen Tageslichteinfall. Dies garantierte eine konstante Beleuchtung.

Der CCD-Chip ist das Herz der Camera. Er wandelt die durch das Objektiv eingehenden Lichtimpulse in elektrische Impulse um. Die Anzahl der Bildsensoren (Pixel) beträgt 3060 x 2036.
Als Speichermedium diente eine IBM Wechselfestplatte mit 340 MB, auf der die Bilddaten gespeichert wurden. 56 Photos konnten gespeichert werden.

2.3.2 Personalcomputer

Der Datentransfer von der Kamera zum Computer geschah über die Wechselfestplatte, welche in ein Einlesegerät am USB Anschluss gesteckt wurde. Der PC ist ein IBM compatibler und besitzt einen AMD Prozessor mit 1100 Mhz Takt. Als Festplatte dient die Maxtor 80 GB. Der PC ist versehen mit einer Graphikkarte vom Typ RADEON 7200 AGP von ATI.
Als Betriebssystem war Windows 2000 installiert.
Zum Verwalten der Bilder wurde ACDSee ™ 4.0 benutzt und zum Konvertieren der Bilder Thumbs™ 2000.

2.3.3 Funktionsweise des Computerprogrammes „Grau“

Die Weiterverarbeitung der aufgenommenen Bilder fand am Computer statt.
Dazu wurden alle Bilder in ein Standardformat konvertiert. Es fand eine Reduktion der Pixelanzahl auf 1024x768 statt und die Datei erhielt das Format bmp mit Hilfe des Programmes Thumbs™ 2000. Nach diesem Arbeitsschritt erfolgte die Umbenennung der bis jetzt nur mit Zahlen versehen Photos durch das Programm ACDSee™.
Der neue Name setzte sich wie folgt zusammen:
ausgewählte Zahnbürste/Putzmedium/Putztechnik/Nummerierung von 1-10.
Ein Beispiel lautet: *meridol_PuD_Schrubb_1.bmp*
Das entstandene Photo wurde nun als Graustufenbild auf dem Bildschirm angezeigt.
Somit konnten die Photos mit dem dafür entwickeltem Computerprogramm „Alles grau, wohin ich schau... Version1.0“ ausgewertet werden. Das Computerprogramm verfügt über 3 Einzelprogramme: Grau 1 –3.

Grau 1 und 2 wird für die Auswertung der Modelle, die mit den Brackets versehen sind, benutzt. Mit „Grau 1“ soll die Aufsicht auf das Modell und mit „Grau 2“ das Modell von apikal nach koronal beurteilt werden. So wurden für „Grau 1“ 23 Kästchen in Abstimmung auf Poblembereiche und für „Grau 2“ 9 Kästchen festgelegt.
Die Abbildungen 7 und 8 zeigen jeweils mit Plaquersatz beschichtete Modelle mit den Rahmen, die zur Auswertung herangezogen wurden. In der Abbildung 4 sind mit den Rahmen 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18 die Bracketoberflächen, mit den Rahmen 5, 12, 15 die Drahtoberfläche, 6, 7, 13, 14, 20, 21 die Bracketbasis und mit 22 und 23 2 interdentale Messpunkte bezeichnet.

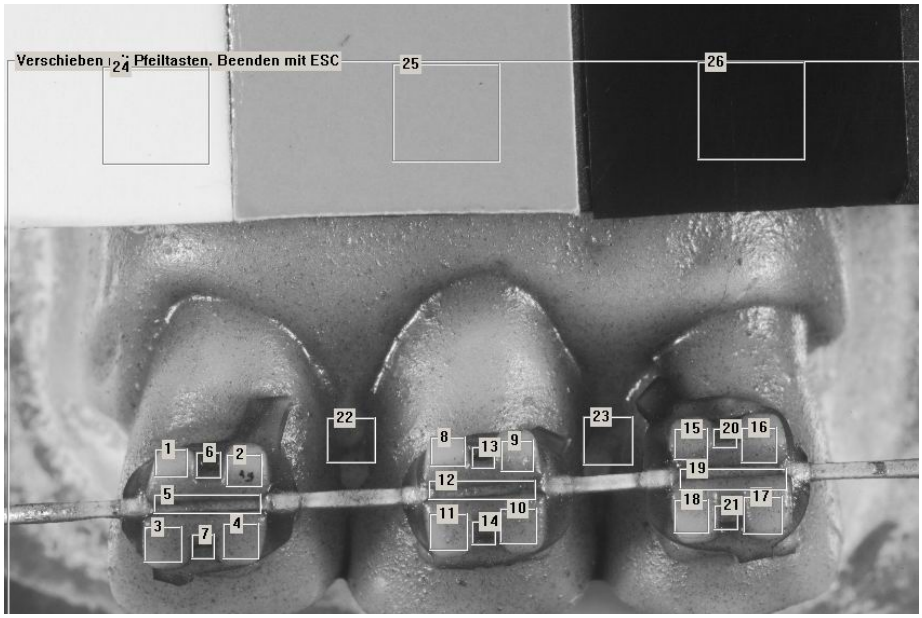


Abb. 7 Programm „Grau 1“.- Bracketsoberflächen1, 2, 3, 4, 8, 9,10, 11, 15, 16,17; Drahtoberfläche 5,12, 15; Bracketsbasis 6, 7, 13, 14, 20, 21; interdentale Messpunkte: 22 und 23.

In „Grau 2“ wird genau dasselbe Bild angeschaut von apikal nach koronal um mit den Rahmen 1,3, 5 die Bogenunterschnitte, mit 2, 4, 6 die Bracketbasis und mit den Rahmen 7,8 ,9, 10, 11 und 12 den Übergang vom Bracket zum Zahn beurteilen zu können (Abbildung 8).

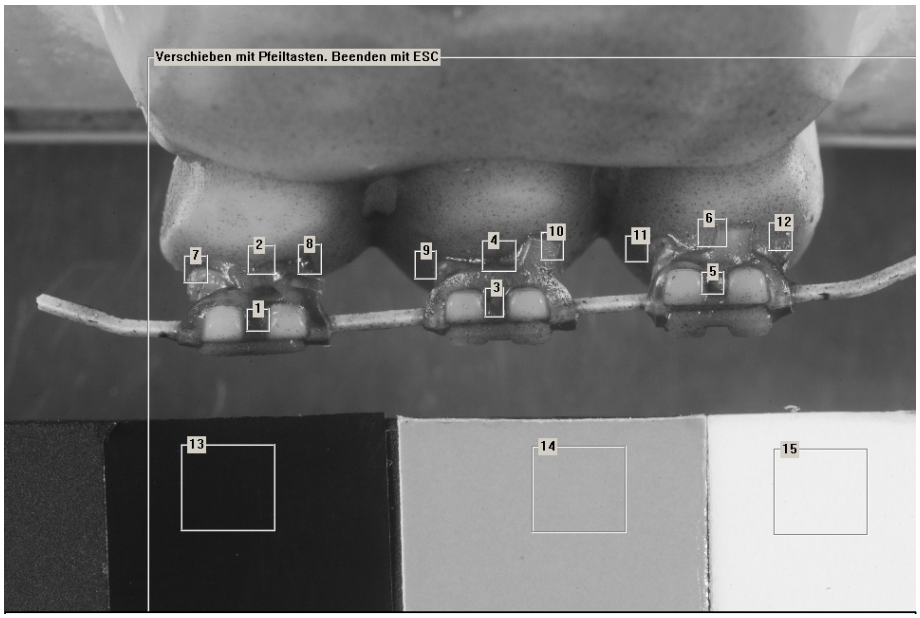


Abb. 8 Programm „Grau 2“.- 1, 3, 5: Bogenunterschnitte, 2, 4, 6: Bracketbasis, 7,8 ,9, 10, 11 und 12: Übergang vom Bracket zum Zahn.

Mit dem Programm „Grau 3“ werden die Modelle ohne Brackets ausgewertet. Dabei wurden folgende Festlegungen getroffen: Rahmen 1 und 2 für die interdentalen Messpunkte, Rahmen 9, 10, 11 für die Zahnoberfläche und Rahmen 3, 4 und 5 für den Übergang vom Zahn zur Gingiva.

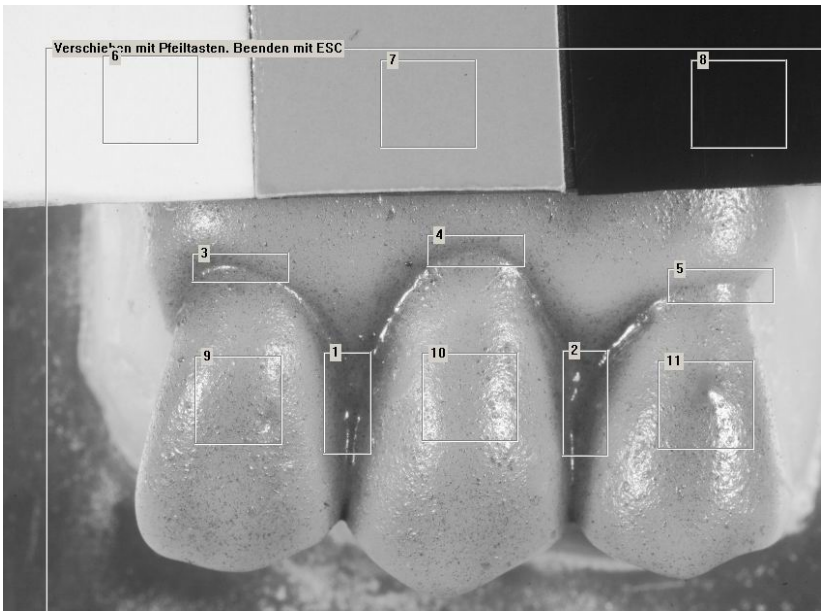


Abb. 9 Programm Grau 3.- Interdentale Mespunkte: 1,2; Zahnoberfläche 9,10,11; Übergang Zahn Gingiva: 3,4,5.

Die 3 Grau-Programme arbeiten nach demselben Prinzip.

Das Photo wird als Graustufenbild auf dem Bildschirm angezeigt. Von bestimmten Bereichen werden die Graustufen abgefragt, den sog. Rahmen. Jeder Rahmen hat eine festgelegte Anzahl von Bildpunkten. Jeder Bildpunkt wird auf einer Skala von 0 (=schwarz) bis 255 (=weiß) vermessen. Die Summe der Graustufen der Bildpunkte für jedes Kästchen wird addiert und durch die Anzahl der Bildpunkte dividiert, das ergibt einen Mittelwert für jeden Rahmen. Um einen Wert für das gesamte Modell zu erhalten, wird mit allen Rahmen so verfahren.

Um die Bilder untereinander vergleichbar zu machen, wurde ein Referenzkeil eingebaut, der jeweils einen Referenzwert für schwarz, für grau und für weiß liefert.

Die Referenzwerte werden jedes Mal gemessen und verglichen, fließen aber nicht mit in die Auswertung ein.

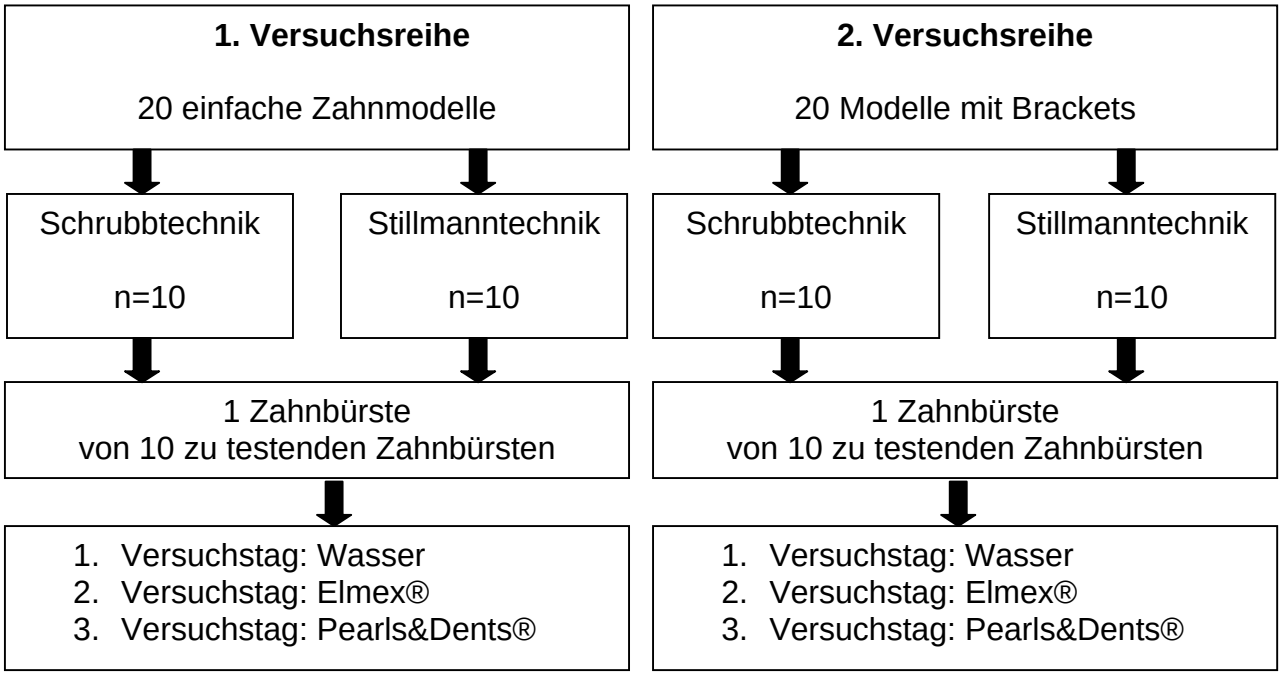
Es wird immer ein Bild mit Beschichtung vor dem Putzvorgang gemacht und eines vom geputzten Modell, die Differenz ist der ausschlaggebende Wert für den Putzerfolg.

Die entstandenen Zahlenwerte wurden in Excel Tabellen aufgelistet und weiterverabeitet. Ein Beispiel ist im Anhang festgehalten.
Das Programm ist einzusehen in der Abteilung für Kieferorthopädie, Universität Ulm.

2.4 Versuchsreihen

Es sollten 10 Zahnbürsten getestet werden mit jeweils Wasser, der Zahnpasta Elmex® und der Zahnpasta Pearls & Dents® als Putzmedium. In der ersten Versuchsreihe wurden auf diese Weise die einfachen Zahnmodelle einmal mit der Schrubbtechnik und einmal mit der Stillmanntechik untersucht. In der zweiten Versuchsreihe wurden die Modelle mit den Brackets nach denselben Gesichtspunkten getestet.
Pro Bürste, Medium und Putztechnik wurde jeder Putzvorgang 10mal wiederholt und der entstandene Wert durch 10 dividiert, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

Die folgende Abbildung zeigt einen Versuchsplan der durchgeführten Versuche.



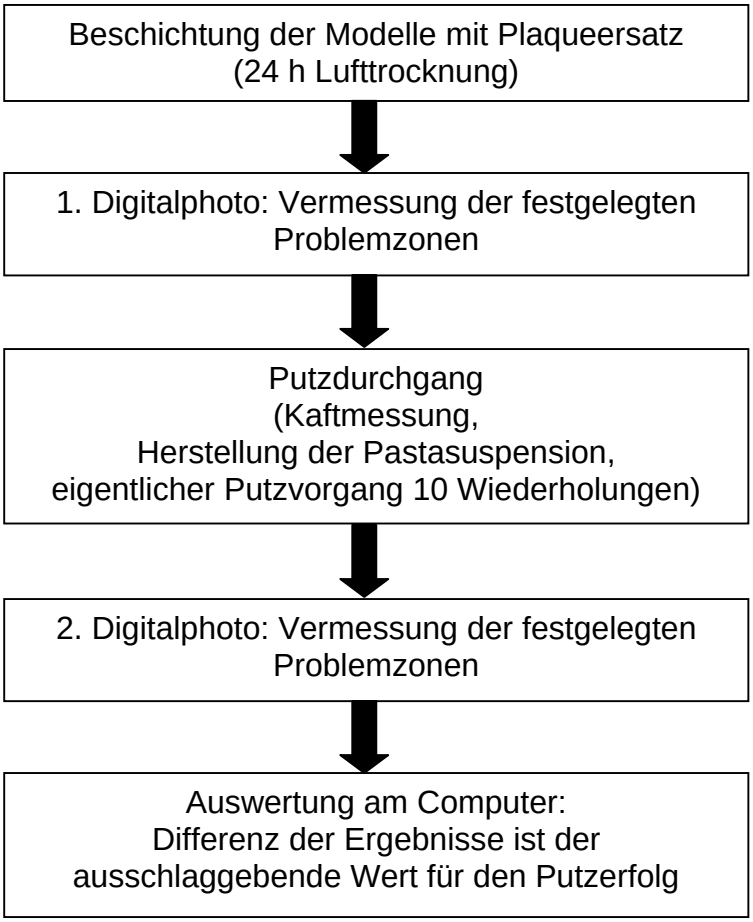


Abb. 10 Versuchsplan zur Durchführung der Putzversuche

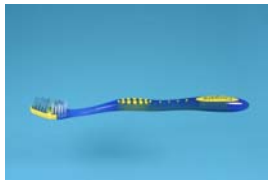
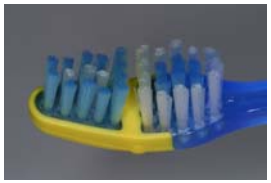
2.4.2 Ausgewählte Zahnbürsten

In den Tabellen 1 und 2 sind die verwendeten, handelsüblichen Zahnbürsten abgebildet und die vom Hersteller hervorgehobenen Besonderheiten aufgeführt.
Die Griffe der Zahnbürsten mussten angepaßt werden, damit sie in die vorgesehene Halterung am Roboter eingebracht werden konnten.

Tab. 1 Ausgewählte Zahnbürsten und vom Hersteller angegebene Besonderheiten.

meridol® (GABA International AG)				Besitzt mikrofeine Borstenenden, kleinen Bürstenkopf (23*14mm), konische Filamente (Basis d=0,18mm, Ende 0,05mm).
fuchs® sensitiv (Fuchs GmbH)				Definiert geteilte 4-Finger-Borsten, rutschhemmende Ausrüstung der 2. Griffkomponente.
elmex® interX Kurzkopf (GABA International AG)				Der Form der Zähne angepasstes X-Borsten-Feld.
aronal® öko-dent (GABA International AG)				Einzeln abgerundete Borsten, unterschiedliche Borstenhöhen. Ökolgisch sinnvoll: Griff behalten, Köpfe wechseln = weniger Abfall.
Dr. Best Interdent (M+C Schiffer)				Hoch-Tief Anordnung der Borsten, Schwingkopf, Federelement .

Tab. 2 Ausgewählte Zahnbürsten und vom Hersteller angegebene Besonderheiten.

Dr. Best X-Sensor Kopf (M+C Schiffer)				X-Aktiv Borsten: schräg abgewinkelte X-Aktiv-Borsten. Sensorkopf, Spezialfederung.
Colgate Navigator				Flexibel, um hintere Backenzähne zu reinigen.
Oral-B® Advantage® Kurzkopf (Gillette Gruppe)				Extra lange Borsten am Ende. Die Farbe der blauen Indikator®borsten verblasst bis zur Hälfte und zeigt an, wann die Bürste gewechselt werden sollte.
Oral-B® CrossAction® (Gillette Gruppe)				CrissCross Borsten sind kreuzweise angeordnet. Power Tip Borsten: Extra lange Borsten am Ende des Bürstenkopfes.
blend-a-dent Professional (Procter& Gamble)				3 verschiedene Borstentypen: angewinkelte innere Borsten für die Zahnzwischenräume, gerade äußere Borsten für Zahnfleischrand, lange vordere Borsten erreichen die hinteren Backenzähne.

2.4.1 Ausgewählte Putzmedien und Herstellung der Pastensuspension

Die Inhaltsstoffe der verwendeten Zahnpasten sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tab. 3 Übersicht der Inhaltsstoffe von Elmex® und Pearls & Dents®.

	Elmex®	Pearls & Dents®
Inhaltsstoffe	Aminfluorid, Hydrated Silica, Sorbitol, Hydroxyethylcellulose, Aromastoffe,Titanium Dioxide, Saccharin, Wasser	Aminfluorid, Natriumfluorid, Xylit, Ethylen-Vinylacetat Copolymer, Bisabolol, Ethanolisch wäßriger Extrakt aus Kamillenblütenköpfen, Panthenol, Kokosfettsäure-Amidopropylbetain, Glycerin, Natriummetaphosphat und Kieselsäure, Hydroxyethylcellulose, Titandioxid, Natriumbenzoat, Saccharin, Menthol, Anethol, Eukalyptol, Eugenol, Citronellol, Aromastoffe, Wasser
RDA-Wert	77	45
Hersteller/ Vertreiber	Wybert GmbH in Lörrach	Liebe Nachf. GmbH & Co.KG In Leinenfelden-Echterdingen

Die Herstellung der Zahnpastasuspension erfolgte, indem die entsprechende Zahnpasta mit Wasser im Verhältnis 1:2 vermischt wurde. Die Suspension wurde in einer Spritze aufgezogen. 1 ml dieser Probe wurde zu jedem Putzdurchgang hinzugegeben.

2.4.3 Durchführung des Putzvorganges

Zum eigentlichen Putzvorgang wurde die Zahnbürste am Roboter eingeschraubt und das Modell in die Spannvorrichtung eingebracht. Die Zahnbürste wurde angefeuchtet und es erfolgte die Applikation von 1 ml der Zahnpastasuspension auf das Modell. Danach wurde der Roboter gestartet. Nach Beendigung des Putzvorganges wurde das Modell in kaltes Wasser getaucht und mit einem feinen Pinsel die Zahnpastareste vorsichtig entfernt.

Bevor das Modell erneut fotographiert wurde, trocknete die Feuchtigkeit vollständig ab. Ein Beispiel eines geputzten Modells zeigt die nächste Abbildung.

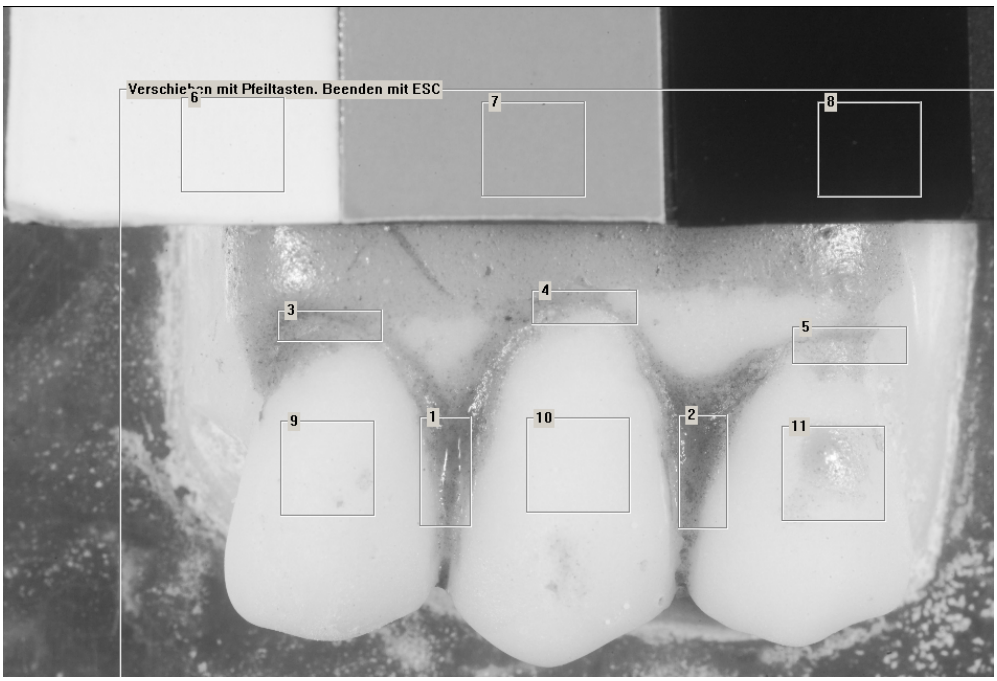


Abb. 11 Beispiel eines geputzten Modells.

3. Ergebnisse

Ziel dieser *in-vitro*- Studie war es, mit Hilfe einer computergesteuerten Putzmaschine und eines digitalen Auswertungsverfahrens herauszufinden, ob Personen, die eingeschränkte manuelle Fähigkeiten haben, beispielsweise Kinder, die in den meisten Fällen Schrubbtechnik ausüben,
mit a) einer geeigneten Bürste, die meist durch die Gestaltung des Borstenkopfes ein gutes Reinigungsvermögen der Problemzonen versprechen
und b) einem geeigneten Putzmedium an das Ergebnis der Putzeffizienz einer komplizierteren Technik, in diesem Fall Stillmanntechnik, heranreichen können.

Dazu wurden im Fall der Modelle ohne Brackets 600 Meßreihen und 1200 Photos und im Fall der Modelle mit Brackets 600 Meßreihen und 2400 Photos ausgewertet.

Eine Meßreihe, die eine Zahnbürste mit einem Medium und einer Putztechnik umfaßt, liefert bei den unbebänderten Zähnen 80 Einzelwerte bei 10 Wiederholungen, die anschließend gemittelt wurden.

Eine Meßreihe der Modelle mit den Brackets liefert für die Auswertung der Aufsicht 230 und für die Schrägansicht 120 Einzelwerte, die ebenso gemittelt wurden.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Versuche graphisch dargestellt, eine Auflistung der Ergebnistabellen befindet sich im Anhang.

3.1 Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: einfache Zahnmodelle

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen Boxplot-Diagramme, in denen die Ergebnisse jeder Zahnbürste mit einem Putzmedium: Wasser, der Zahnpasta Elmex® und der Zahnpasta Pearls&Dents® in jeweils einem Boxplot dargestellt sind.
Die Prozentile wurden bei 25 % und 75 % gewählt. Der mittlere Querstrich kennzeichnet den Medianwert, die Raute den Mittelwert.
Ein Boxplot ist durch die Werte von 10 Wiederholungen eines Putzvorganges entstanden.

Auf der Y-Achse befinden sich die Werte für die Putzeffizienz ohne Maßeinheit, da das Ergebnis durch die Differenzbildung zweier Helligkeitsstufen entstanden ist. Je höher die Differenz, desto besser ist die Putzleistung der Zahnbürste mit dem entsprechenden Medium.
Zur Interpretation der Diagramme wurden der Median- und der Mittelwert herangezogen.

In Abbildung 12 ist zu sehen, dass mit Ausnahme der Zahnbürsten elmex®, aronal® und Interdent, eine Steigerung der Putzeffizienz durch Zugabe der Zahnpasta Elmex® und eine nochmalige Steigerung durch die Zahnpasta Pearls & Dents® erreicht wird.
Die Zahnbürste CrossAction® erzielt in Verbindung mit Pearls & Dents® die höchsten Meßergebnisse.

In Abbildung 13 zeigt sich, wie in der vorangegangenen Versuchsreihe ebenfalls eine Verbesserung der Putzeffizienz durch die eingesetzten Zahnpasten.
Die Zahnbürsten X-Sensor und CrossAction® erreichen in Verbindung mit
Pearls & Dents® die höchsten Werte.

Im Vergleich von den Abbildungen 12 und 13 fällt auf, dass bei der Stillmanntechnik eine Verlagerung aller Boxplots in Richtung höhere Meßergebnisse stattgefunden hat.

3.1.1 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik

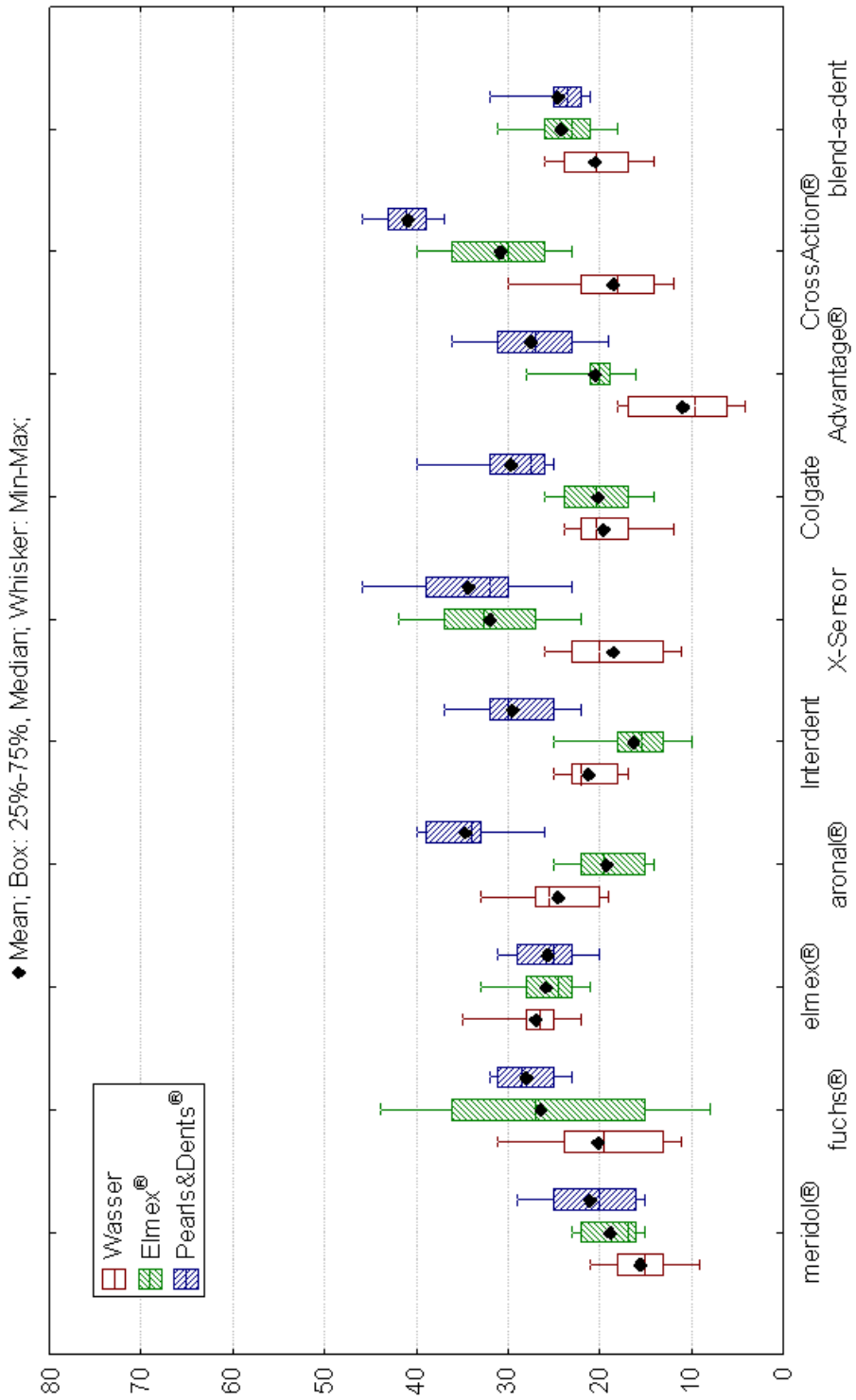


Abb. 12 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik.- x-Achse zeigt die 10 getesteten Zahnbürsten mit dem jeweiligen Putzmedium, y-Achse enthält reine Zahlenwerte als Maß für die Putzleistung.

3.1.2 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik

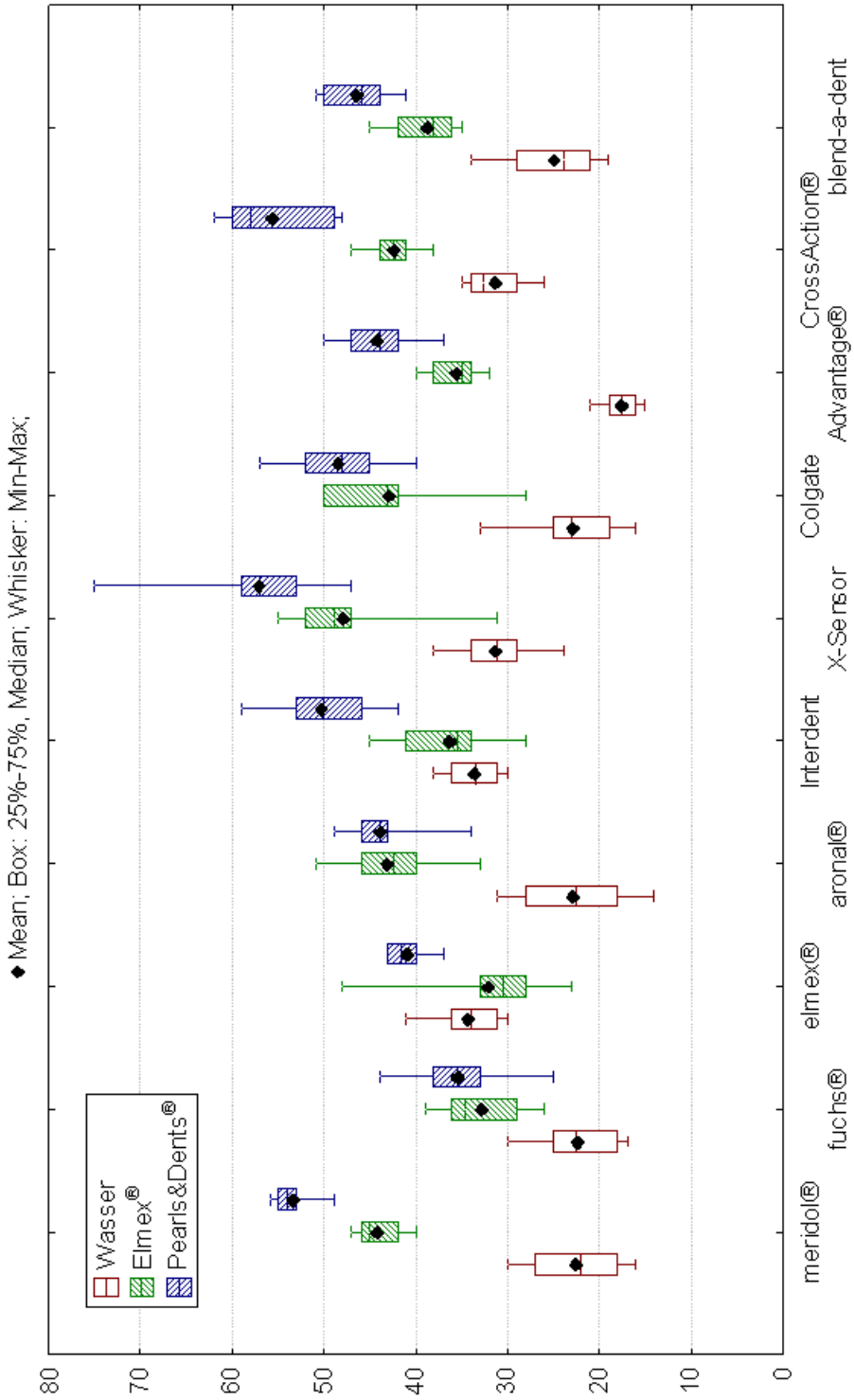


Abb. 13 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik.- x-Achse zeigt die 10 getesteten Zahnbürsten mit dem jeweiligen Putzmedium, y-Achse enthält reine Zahlenwerte als Maß für die Putzleistung.

3.1.3 Putzeffizienz Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik

Im Bezug auf die Hauptfragestellung soll nun geklärt werden, ob es möglich ist, auch bei Anwendung der Schrubbtechnik eine ebenso gute Putzeffizienz zu erzielen, wie bei Anwendung der Stillmanntechnik.
Um eine Aussage treffen zu können, wie nah man an das Putzergebnis einer komplizierteren Technik heranreichen könnte, wurde ein Dreisatz aufgestellt.

$$\frac{\text{Stillmann mit entspr. Medium}}{100\ \%} = \frac{\text{Schrubbtechnik mit entspr. Medium}}{x}$$

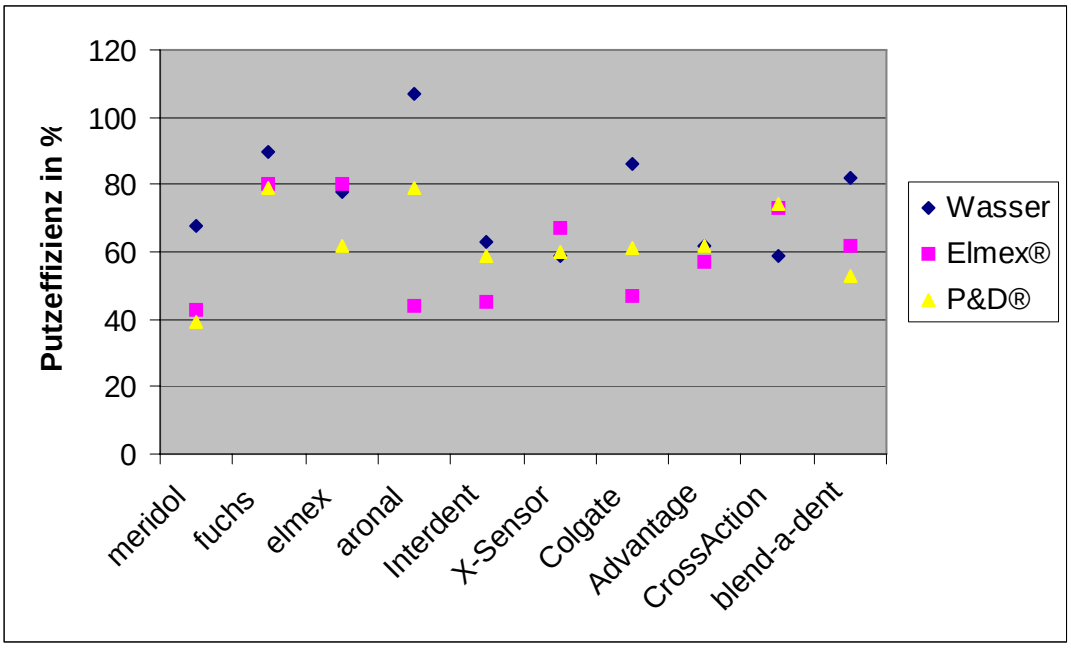


Abb. 14 Putzeffizienz in Prozent Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik.
P&D®= Pearls & Dents®

Eine Putzeffizienz von 100 % würde bedeuten, dass mit der Schrubbtechnik ein ebenso gutes Putzergebnis, wie mit der Stillmanntechnik erreicht werden kann.
Es zeigt sich, dass beim alleinigen Benutzen von Wasser der geringste Unterschied in der Putzeffizienz besteht.
Bei den Zahnbürsten aronal® und Colgate Navigator hängen die Putzergebnisse stark von dem verwendeten Medium ab.

3.2 Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Modelle mit Brackets

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe sind ebenfalls in Boxplot-Diagrammen aufgezeigt, wobei für jede Putztechnik 2 Diagramme existieren. Ein Diagramm spiegelt die Ergebnisse der Modellaufsicht und das zweite die Ansicht von zervikal nach koronal wider. Die beiden Diagramme sollten nicht getrennt voneinander betrachtet werden.

Auch bei der zweiten Versuchsreihe wird der zusätzliche Reinigungseffekt der beiden getesteten Zahnpasten gegenüber von Wasser deutlich.
Nur die Aufsicht bei Anwendung der Schrubbtechnik betrachtet befinden sich 8 der 10 getesteten Zahnbürsten in einem Bereich der Reinigungseffizienz von 30 – 40.
Dagegen bestehen größere Unterschiede in den schwerer zugänglichen Bereichen, wie die Schrägansicht zeigt. Bei ausschließlicher Benutzung von Wasser ist nahezu keine Reinigung der sog. Problemzonen möglich.

Bei Anwendung der Stillmanntechnik zeigen sich die höchsten Werte für die Zahnbürsten X-Sensor und Colgate Navigator.

3.2.1 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik der Modelle mit Brackets - Aufsicht

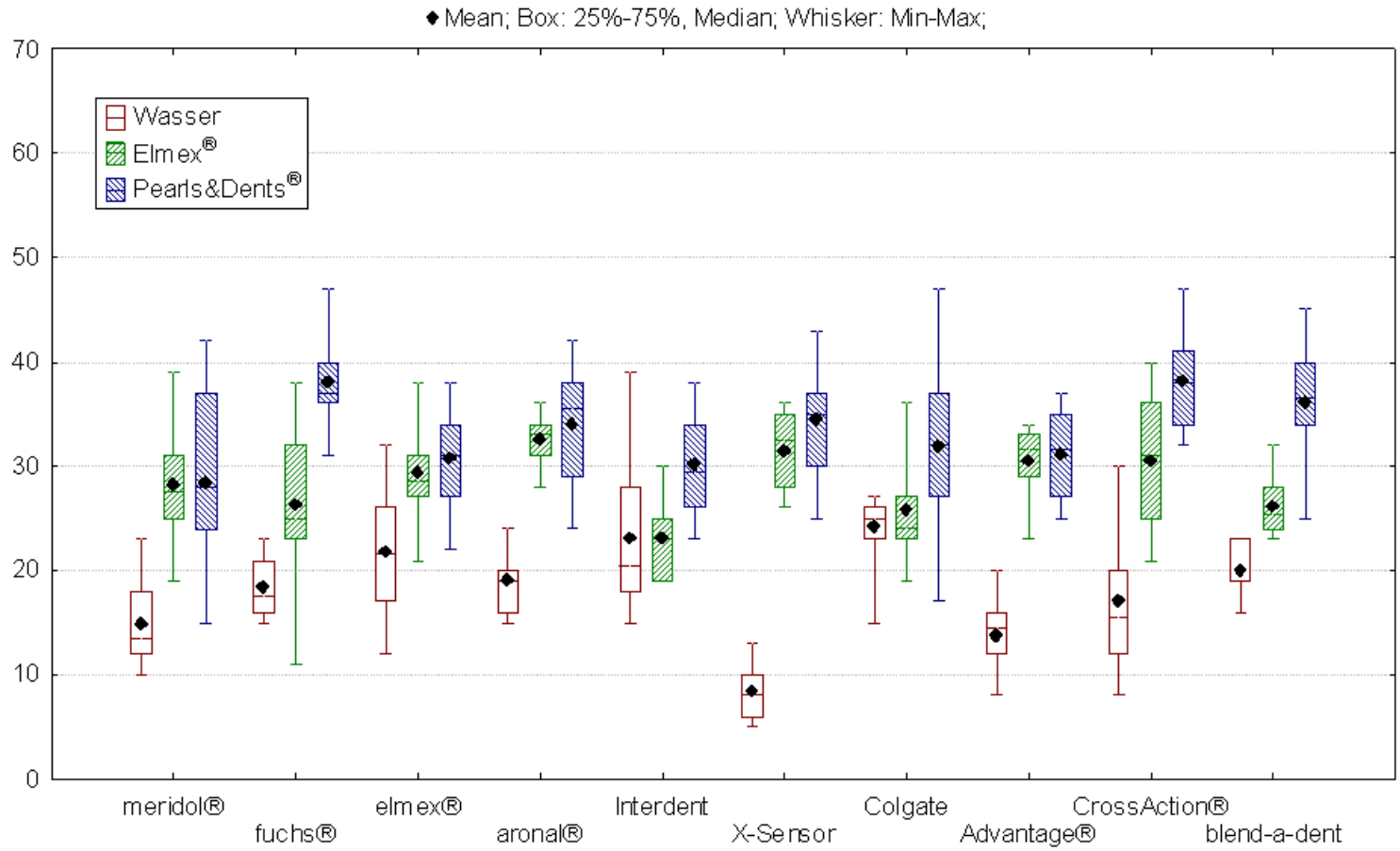


Abb. 15 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik der Modelle mit Brackets (Aufsicht) .-
x-Achse zeigt die 10 getesteten Zahnbürsten mit dem jeweiligen Putzmedium, y-Achse enthält reine Zahlenwerte als Maß für die Putzleistung.

3.2.1 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik der Modelle mit Brackets - Schrägansicht

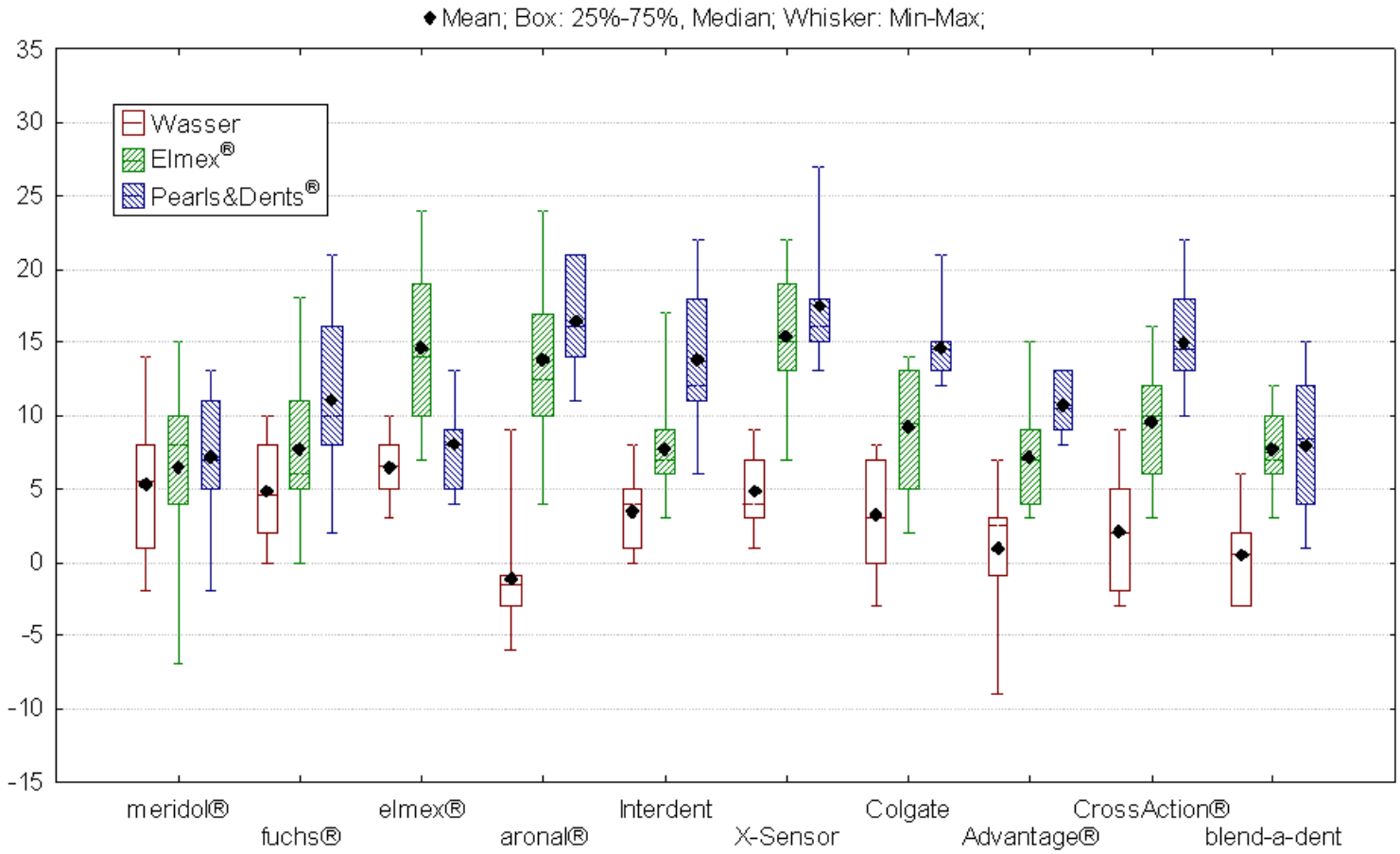


Abb. 16 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik der Modelle mit Brackets (Schrägansicht).- x-Achse zeigt die 10 getesteten Zahnbürsten mit dem jeweiligen Putzmedium, y-Achse enthält reine Zahlenwerte als Maß für die Putzleistung.

3.2.2 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik der Modelle mit Brackets - Aufsicht

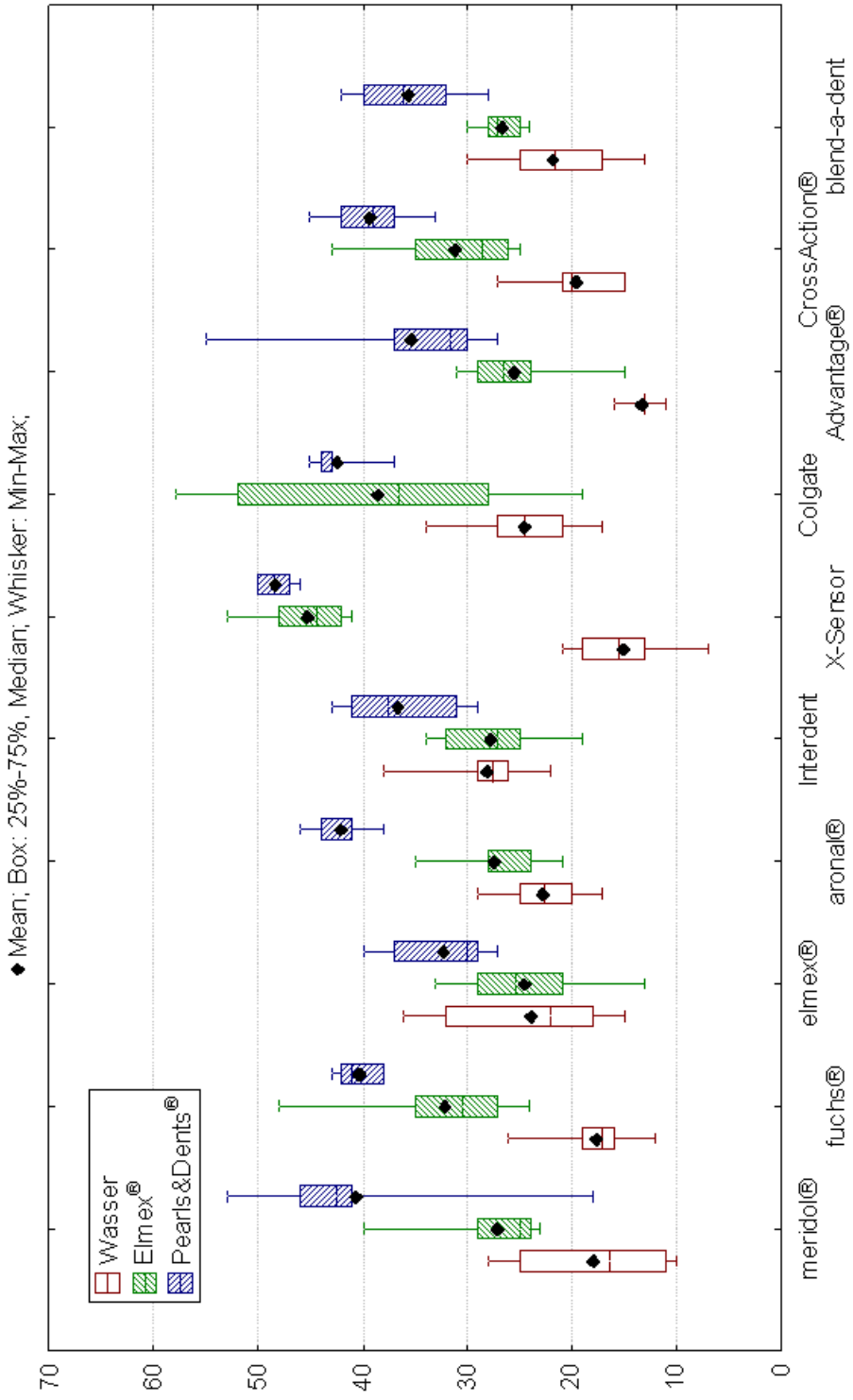


Abb. 17 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik der Modelle mit Brackets (Aufsicht).- x-Achse zeigt die 10 getesteten Zahnbürsten mit dem jeweiligen Putzmedium, y-Achse enthält reine Zahlenwerte als Maß für die Putzleistung.

3.2.2 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik der Modelle mit Brackets - Schrägansicht

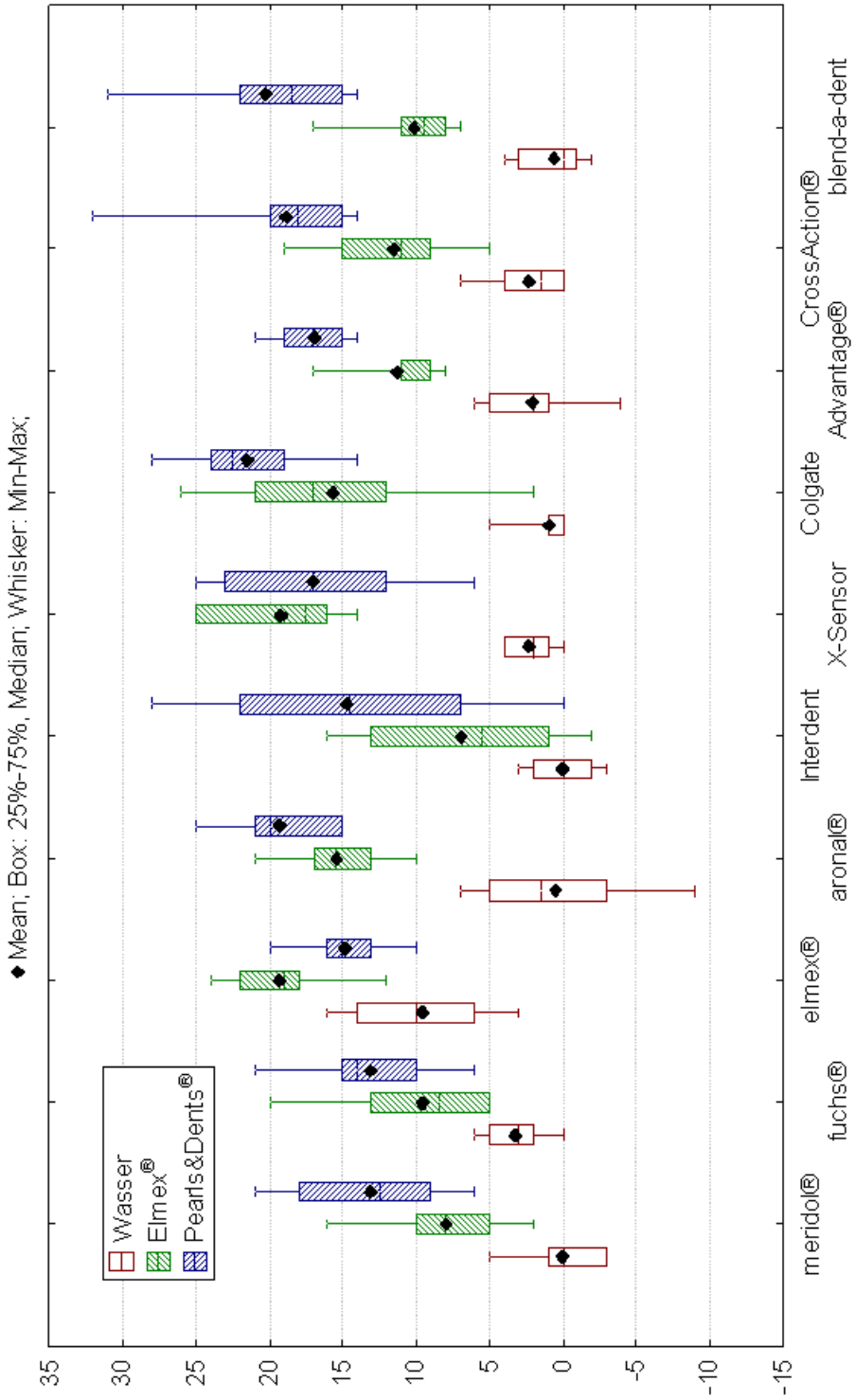


Abb. 18 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik der Modelle mit Brackets (Schrägansicht).- x-Achse zeigt die 10 getesteten Zahnbürsten mit dem jeweiligen Putzmedium, y-Achse enthält reine Zahlenwerte als Maß für die Putzleistung.

3.2.3 Putzeffizienz in Prozent Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik

Im Vergleich der beiden Techniken bedeuten Werte von 100 %, dass mit der Schrubbtechnik eine ebenso gute Putzeffizienz erreicht werden kann, wie mit der Stillmanntechnik. Bei den Zahnbürsten Interdent, X-Sensor und CrossAction® ist die Putzeffizienz unabhängig vom Putzmedium. Sie liegt bei der Interdent und bei der CrossAction® bei ca. 90 % und bei der X-Sensor bei ca. 80 %.

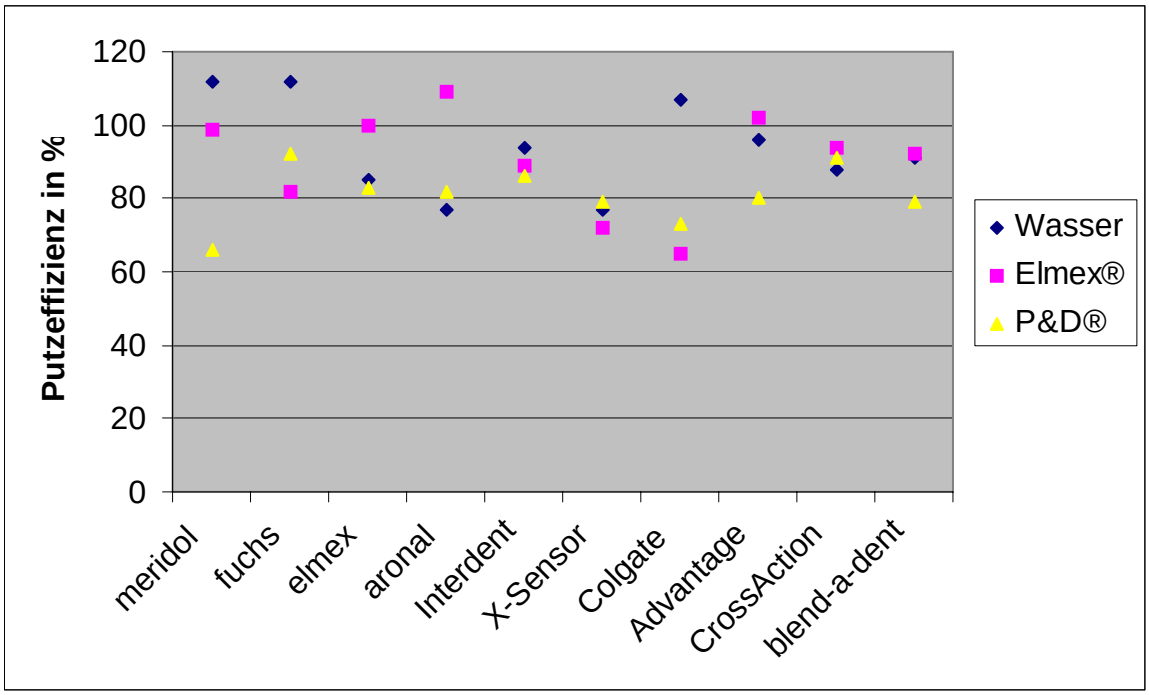


Abb. 19 Putzeffizienz in Prozent Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik der Modelle mit Brackets.
P&D®= Pearls & Dents®

Im Vergleich von den Abbildungen 14 und 19 kann beobachtet werden, dass der Unterschied der Putzeffizienz bei Schrubbtechnik und Stillmanntechnik bei den Modellen mit den Brackets geringer ausfällt, als bei den Zähnen ohne Brackets.

4. Diskussion

Mit der vorliegenden Arbeit sollte ein robotergestützter Arbeitsplatz zur standardisierten Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten und ein Arbeitsplatz zur quantitativen Analyse der Putzergebnisse geschaffen werden und in diesem Zuge 10 handelsübliche Zahnbürsten in Kombination von verschiedenen Putzmedien auf ihre Effektivität bei einem bezahnten Patienten ohne kieferorthopädische Versorgung und einem Bracketträger getestet werden.
Dazu wurde ein Modell aus Kunststoff hergestellt, mit einem Plaqueersatz beschichtet und mit Hilfe des Roboters geputzt.

4.1 Bewertung der Methoden

4.1.1 Versuchsaufbau

Ein Roboter, der vier verschiedene Freiheitsgrade besitzt, sollte genutzt werden, um verschiedene Putztechniken der Menschen nachzuahmen.
Es gibt zahlreiche Studien, in denen Putzversuche mit einer 2-Achsen Bürstmaschine durchgeführt wurden [3,39,54].
Dadurch war es immer nur möglich, die zwar gebräuchlichste, die Schrubbtechnik, aber auch die, die mit den größten Schäden für Zahn und Parodontium behaftet ist, auszuführen [41].

Durch den Robot Sankyo SKILAM SR 5383 war eine Weiterentwicklung möglich, da nun auch eine kompliziertere Technik, die Stillmann-Technik, ausgeführt werden konnte. Jedoch mit der Einschränkung, dass die Zahnattrappe keinen bogenförmigen Verlauf zulies. Die Zähne mussten möglichst linear angeordnet sein und eine Kronenflucht sollte auch vermieden werden, deshalb fiel die Entscheidung auf die Oberkieferzähne 3,4 und 5. Es sollten ideale Verhältnisse in Abstimmung auf den Roboter gefunden werden, die natürlich nicht auf diese Weise auf den Menschen übertragbar sind.

Ein weiteres Problem trat bei Ausführung der Stillmann-Technik auf. Die Ausrollbewegung konnte nur exakt ablaufen, wenn der Bürstenkopf in der Verlängerung der Drehachse des Roboters zum Liegen kam.
Durch den meist 2 winkligen Aufbau der Zahnbürste gelang dies nicht ohne Weiteres. Gelöst wurde dieses Problem, indem die Griffe so angepaßt wurden, dass der Bürstenkopf auf der Drehachse zum Liegen kam. Duch die Abwinkelung des Bürstengriffes befand sich der Bürstenkopf nun jedoch nicht mehr parallel zur Tischebene. Dieses Problem wurde gelöst, indem unter der Halterung für die Zahnattrappen ein Kugelgelenk angebracht wurde. Auf diese Weise konnte die Modellhalterung parallel zum Bürstenkopf ausgerichtet werden.

Zur Bestimmung der Bürstkraft wurden in vorangegangenen Studien die Bürstenköpfe mit einem Messinggewicht beschwert. Dies war nun nicht mehr möglich, da nicht mehr nur horizontale Putzbewegungen ausgeführt wurden, da bei der Stillmanntechnik eine Rüttelbewegung im 45 ° Winkel stattfindet und so das aufgelegte Gewicht seine Anpresskraft verliert. Die Anpresskraft wurde aufgebaut, indem das Modell auf dem höhenverstellbaren Tisch gegen die Zahnbürste gepresst wurde bis die Waage ein Gewicht von 104 g anzeigte.

Die Putzkraft von 1 N liegt an der unteren Grenze der gefundenen Literaturangaben.
Die Unterschiede der Reinigungseffizienz der getesteten Bürsten sollte deutlich herausgearbeitet werden und da bei gesteigerter Putzkraft die Reinigungsleistung zwar steigt, aber auch die Gefahr Putzläsionen zu verursachen, sollten aktuelle Prophylaxeanforderungen eingehalten werden.

Wenn man davon ausgeht, dass die Zahnputzdauer des Einzelnen zwischen
2 und 3 min liegt, sind 15 s für 3 Zähne der gemittelte Wert.

Mit Hilfe des Roboters war es möglich ein standardisiertes *in-vitro*-Verfahren zur Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten zu entwickeln. Dabei konnte bei der Anzahl der Bürstzyklen und der Art der Bürstbewegung und dem Anpressdruck auf Ergebnisse von *in-vivo*-Studien zurückgegriffen werden, aber Individualitäten von Versuchspersonen in Bezug auf anatomische Gegebenheiten, Motivation, manuelle Geschicklichkeit konnten aus der Untersuchung ausgeschlossen werden.

4.1.2 Zahnattrappen und Plaqueersatz

Um die Situation des Patienten darzustellen, verwendeten schon andere Autoren Modellzähne [19, 48]. Auch VOLPENHEIM 1994 benutzte ganze Oberkiefermodelle [60]. Dies war in der vorliegenden Studie aus bereits aufgeführten Gründen nicht möglich.
Deshalb galt es einen Ausschnitt aus einem Modell herzustellen, die Zahnformen und somit die Approximalräume und den Gingivaverlauf möglichst naturgetreu nachzuempfinden.
Durch die Duplikation mit Hydrosil (Siladent-Technik), das in der Zahntechnik verwendet wird, konnten von einem Ausgangsmodell 40 Duplikate hergestellt werden.
Da nicht nur der bezahnte Patient interessierte, sondern auch die Situation von Bracketträgern, bei denen es durch die Nischen der Brackets zur erhöhten Plaqueakkumulation kommt und der Pflegeaufwand dementsprechend erhöht ist, wurden 20 Modelle mit Brackets versehen.

Die Art der Plaqueersatzherstellung erwies sich in sofern als günstig, da sich der Plaqueersatz in der Farbe deutlich von der Zahnoberfäche abhob und von klebriger, zähflüssiger Konsistenz war und nach 24 stündigem Austrocknen eine hohe Haftfestigkeit an der Zahnattrappe aufwies.
Der Nachteil der Methode zeigte sich erst bei der Auswertung. Obwohl der Plaqueersatz in ausreichender Menge hergestellt wurde und immer nur ein Teil zur neuen Beschichtung erhitzt wurde, hatte die ausgetrocknete Beschichtung nicht immer dieselbe Farbnuance und damit verbunden, nicht immer dieselbe Schichtstärke. Schon ein geringer, mit dem Auge nicht wahrzunehmender Unterschied, brachte bei der Auswertung Schwankungen bei den reinen Zahlenwerten mit sich.
Die Erhitzung war nötig, damit die Lösung wieder dünnflüssig wurde, damit auch bei den Modellen mit den Brackets eine möglichst gleichmäßige und dünne Schichtstärke erreicht werden konnte. Und obwohl genau auf die Temperatur, die Zeit und die erhitzte Menge geachtet wurde, ergaben sich diese Differenzen.

Gelöst wurde dieses Problem, indem ein Bild vor dem Putzvorgang und nach dem Putzvorgang gemacht wurde, somit war die Differenz der ausschlaggebende Wert für den Putzerfolg.
Dadurch war es aber bei der Gesamtauswertung der Modelle nicht möglich, zu sagen, welcher Wert aussagte, dass der Plaqueentfernungsgrad 100 % bedeutete.
Auch zur Plaqueersatzherstellung gibt es kein standardisiertes Verfahren.
Auf den Einsatz von *in-vitro* gezüchteter Plaque wurde verzichtet, da die Verfahren sehr komplex und langwierig sind.
Die Verwendung von Plaquafarben ist kostspielig, da diese nicht abwaschbar sind und somit die Modelle nach jedem Putzvorgang ausgetauscht werden müssen. SETZWEIN 2002 benutzte einen Teebelag, der anschließend mit Methylenblau angefärbt wurde [54].
DÖRFER 1999 verwendete in einer Studie zur Untersuchung der Interdentalreinigung Okkluspray (Hager & Werken Duisburg) [14].
Jede dieser Methoden hat Vorteile und Nachteile, eine optimale Lösung wurde noch nicht gefunden.

4.1.3 Versuchsauswertung

Durch die digitale Fotographie stehen die Bilder unmittelbar, in hoher Auflösung und guter Qualität zur Verfügung.
Die Idee war ein Computerprogramm zu entwickeln, mit dem man von ausgewählten Bereichen eines Bildes Graustufen abfragen kann, um über einen Zahlenwert eine Aussage über eine Putzleistung treffen zu können. Die Graustufen der Bereiche, die für uns von Interesse waren, konnten über sogenannte Rahmen abgefragt werden. Diese Rahmen wurden einerseits in Abstimmung auf Problemzonen festgelegt, andererseits sollten aber auch vermeintlich einfach zu reinigende Bereiche, wie die Zahnoberfläche oder die Bracketoberflächen abgefragt werden, um letztendlich eine Aussage über das gesamte Modell zu erhalten.
Zur Überprüfung des Systems wurde eine Referenzkeil installiert, der bei jeder Aufnahme 3 Werte lieferte, die jedes Mal überprüft und verglichen wurden, dabei war eine Abweichung bis zu 5 Punkten akzeptabel.

4.1.4 Ausgewählte Zahnbürsten und Zahnpasten

Mit der Auswahl der Zahnbürsten sollte ein möglichst breites Spektrum neuer Bürstenkopfdesigns abgedeckt werden.
Das Medium Wasser sollte als Vergleichsmedium zu dem zusätzlichen Reinigungseffekt von Zahnpasten dienen. Die Auswahl fiel auf die Zahnpasta Elmex® und die Zahnpasta Pearls & Dents®, die durch die Zugabe von mikrofeinen Kügelchen eine zusätzliche Reinigungswirkung verspricht.

4.2 Besprechung der Ergebnisse

Der Versuchsaufbau lässt einen direkten Vergleich der Reinigungseffizienz der ausgewählten Zahnbürsten mit dem entsprechendem Medium bei Anwendung der Schrubbtechnik und bei Anwendung der Stillmanntechnik zu.
Variablen, die die Putzeffizienz beeinflussen, wie Zahnstellung, Putztechnik, Dauer des Putzvorganges und Anpressdruck konnten konstant gehalten werden.

Wesentliche Einflüsse auf das Reinigungsvermögen einer Zahnbürste haben:
das Profil, der Abstand und die Länge der Borsten, der Härtegrad und die damit verbundene Biegsamkeit der Borsten.
So zeigen zahlreiche Studien, dass die Bürsten mit einem gewellten bzw. gestuften Borstenfeld einem flachen überlegen sind [60, 65].

4.2.1 Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: einfache Zahnmodelle

Bei Anwendung der Schrubbtechnik schneiden die Zahnbürsten CrossAction® und X-Sensor am besten ab. Die Bürstenkopfkonfigurationen zeichnen sich durch schräg abgewinkelte Borsten und lange hintere Borsten aus. Die längeren äußeren Borsten haben einen guten Zugang zu den Approximalräumen.
Die Zahnbürsten Oral-B® Advantage® und meridol® schneiden unterdurchschnittlich ab.
Ein Erklärungsversuch liegt darin, dass die Filamente bei 90° sehr eng stehen und sich damit gegenseitig blockieren.

Die beiden getesteten Zahnpasten bewirken einen zusätzlichen Reinigungseffekt, der bei Verwendung der Pearls & Dents® höher liegt, als bei der Zahnpasta Elmex®. Dies belegen auch Studien von SANDER 1997 und LUTZ 1996 [37, 50].

Auch bei Anwendung der Stillmanntechnik erzielen die Zahnbürsten X-Sensor und CrossAction® die höchsten Werte.
Damit wird gezeigt, dass diese Bürsten sowohl bei Anwendung der einfachen Schrubbtechnik, als auch bei Anwendung einer komplizierten Technik sich am effizientesten erweisen.
Dieses Ergebnis wird in Studien von BEALS et al. 2000 untermauert [6]. In dieser *in-vitro*-Studie wurden mehr als 80 Zahnbürsten getestet, mit dem Ergebnis, dass die CrossAction® durchschnittlich eine 15,5 prozentige höhere Reinigungseffizienz erreicht, als eine Bürste mit geraden Borsten.
Ebenso belegen *in-vivo*-Studien von CRONIN et. al 2000, SHARMA et al. 2000 und eine Langzeitstudie von SHARMA et al. 2000 bessere Reinigungseffizienz der CrossAction® gegenüber anderen führenden Zahnbürsten [11, 55, 56].

Aus dieser Studie geht hervor, dass mit einer komplizierteren Technik mehr Reinigungseffizienz erreicht werden kann, als bei Anwendung der Schrubbtechnik. Eine Steigerung bis zu 60 % ist möglich.

Doch unter der Annahme, dass ein Patient mit der Oral-B® CrossAction® und der Zahnpasta Pearls & Dents® bei Anwendung der Schrubbtechnik putzt, kann er ein besseres Reinigungsergebniss erzielen, als bei Anwendung der Stillmanntechnik mit den Zahnbürsten fuchs® sensitiv und elmex® unabhängig vom Putzmedium, und mit den Zahnbürsten Interdent, Oral-B® Advantage® und der blend-a-dent in Verbindung mit der Zahnpasta Elmex®.

4.2.2 Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Modelle mit Brackets

Die Auswertung der Modelle mit den Brackets ist differenzierter möglich.
Durch die Auswertung der sog. Schrägansicht werden die Problembereiche, insbesondere die untersichgehenden Bereiche gesondert betrachtet.

Dabei zeigt sich ein gutes Abschneiden der Zahnbürsten elmex®, X-Sensor und Colgate Navigator bei Anwendung der Schrubbtechnik.
In der Gesamtauswertung schneidet die aronal Zahnbürste am besten ab und die Zahnbürsten elmex®, CrossAction® und X-Sensor erreichen ein etwas geringeres Ergebnis.
Wieder erzielen die Zahnbürsten meridol® und Oral-B® Advantage® die niedrigsten Ergebnisse.
Insgesamt zeigt sich, dass die Unterschiede in der Reinigungswirkung geringer ausfallen, als bei den Zähnen ohne Brackets, was daraufhin deutet, dass bei allen Zahnbürsten Schwierigkeiten auftreten, Zähne, die mit Brackets versehen sind, optimal zu reinigen, was sich auch visuell zeigte.
Bei Anwendung der Stillmanntechnik erreichen die Zahnbürsten X-Sensor und Colgate Navigator sowohl in der Aufsicht, als auch in der Schrägansicht die höchsten Werte.
Auch die Zahnbürste elmex® interX erzielt bei der Reingung der Problembereiche hohe Werte, kann das gute Abschneiden in der Aufsicht jedoch nicht bestätigen.
Analog der vorangegangenen Versuchsreihe ist bewiesen, dass mit der Stillmanntechnik eine höhere Reinigungseffizienz erreicht werden kann.
Daraus folgt, dass auch bei Bracketträgern im Rahmen von Mundhygieneinstruktionen ein besonderes Augenmerk auf die Putztechnik gelegt werden sollte.
Beim Vergleich der Putzeffizienz von Schrubbtechnik und Stillmanntechnik zeigt sich, dass es bei Verwendung der Zahnbürsten meridol®, elmex®, aronal® und Oral-B® Advantage® in Kombination mit der Zahnpasta Pearls & Dents® keine Unterschiede in der Reinigungsleistung gibt.
Im Gegensatz dazu kann mit den Zahnbürsten X-Senor und Colgate Navigator, die sowohl bei Anwendung der Schrubbtechnik, als auch bei Anwendung der Stillmanntechik hohe Werte erzielen, nur 80 % der Putzleistung erreicht werden.

Auch bei Bracketträgern erweist sich die Bürstenkopfkonfiguration mit den schräg stehenden X-Borsten als sehr effizient.
Und auch der Aufbau des Kopfes der Colgate Navigator scheint für Bracketträger geeignet zu sein.

4.3 Schlussfolgerung

Durch die Entwicklung eines robotergestützten Arbeitsplatzes und eines zweiten Arbeitsplatzes zur digitalen Photographie und Auswertung der gewonnenen Bilder am PC ist es möglich, Aussagen über die Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten zu treffen.
Die Standardisierbarkeit und Reproduzierbarkeit wurde durch Festlegung einiger Faktoren geschaffen:

- Versuchsaufbau: Programmierter Roboter, der 2 verschiedene Putzbewegungen ausführt in festgelegter Zeit und unter derselben Anpresskraft; Position des Borstenfeldes in Bezug zum Roboter und zum Modell
- Modell: Zahnstellung und Gingivaverhältnisse und Bracketposition
- Auswertung: digitale Photographie und Computerprogramm „Alles grau, wohin ich schau... 1.0“

Es ist ein Ausgangs-Versuchsaufbau entwickelt worden, der für weitere Studien und Fragestellungen modifiziert werden kann.

Zu beurteilen, inwieweit die Aussagefähigkeit der vorliegenden Studie auf den Menschen direkt übertragbar ist, ist schwierig. *In-vitro*-Versuche sind immer sehr vereinfacht, haben aber den Vorteil, dass schnell standardisierte und reproduzierbare Ergebnisse geliefert werden können.
Individuelle Putztechniken, orale Strukturen, sowie der Speichelfluss und die Gingiva, sowie bestimmte Zahnstellungen werden nicht berücksichtigt. Auch bestehen hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften und chemischen Zusammensetzung deutliche Unterschiede zur natürlichen Plaque.
Deshalb sollte diese Studie als Ergänzung zu klinischen Untersuchungen angesehen werden.
Anhand der Ergebnisse lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Mit Hilfe der Stillmanntechnik kann eine höhere Putzeffizienz erreicht werden, als mit der Schrubbtechnik.

- Die beiden getesteten Zahnpasten bewirken einen zusätzlichen Reinigungseffekt, der bei Verwendung der Zahnpasta Pearls & Dents® höher ist, als bei Verwendung der Zahnpasta Elmex® und der auch mit der effizienteren Putztechnik steigt.
- In dieser Studie erweisen sich die schräg stehenden X-Borsten der Dr. Best X-Sensor Kopf und Oral-B® CrossAction® als am effizientesten.

Weiteren Untersuchungen bleibt es vorbehalten, die Schwankungen des Plaqueersatzes auszuschließen, somit errechnen zu können, welcher Wert bedeutet, dass eine 100 prozentige Plaqueentfernung stattgefunden hat. Diese Studie ließ nur einen direkten Vergleich der Zahnbürsten untereinander zu.
Außerdem könnte die Auswertung noch gezielter auf schwerer zu reinigende Bereiche, wie Approximalbereiche, laufen, um eine Aussage über das interdentale Reinigungsvermögen von verschiedenen Zahnbürsten treffen zu können.
Auch kann man versuchen, mit verschiedenen Anpresskräften zu arbeiten, um herauszufinden, ob sich die Effizienz mit steigendem Druck verbessert.

5. Zusammenfassung

Ziele der vorliegenden *in-vitro*-Studie bestanden darin, einen robotergestützten Arbeitsplatz zu entwickeln, um die Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten standardisiert zu erproben und einen zweiten Arbeitsplatz zur quantitativen Analyse der Putzergebnisse.
Nachfolgend wurden 10 handelsübliche Zahnbürsten in Kombination mit Wasser, der Zahnpasta Elmex® und der Zahnpasta Pearls & Dents® auf ihre Effektivität bei einem bezahnten Patienten ohne kieferorthopädische Versorgung und einem Bracketträger getestet.

Die Situation am Patienten wurde mit Hilfe eines Kunststoffmodells nachempfunden, das mit einem Plaqueersatz, bestehend aus gelöster Lakritze, beschichtet wurde.
Ein 4-Achsen Roboter wurde so programmiert, dass er die wohl gebräuchlichste, die Schrubbtechnik und eine kompliziertere Technik, die Stillmanntechnik ausführt.

Die Auswertung der Putzversuche erfolgte durch digitale Photographie und Weiterverarbeitung mit dem eigens dafür entwickeltem Computerprogramm „Alles grau, wohin ich schau... 1.0“.

Die Standardisierbarkeit und Reproduzierbarkeit der Versuche wurde durch Festlegung einiger Faktoren geschaffen:

- Versuchsaufbau: Programmierter Roboter, der 2 verschiedene Putzbewegungen ausführt in festgelegter Zeit und unter derselben Anpresskraft; Position des Borstenfeldes in Bezug zum Roboter und zum Modell
- Modell: Zahnstellung und Gingivaverhältnisse und Bracketposition
- Auswertung: digitale Photographie und Computerprogramm „Alles grau, wohin ich schau... 1.0“

Es ist ein Ausgangs-Versuchsaufbau entwickelt worden, der für weitere Studien und Fragestellungen modifiziert werden kann.

Anhand der durchgeführten Versuche lassen sich folgen Schlüsse ziehen:

- Mit Hilfe der Stillmanntechnik kann eine höhere Putzeffizienz erreicht werden, als mit der Schrubbtechnik.
- Die beiden getesteten Zahnpasten bewirken einen zusätzlichen Reinigungseffekt, der bei Verwendung der Zahnpasta Pearls & Dents® höher ist, als bei Verwendung der Zahnpasta Elmex® und der auch mit der effizienteren Putztechnik steigt.
- In dieser Studie erweisen sich die schräg stehenden X-Borsten der Dr. Best X-Sensor Kopf und Oral-B® CrossAction® als am effizientesten.

6. Literaturverzeichnis

1 American Dental Association: Cleaning your teeth and gums (oral hygiene). http://www.ada.org/public/faq/cleaning.html Stand: April 2002

2 Anonymous. Caries diagnosis and risk assessment. A review of preventive strategies and management. J Amer Dent Ass 126 Suppl: 1-24, 1995

3 Arnold, M., Trost, G.: Über die Abhängigkeit des Putzeffektes von verschiedenen Formen des Zahnbürstenkopfes. Dtsch Stomatol 22: 46-53 (1972)

4 Bass, C.C.: The Optimum Characteristics of Toothbrushes for Personal Oral Hygiene. Dental Items of Interest: 697-718 (1948)

5 Bass, C.C.: An effective method of personal oral hygiene. J Lousiana St Med Soc 106: 100-112 (1954)

6 Beals, D., Ngo, T., Feng, Y., Cook, D., Grau, DG., Weber, DA: Development and laboraty evaluation of a novel brush and head design. Am J Dent 13: 5-14 (2000)

7 Bergenholtz A., Gustafsson L.B., Segerlund N., Hagberg C., Östby N.: Role of brushing technique and toothbrush design in plaque removal. Scan J Dent Res 92: 344-351 (1984)

8 Borgstrom MK., Edwardsson S, Sullivan A., Svensater G.: Dental plaque mass and acid production activity of the microbiota on teeth. European Journal of Oral Scienes 108: 412 (2000)

9 Bößmann, K.: In-vitro-Experimente zur Plaquebildung. Dtsch Zahnärztl Z 34: 437-439 (1979)

10 Clarkson, JJ., McLoughlin, J.: Role of fluoride in oral health promotion. Int D J 50: 119 (2000)

11 Cronin, MJ., Dembling, WZ., Low, ML., Jacobs, DM., Weber, DA.: A comparative clinical investigation of a novel toothbrush designed to enhance Plaque removal efficacy. Am J Dent 13: 21-26 (2000)

12 Disyam, L.: A comparison of three methods of toothbrushing: roll, modified Bass and scrub techniques. J Dent Ass Thai 1: 1-10 (1987)

13 Dörfer, C.: Der Approximalraum. Dtsch Zahnärztl Z 52: 151-167 (1997)

14 Dörfer, C.: Reinigungswirkung eines maschinellen Hilfsmittel zur Interdentalraumreinigung im Vergleich zu Zahnseiden. Dtsch Zahnärztl Z: 494-498 (1999).

15 Einwag, J., Hellwig, E., Hotz, P., Stadler, P.: The relative caries-inhibiting efficacy of amine fluoride and sodium fluoride in compatible dentifrices. Quintessecence Int. 26:707-713 (1995)

16 Einwag, J., Naujoks, R.: Prophylaxe der Karies, Praxis der Zahnheilkunde 3. Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore 1993: 5

17 Einwag, J., Pieper, K.: Kinderzahnheilkunde, 2. Auflage Urban&Fischer 2002: 86-91

18 Ekstrand, KR., Bruun, G., Bruun, M.: Plaque and gingival status as indicators for caries progression on approximal surfaces. Caries Res 32: 41 (1998)

19 Ernst, C.P., Willershausen, G., Driesen, G., Warren, P.R., Hilfinger, P.: A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro. Quintessecence Int. 28: 441-445 (1997)

20 Featherstone, JD.: Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. Community Dentistry & Oral Epidemiology 27: 31-40 (1999)

21 Fones, A.C.: Mouth hygiene. Lea and Febiger. Philadelphia (1934)

22 Frandsen, A.M., Barbano, J.P., Suomi, J.D., Chang, J.J., Burke, A.D.: A comparison of the effectiveness of the Charters' scrub, and roll methods of toothbrushing in removing plaque. Scand J Dent Res 80: 267-271 (1972)

23 Gülzow, H.J.: Präventive Zahnheilkunde. Grundlagen der Karies und Gingivitisprophylaxe. Hanser 1995: 92

24 Hawkins, BF., Kohout, FJ., Lainson, PA., Heckert, A. :Duration of toothbrushing for effective plaque control.Quintessenz Int. 17: 361-365 (1986)

25 Hellwege, K.-D.: Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe. 5. Auflage Hüthig 1999: 134-135

26 Hellwig, E.: Mundgesundheit ist Lebensqualität, Broschüre der Bundeszahnärztekammer und Colgate-Palmolive 2004

27 Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnheilkunde. Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore, 348-351 (1995)

28 Hetz G.: Die Zahnbürste: Innovation bei der Herstellung erlaubt profilierte Borstenfelder. Zahnärztl Praxis 7: 1-7 (1993)

29 Hickel R.: Wirkstoffe gegen Plaque und Bakterien. Quintessenz Bonusausgabe 45-57. Januar 1997

30 Honkala, E., Nyyssonen, V., Knuuttila, M., Markkanen, H.:Effectivenessof children's habitual toothbrushing. J Clin Periodontol 13: 81-85 (1986)

31 Hornecker, E., Putz, B., Attin, T.:Häufigkeit und Zeitpunkt des Zähnebürstens. Teil 1.Oralprophylaxe 25: 110-112 (2003)

32 Jaeggi, A.I., Schaffner, M., Bürgin, W., Lussi, A.: Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 109: 1171 (1999)

33 Kerschbaum, Th., Staehle, J.: Die Mundgesundheit in der Schweiz im Vergleich zu Deutschland. ZM 5: 26 (2004)

34 Kramer, E., Gierig, R., Klemke, J.:Standortbestimmung der Zahnärztlichen Prophylaxe. ZWR 9: 634-638 (1995)

35 Kremers, L., Lampert, F., Etzold, C.:
Vergleichende klinische Untersuchung zweier Zahnputzmethoden-Roll-und Bass-Technik. Dtsch Zahnärztl Z 33: 58-60 (1978)

36 Leonard, N.S.: In our opinion – Home technics for the care ot the teeth.
J Periodont 20:37 (1949)

37 Lutz HJ.: Vergleichende in-vitro-Blindstudie über die Reinigungseigenschaften dreier Zahnpasten. Med Diss Ulm (1996)

38 Matsumo, S., Tonogi, N., Hasegawa, K., Machida, Y., Isaka, T.:The Most Effective Toothbrushing Force for Permanent Dentition with Scrub Method.
Shikwa Gakuho 85: 1225-1229 (1985)

39 Mayer, C.M.: Effizienz neuer Handzahnbürsten und Zahnpasten bei der Reinigung von festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen.
Med Diss, Ulm 2000

40 McDaniel, T.F., Miller, D.L., Jones, R.M., Davis, M.S., Russel, C.M.: Effects of Toothbrush Design and Brushing Profiency on Plaque Removal.
Compendium 18: 572-577 (1997)

41 Mireau, H.-D.: Der freiliegende Zahnhals.
Dtsch Zahnärztl Z 47:643-653 (1992)

42 Mireau, H.-D., Haubnitz I., Völk W. : Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste. Dtsch Zahnärztl Z 44: 836 (1989)

43 Micheelis, W., Reich, E: Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie. Ergebnisse, Trends und Problemanalysen auf der Grundlage bevölkerungsrepräsentativer Studien in Deutschland 1997. Deutscher Ärzte Verlag, Köln 1999

44 Micheelis, W., Reich, E: Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie. Ergänzende Angaben zum Datenbestand Mundhygiene: Micheelis W, persönliche Mitteilung 2003

45 Nygaard-Ostby, P., Edvardsen, S., Spydevold, B.: Acces to interproximal tooth surfaces by different bristle designs and stiffness of toothbrushes. Scan J Dent Res 87, 424-430 (1979).

46 Pieper, K.: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugenzahnpflege (DAJ). Bonn 2001

47 Plagmann, H.-Ch.: Spezielle Prophylaxe gegen Parodontopathien. ZM 16: 26-33 (1982)

48 Rawls, H.R., Smith, N.K., Lentz, D.L., Cobb, G.W., Bailey, M.S., Spencer, J., Williams D.A., Walley D., Vidra J.: Interproximal Penetration of Commercial Toothbrushes as Determined by Static and Dynamic Tests Using Recommended Brushing Techniques. J Clin Dent 4: 88-95 (1993)

49 Rustogi, K.N., Curtis, J.P., Volpe, A.R., Kemp, J.H., McCool, J.J., Korn, L.R.: Refinement of the Modified Navy Plaque Index to Increase Plaque Scoring Efficiency in Gumline and Interproximal Tooth Areas. J Clin Dent Suppl C: 9-12 (1992)

50 Sander, F.G.: Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Putzsystems. ZM 22: 56-60 (1997)

51 Sauerwein, E.: Zahnerhaltungskunde. Thieme, Stuttgart-New York 1985, 124-131

52 Saxer, U.: Plaquehemmung mit verschiedenen Konzentrationen von Aminfluorid und Zinnfluorid. Quintessenz Verlags-GmbH Berlin 1991, S. 67

53 Schroeder, H.E.: Pathobiologie oraler Strukturen-Zähne, Pulpa, Parodont Karger, Basel-München-Paris-London-NewYork-Tokyo-Sydney 1983, S. 59-64

54 Setzwein, M.: Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der approximalen Reinigungswirkung von neuen Zahnbürstendesigs. Med Diss, München 2002

55 Sharma, NC., Qaqish, JG., Galustians, HJ, King, DW., Low, MA., Jacobs, DM., Weber DA.: An advanced toothbrush with improved plaque removal efficacy. Am J Dent 13: 15-19 (2000)

56 Sharma, NC., Quaqish, JG., Galustians, HJ., , King, DW., Low, MA., Jacobs DM., Weber DA.: A 3- month comparative investigation of the safety and efficacy of a new toothbrush: Results from two independent clinical studies. Am J Dent 13: 27-32 (2000)

57 Stillmann, P.R.: A philosophy of the treatment of periodontol disease. Dent Dig 38: 215 (1932)

58 Twetman, S., Garcia-Godoy, F., Goepferd, S.J.: Infant oral health. Dent Clin Noth Am 44: 487 (2000)

59 Unkel, JH., Fenton, SJ., Hobbs, G. Jr., Frere, CL.: Toothbrushing ability is related to age in children. ASDC J Dent Child 62: 346-348 (1995)

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

61 Völk, W., Mireau, H.-D., Biehl, P., Dornheim, G., Reithmayer, Chr.: Beitrag zur Ätiologie der keilförmigen Defekte.
Dtsch Zahnärztl Z 42: 499-504 (1987)

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

63 Welk, A: Möglichkeiten der effektiven häuslichen Mundpflege.
In: Splieth, Ch.: Professionelle Prävention.
Quintessenz Verlags-GmbH Berlin 2000, S.100

64 Yankell, S.L., Green, P.A., Greco, P.M., Stoller, N.H., Miller, M.F.: Test Procedures and Scoring Criteria to Evaluate Toothbrush Effectiveness.
Clin Prev Dent 2: 3-8 (1984)

65 Yankell, S.L., Shi, X., Emling, R.C., Bosma, M.L., Camargo, P.M.: Laboraty interproximal access efficacy of two toothbrushes with cross-angulated bristling. J Clin Dent 11: 60-2 (2000)

66 Yankell, S.L., Xiuren, S.: Comparative Laboratory Evaluation of Two New Toothbrushes Regarding Interproximal Access Efficacy.
J Clin Dent 4: 1-4 (1993)

67 Zachrisson, B.U., Zachrisson, S.: Caries incidence and oral hygiene during orthodontic treatment. Scand J Dent Res 79: 394-401 (1971)

68 Zimmer, S.: Handzahnbürsten: Was gibt’s Neues?
Zahnarzt & Praxis 4, 258-259 (2003)

7. Anhang

7.1 Ergebnistabellen

7.1.1 **Ergebnisse der ersten Versuchsreihe einfache Zahnmodelle**

Tab. 4 Ergebnisse der ersten Versuchsreihe einfache Zahnmodelle (Mittelwerte)

	Schrubbtechnik			Stillmann		
Zahnbürsten	Wasser	Elmex®	P&D®	Wasser	Elmex®	P&D®
meridol®	15,4	18,8	20,9	22,5	44,2	53,4
fuchs®	20,1	26,3	28,0	22,3	32,8	35,4
elmex®	26,9	25,7	25,5	34,3	32,0	40,9
aronal®	24,5	19,1	34,5	22,9	43,0	43,7
Interdent	21,2	16,2	29,4	33,5	36,2	50,2
X-Sensor	18,5	31,8	34,3	31,2	47,8	57,0
Colgate	19,5	20,1	29,7	22,8	42,9	48,4
Advantage®	10,9	20,4	27,5	17,5	35,6	44,2
CrossAction®	18,5	30,8	40,9	31,3	42,3	55,5
blend-a-dent	20,4	24,1	24,5	24,8	38,7	46,4

Tab. 5 Putzeffizienz in Prozent Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik

	Wasser	Elmex®	P&D®
meridol®	68	43	39
fuchs®	90	80	79
elmex®	78	80	62
aronal®	107	44	79
Interdent	63	45	59
X-Sensor	59	67	60
Colgate	86	47	61
Advantage®	62	57	62
CrossAction®	59	73	74
blend-a-dent	82	62	53

7.1.2 **Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Modelle mit Brackets**

Tab. 6 Putzeffizienz bei Anwendung der Schrubbtechnik (Mittelwerte)

	Aufsicht			Schrägansicht		
	Wasser	Elmex®	P&D®	Wasser	Elmex®	P&D®
meridol®	14,8	28,1	28,4	5,3	6,4	7,1
fuchs®	18,3	26,3	38,0	4,8	7,7	11
elmex®	21,8	29,3	30,8	6,4	14,5	8,0
aronal®	19,0	32,6	33,9	-1,2	13,7	16,4
Interdent	23,0	23,0	30,1	3,4	7,7	13,8
X-Sensor	8,4	31,4	34,5	4,8	15,3	17,4
Colgate	24,1	25,8	31,9	3,2	9,1	14,6
Advantage®	13,7	17,0	20,0	0,9	7,1	10,6
CrossAction®	17,0	30,5	38,2	2,0	9,5	14,9
blend-a-dent	20,0	26,1	36,1	0,4	7,7	7,9

Tab. 7 Putzeffizienz bei Anwendung der Stillmanntechnik (Mittelwerte)

	Aufsicht			Schrägansicht		
	Wasser	Elmex®	P&D®	Wasser	Elmex®	P&D®
meridol®	17,9	27,0	40,5	0,0	7,9	13,0
fuchs®	17,5	32,0	40,3	3,2	9,5	13,1
elmex®	23,8	24,5	32,2	9,5	19,3	14,8
aronal®	22,7	27,3	42,0	0,4	15,3	19,3
Interdent	28,0	27,7	36,5	0,0	6,8	14,7
X-Sensor	15,0	45,3	48,3	2,2	19,2	17,0
Colgate	24,5	38,4	42,4	0,9	15,6	21,5
Advantage®	13,2	25,5	35,3	2,0	11,2	16,9
CrossAction®	19,5	31,1	39,3	2,2	11,4	18,8
blend-a-dent	21,8	26,5	35,6	0,5	10,1	20,2

Tab. 8 Putzeffizienz in Prozent Schrubbtechnik gegenüber Stillmanntechnik

	Wasser	Elmex®	P&D®
meridol®	112	99	66
fuchs®	112	82	92
elmex®	85	100	83
aronal®	77	109	82
Interdent	94	89	86
X-Sensor	77	72	79
Colgate	107	65	73
Advantage®	96	102	80
CrossAction®	88	94	91
blend-a-dent	91	92	79

7.2 Beispiel für entstandene Ergebnistabellen für einen Putzvorgang

7.2.1 Einfache Zahnmodelle

Tab. 9 CrossAction_Schrubb_elmex.xls

	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
Frame	Modell 1			Modell 2		
1	88	125	37	93	126	33
2	94	97	3	85	97	12
3	117	162	45	114	164	50
4	109	160	51	98	157	59
5	151	153	2	118	125	7
6	156	188	32	147	188	41
7	179	193	14	167	202	35
8	156	204	48	143	211	68
Ges.	140	169	29	130	170	40
Frame	Modell 3			Modell 4		
1	89	121	32	91	120	29
2	76	87	11	86	92	6
3	106	163	57	107	143	36
4	88	153	65	108	133	25
5	132	139	7	159	159	0
6	142	193	51	144	176	32
7	175	194	19	176	207	31
8	149	205	56	165	202	37
Ges.	130	167	37	139	165	26
Frame	Modell 5			Modell 6		
1	91	121	30	84	120	36
2	76	81	5	83	89	6
3	133	173	40	118	156	38
4	109	146	37	111	141	30
5	124	125	1	141	135	-6
6	155	182	27	155	192	37
7	175	193	18	186	214	28
8	159	204	45	147	206	59
Ges.	137	163	26	137	169	32

Tab. 10 Fortsetzung: CrossAction_Schrubb_elmex.xls

	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
Frame	Modell 7			Modell 8		
1	83	119	36	88	135	47
2	87	96	9	94	98	4
3	113	156	43	118	178	60
4	118	159	41	120	195	75
5	123	126	3	126	134	8
6	144	183	39	153	181	28
7	175	191	16	181	221	40
8	149	205	56	161	202	41
Ges.	133	164	31	140	176	36
Frame	Modell 9			Modell 10		
1	100	137	37	92	109	17
2	96	102	6	89	93	4
3	112	153	41	117	149	32
4	106	140	34	100	121	21
5	144	141	-3	137	131	-6
6	162	199	37	147	174	27
7	180	195	15	184	207	23
8	156	203	47	154	194	40
Ges.	142	170	28	137	160	23

Mittelwerte der Differenzen

Modell 1	29
Modell 2	40
Modell 3	37
Modell 4	26
Modell 5	26
Modell 6	32
Modell 7	31
Modell 8	36
Modell 9	28
Modell 10	23
Gesamt	30,8

7.2.2 Modelle mit Brackets

Tab. 11 CrossAction_Schrubb_PuD_Brackets.xls

	Modell 1			Modell 2		
Frame	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
1	151	187	36	117	180	63
2	140	177	37	105	179	74
3	121	165	44	98	168	70
4	114	159	45	89	163	74
5	92	135	43	58	109	51
6	57	74	17	50	73	23
7	51	72	21	52	84	32
8	125	173	48	104	157	53
9	126	166	40	110	158	48
10	104	159	55	92	136	44
11	101	168	67	91	165	74
12	61	83	22	70	104	34
13	75	76	1	52	74	22
14	58	65	7	60	88	28
15	134	181	47	113	162	49
16	125	176	51	114	162	48
17	144	181	37	113	174	61
18	144	182	38	117	181	64
19	100	136	36	83	149	66
20	75	86	11	69	95	26
21	70	94	24	76	129	53
22	54	54	0	49	60	11
23	47	47	0	44	48	4
Ges.	98	130	32	82	129	47
1	57	79	22	50	67	17
2	72	87	15	74	130	56
3	56	82	26	75	88	13
4	71	85	14	79	116	37
5	77	99	22	90	126	36
6	86	99	13	88	98	10
7	94	110	16	83	89	6
8	67	75	8	71	88	17
9	58	68	10	65	82	17
10	93	108	15	70	82	12
11	58	59	1	55	63	8
12	81	83	2	108	116	8
Ges.	73	87	14	76	98	22

Tab. 12 Fortsetzung: CrossAction_Schrubb_PuD_Brackets.xls

	Modell 3			Modell 4		
Frame	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
1	136	187	51	124	181	57
2	107	163	56	96	155	59
3	118	164	46	103	154	51
4	100	159	59	102	164	62
5	78	129	51	69	131	62
6	59	87	28	70	112	42
7	57	73	16	47	67	20
8	126	179	53	119	160	41
9	121	154	33	105	142	37
10	112	158	46	94	132	38
11	120	176	56	113	165	52
12	78	112	34	66	91	25
13	74	92	18	66	95	29
14	55	77	22	62	90	28
15	112	170	58	127	159	32
16	104	164	60	104	145	41
17	133	171	38	112	165	53
18	141	180	39	134	172	38
19	106	158	52	76	162	86
20	71	115	44	60	111	51
21	69	115	46	89	148	59
22	50	51	1	52	56	4
23	50	48	-2	42	43	1
Ges.	94	133	39	86	127	41
1	54	81	27	51	75	24
2	74	112	38	75	108	33
3	63	91	28	71	88	17
4	70	82	12	74	88	14
5	78	121	43	102	112	10
6	79	94	15	86	91	5
7	81	93	12	89	98	9
8	53	68	15	82	94	12
9	48	56	8	61	72	11
10	90	94	4	72	78	6
11	49	52	3	47	60	13
12	85	98	13	89	99	10
Ges.	69	87	18	76	89	13

Tab. 13 Fortsetzung: CrossAction_Schrubb_PuD_Brackets.xls

	Modell 5			Modell 6		
Frame	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
1	132	178	46	162	188	26
2	118	168	50	127	172	45
3	123	172	49	109	169	60
4	108	167	59	105	166	61
5	71	101	30	94	169	75
6	57	71	14	67	84	17
7	54	70	16	55	71	16
8	145	175	30	150	180	30
9	142	178	36	142	174	32
10	127	163	36	110	161	51
11	131	173	42	124	173	49
12	88	146	58	93	151	58
13	60	90	30	71	95	24
14	65	104	39	76	93	17
15	136	154	18	135	175	40
16	126	147	21	134	174	40
17	130	171	41	132	175	43
18	142	173	31	139	183	44
19	80	152	72	113	195	82
20	60	101	41	69	106	37
21	92	153	61	96	126	30
22	50	53	3	49	51	2
23	42	43	1	48	48	0
Ges.	97	133	36	103	144	41
1	56	74	18	66	83	17
2	64	75	11	86	123	37
3	94	125	31	66	103	37
4	87	93	6	82	93	11
5	113	139	26	97	141	44
6	77	89	12	72	83	11
7	84	93	9	86	98	12
8	76	83	7	75	88	13
9	57	67	10	57	71	14
10	81	87	6	85	102	17
11	49	50	1	50	52	2
12	106	109	3	136	146	10
Ges.	79	89	10	80	98	18

Tab. 14 Fortsetzung: CrossAction_Schrubb_PuD_Brackets.xls

	Modell 7			Modell 8		
Frame	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
1	152	182	30	147	185	38
2	134	176	42	126	172	46
3	115	168	53	105	171	66
4	110	166	56	104	170	66
5	101	152	51	91	146	55
6	60	82	22	63	87	24
7	46	65	19	51	73	22
8	144	185	41	141	186	45
9	121	167	46	137	179	42
10	97	158	61	142	173	31
11	126	172	46	146	183	37
12	87	121	34	112	174	62
13	66	104	38	81	112	31
14	73	99	26	66	104	38
15	120	148	28	120	172	52
16	107	150	43	116	170	54
17	110	138	28	137	179	42
18	115	158	43	137	186	49
19	91	147	56	105	184	79
20	69	130	61	73	123	50
21	71	119	48	65	127	62
22	48	53	5	45	50	5
23	45	46	1	40	42	2
Ges.	95	132	37	102	145	43
1	55	81	26	56	76	20
2	61	81	20	72	111	39
3	89	101	12	84	102	18
4	85	99	14	76	86	10
5	106	116	10	111	134	23
6	82	101	19	104	112	8
7	98	123	25	94	89	-5
8	76	83	7	82	84	2
9	62	80	18	51	64	13
10	77	78	1	77	92	15
11	55	59	4	48	50	2
12	127	151	24	71	94	23
Ges.	81	96	15	78	91	13

Tab. 15 Fortsetzung: CrossAction_Schrubb_PuD_Brackets.xls

	Modell 9			Modell 10		
Frame	ungeputzt	geputzt	Differenz	ungeputzt	geputzt	Differenz
1	157	189	32	159	184	25
2	128	171	43	144	178	34
3	124	176	52	126	173	47
4	122	173	51	125	168	43
5	103	149	46	116	187	71
6	75	94	19	65	98	33
7	54	77	23	76	80	4
8	144	184	40	162	185	23
9	136	174	38	146	182	36
10	139	168	29	137	166	29
11	129	175	46	141	173	32
12	87	115	28	124	175	51
13	69	94	25	93	148	55
14	58	95	37	77	102	25
15	128	178	50	131	166	35
16	105	155	50	139	184	45
17	111	138	27	123	153	30
18	119	158	39	142	162	20
19	94	140	46	143	180	37
20	81	138	57	120	163	43
21	68	128	60	87	125	38
22	54	57	3	52	54	2
23	45	47	2	55	61	6
Ges.	100	134	34	116	148	32
1	67	90	23	60	86	26
2	83	120	37	76	90	14
3	91	115	24	95	108	13
4	77	92	15	75	84	9
5	104	134	30	119	123	4
6	85	87	2	110	116	6
7	84	101	17	93	110	17
8	76	87	11	71	85	14
9	54	67	13	59	69	10
10	74	77	3	78	93	15
11	46	51	5	67	71	4
12	82	91	9	100	105	5
Ges.	77	92	15	83	94	11

Tab. 16 Fortsetzung: CrossAction_Schrubb_PuD_Brackets.xls

CrossAction_Schrubb_PuD.Brackets.xls

Mittelwerte der Differenzen

	flach	schräg
Modell 1	32	14
Modell 2	47	22
Modell 3	39	18
Modell 4	41	13
Modell 5	36	10
Modell 6	41	18
Modell 7	37	15
Modell 8	43	13
Modell 9	34	15
Modell 10	32	11
Gesamtergebnis	38,2	14,9

7.3 Bedienung des Roboters über Steuerelement

Anschalten des Roboters am Ein-/Ausschalter am Roboter.

Bedienung des Steuerelementes:

Servo Power	
Remote Local	
Home	Roboter fährt in Ausgangsposition
Auto Manual	
Menu	Programm auswählen
Stop Cycle	
Auto Manual →	Start

7.4 Materialliste

1 Robot Sankyo SKILAM SR 5383
Sankyo Seiki Mfg.Co.,Ltd., 275 Northridge Dr., Shelbyville, IN, 46176

2 Frasacozähne
Franz Sachs & Co. GmbH, Oberhoferstrasse 18, 88069 Tettnang

3 Hydrosil
DENTSPLY DeTrey GmbH, De-Trey-Straße 1, 78467 Konstanz

4 Palavit ® 55 VS
Heraus Kulzer GmbH, Philipp-Reis-Str. 8/13, D-61273 Wehrheim

5 Forestadent®-Brilliant®-Brackets
Slot.022'', Roth-System, Multibond System
FORESTADENT Bernhard Förstner GmbH, Westliche 151,
75172 Pforzheim

6 Forestadent-Titanol®-Superelastic
FORESTADENT Bernhard Förstner GmbH, Westliche 151,
75172 Pforzheim

7 Gummiligatur
FORESTADENT Bernhard Förstner GmbH, Westliche 151,
75172 Pforzheim

8 Skalpell
AESKULAP AG & Co.KG, Am Aeskulap Platz, 78532 Tuttlingen

9 Super C Ortho
Amco, Island Dental, 300 Jericho Quadrangle, Jericho, NY 11753

10 Silaplast Futur
DETAX GmbH & Co. KG, Postfach 100225, 76257 Ettlingen

11 Lakritze
HARIBO GmbH & Co KG, Hans-Riegel-Strasse 1, 53129 Bonn

12 Halogenleuchten
OSRAM, Hellabrunner Straße 1
81543 München

13 Zahnpasta Elmex
GABA International AG, Berner Weg 7, 79539 Lörrach

14 Zahnpasta Perls & Dents
Liebe Nachf. GmbH & Co.KG in Leinenfelden-Echterdingen

15 meridol®
GABA International AG, Berner Weg 7, 79539 Lörrach

16 fuchs® sensitiv
Fuchs GmbH, Nibelungenstr. 100, 64625 Bensheim

17 elmex® interX Kurzkopf
GABA International AG, Berner Weg 7, 79539 Lörrach

18 aronal® öko-dent
GABA International AG, Berner Weg 7, 79539 Lörrach

19 Dr. Best Interdent
M+C Schiffer, 53577 Neustadt
Vertrieb: Glaxo Smith Kline, Beecham, Bühl

20 Dr. Best X-Sensor Kopf
M+C Schiffer, 53577 Neustadt
Vertrieb: Glaxo Smith Kline, Beecham, Bühl

21 Colgate Navigator
Colgate-Palmolive GmbH, Lübecker Strasse 128, 22087 Hamburg

22 Oral-B® Advantage® Kurzkopf
Oral-B Laboraties,Gillette Gruppe Deutschland, Frankfurter Str. 145, 61476 Kronberg

23 Oral-B® CrossAction®
Oral-B Laboraties,Gillette Gruppe Deutschland, Frankfurter Str. 145, 61476 Kronberg

24 blend-a-dent Professional
Procter&Gamble, Sulzbacher Str. 40, 65818 Schwalbach

8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Bei **Herrn Professor Dr. F. G. Sander** für die freundliche Übernahme der Doktorvaterschaft und die Unterstützung bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit.

Bei **Herrn Professor Dr. F. Sitzmann** für die Übernahme des Koreferates.

Bei Herrn **Martin Geiger** und **Alexander Klie** für Ihre Unterstüzung in allen Roboter- und Computerfragen.

Bei **Herrn Püschel** für die Mithilfe bei der Illustration der Arbeit.

Bei meiner Tante, Zahnärztin **Karin Krannich,** für ihre Diskussionsbereitschaft und das Korrekturlesen der Arbeit.

Bei meinem Freund **Peter** für die geduldige Unterstützung und das Verständnis beim Erstellen dieser Arbeit.

Schließlich möchte ich mich bei **meinen Eltern** bedanken, die mir durch andauernde Unterstützung mein Studium und das Gelingen dieser Arbeit ermöglicht haben.

.