Klinische Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten

Inaugural – Dissertation

zur

Erlangung des Grades eines Doctor medicinae dentarium

der Universität Witten/Herdecke

Fakultät für Gesundheit

Department für Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde

vorgelegt von Martin Fleuter

aus Recklinghausen

2015

Dekan:	apl. Prof. Dr. Stefan Wirth
Mentor:	Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Peter Gängler
2. Mentor**:**	Dr. med. dent. Tomas Lang
Zweitgutachter:	
Tag der Disputation:	15.04.2015

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Zielsetzung 3

3. Übersicht 4

3.1 Dentition 4

3.1.1 Milchzahndentition (Dentes decidui) 4

3.1.2 Permanente Dentition (Dentes permanentes) 7

3.2 Orale Mikrobiologie 9

3.2.1 Orale Mikrobiologie (physiologisch) 9

3.2.2 Orale Mirkobiologie (pathologisch) 11

3.2.3 Gingivitis 12

3.2.4 Karies 13

3.3 Kariesrisiko und Kariesprävention 14

3.4 Hilfsmittel zur Mundhygiene 18

3.4.1 Handzahnbürste 18

3.4.2 Elektrische Zahnbürste 20

3.4.3 Ergänzende Mundhygienehilfsmittel 22

3.5 Zahnputztechnik 25

3.6 Plaqueindices 27

3.6.1 QHI 29

3.6.2 Navy-Plaque-Index 30

3.6.3 Modifizierter Navy-Plaque-Index 32

4. Material und Methoden 35

4.1 Probandengut 35

4.2 Untersuchte Zahnbürsten 38

4.3 Dokumentation 40

4.4 Ablauf der Studie 42

4.5 Kalibrierung des Untersuchers 43

4.6 Indexierung der klinischen Untersuchung 45

4.7 Übertragung auf den Zahnputzroboter 46

4.8 Indexierung der Labordaten 47

4.9 Statistische Auswertung **51**
4.9.1 Klinische Untersuchung 51
4.9.2 Laboruntersuchung 51
4.9.3 Statistische Methoden 52
5. Ergebnisse **53**
5.1 Klinische Daten **53**
5.2 Labordaten **56**
5.3 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der lingualen Flächen **59**
5.4 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der bukkalen Flächen **63**
5.4.1 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der bukkalen Flächen (Frontzähne 72-82) 67
5.4.2 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der bukkalen Flächen (Seitenzähne 83-85) 71
5.5 Reinigungserfolg im Einzelzahnnachweis **75**
6. Diskussion **78**
6.1 Material und Methoden **78**
6.2 Klinische Untersuchung **83**
6.3 Laboruntersuchung **84**
6.4 Validierung des Roboters **85**
7. Zusammenfassung **86**
8. Summary **87**
9. Literaturverzeichnis **88**
10. Anhang **99**

1. Einleitung

Welchen entscheidenden Faktor die Zahnbürste für eine erfolgreiche Zahnpflege einnimmt, ist bereits durch diverse Studien belegt worden (Nygaard-Østby et al. 1979; Yankell et al. 1992; Volpenheimer et al. 1996). Zahnbürstenhersteller versuchen, durch neuentwickelte Gestaltungsformen der Bürsten ihren Stellenwert am Markt zu optimieren. Ob die innovative Gestaltung und Anordnung des Bürstenfeldes immer mit einem besseren Putzerfolg einhergeht, kann nur in wissenschaftlichen Studien gezeigt werden. Da klinische Studien zur Testung der neuen Bürsten teuer und zeitaufwendig sind, besteht ein großes Interesse seitens der Industrie an einem aussagekräftigen *in-vitro* Verfahren.

Die Entwicklung solcher Methoden hat eine längere Geschichte. Im Jahre 1979 wurde von Nygaard-Østby et al. die Eindringtiefe verschiedener Zahnbürsten in simulierten Approximalräumen gemessen. Auch andere Faktoren sind berücksichtigt worden. Man untersuchte den Erfolg unterschiedlicher Putzbewegungen bei unterschiedlicher Anpresskraft im Hinblick auf die Plaqueentfernung. Yankell et al. zum Beispiel verglichen 1992 unterschiedliche Handzahnbürsten an dem Modell von Nygaard-Østby. 1996 wurde dann mithilfe eines Putzmotors durch Volpenheimer et al. die Eindringtiefe der Borsten in die Approximalräume sowie der Einfluss der Anpresskraft und unterschiedlicher Putzbewegungen auf die Putzeffizienz der einzelnen Bürsten erforscht. Volpenheimer et al. haben genau wie Rawls et al. 1993 die Bürsten an einem Kiefermodell getestet, um die orale Situation so realistisch wie möglich simulieren zu können. Die Entwicklung der Putzroboter von einfachen Motoren bis hin zu einem 6-Achs-Roboter, wie er im Verlauf dieser Studie zum Einsatz kam, hat ebenfalls geholfen, die *in-vitro* Studien aussagekräftiger gestalten zu können.

Staufer et al. haben 2011 an einem solchen 6-Achs-Roboter, der in der Lage ist, beliebige Putzbewegungen an anatomisch korrekten Zahnmodellen durchzuführen, Handzahnbürsten und unterschiedliche Putztechniken untersucht. Das folgende Projekt richtet seinen Fokus auf die

Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten und soll die Frage klären, ob Kinderzahnbürsten mithilfe eines Roboters auf ihre Putzeffizienz untersucht werden können.

2. Zielsetzung

Mit dieser Cross-Over-Studie soll der Frage nachgegangen werden, wie aussagekräftig eine computergestützte *in-vitro* Methode zur Überprüfung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten ist. Sind die Ergebnisse aus dem Labor mit denen, die am Probanden in der klinischen Testung erhoben worden sind, kompatibel? Oder zeigt sich eines der Verfahren dem anderen gegenüber überlegen?

Darüber hinaus wird der Frage nachgegangen, ob ein neuer Plaque-Index für das Milchzahngebiss als sinnvoll erachtet wird. In Studien, an denen Probanden mit einem Wechselgebiss teilnehmen, steht man häufig vor dem Problem, einen Plaque-Index auf sich im Durchbruch befindliche Zähne anzuwenden. Die Aussagekraft des modifizierten Navy-Plaque-Index mit Planimetrie wird einem neuentwickelten Plaque-Index gegenübergestellt und die Vor- und Nachteile werden ausgearbeitet. Das Auswertungsverfahren wird Aufschluss über die Besonderheiten der Automatischen Plaque Planimetrie (APP) (Gängler et al. 2013) geben und die Unterschiede zum klinischen Ablauf aufzeigen.

Eine Übersicht über die Durchbruchszeiten der Milchzähne sowie dem Wechsel zum bleibenden Gebiss, wird einen Eindruck vermitteln, welchen Anforderungen Kinderzahnbürsten und ein anzuwendeder Plaque-Index nachkommen müssen.

Die Gegenüberstellung der physiologischen und der pathologischen oralen Mikrobiologie wird die mögliche Entstehung von oralen Erkrankungen begreifbar machen und lässt auf sinnvolle Gegenmaßnahmen schließen, auf die im Folgenden ebenfalls eingegangen wird.

Die statistische Auswertung aller erhobenen Daten soll abschließend die tatsächliche Aussagekraft einer robotergestützten Methode zur Überprüfung der Reinigungseffizienz von Kinderhandzahnbürsten abbilden.

3. Übersicht

3.1 Durchbruchszeiten der Zähne

Der Mensch verfügt über zwei Dentitionen. Zunächst erfolgt der Durchbruch der Milchzähne, welche dann zwischen dem sechsten und vierzehnten Lebensjahr durch das bleibende Gebiss ersetzt werden. In der Regel läuft dieser Vorgang in einer bestimmten Reihenfolge ab. Somit wird das durch das Wachstum des Individuum steigende Platzangebot durch die nachkommenden Zähne ausgeschöpft.

3.1.1 Milchzahndentition (Dentes decidui)

Das Milchgebiss von Kindern besteht aus 20 Zähnen, die, wie auch im bleibenden Gebiss, in vier Quadranten eingeteilt werden können. Zu jedem Quadranten gehört ein mittlerer und ein seitlicher Schneidezahn (Dentes incisivi), ein Eckzahn (Dens caninus) und jeweils zwei Milchmolaren (Dentes molaris I und II). Die Milchzähne sind in allen Dimensionen kleiner als die entsprechenden bleibenden Zähne.

Die Milchzahndentition beginnt normalerweise nach dem 6. Lebensmonat mit dem Durchbruch der mittleren Schneidezähne und wird dann durch die seitlichen Schneidezähne im Laufe des ersten Lebensjahres ergänzt. Der erste Milchmolar bricht zwischen dem 12. und 16. Monat durch, bevor der Eckzahn bis zum 20. Monat die Reihen schließt. Komplettiert wird das Milchgebiss durch den zweiten Molaren zwischen dem 20. und 30. Lebensmonat. Ab dem dritten Lebensjahr weist das Milchgebiss eine volle Verzahnung mit seinen Antagonisten auf. In den folgenden 12-24 Monaten wird das Wurzelwachstum der Milchzähne abgeschlossen.

Die Wurzelresorption beginnt ca. drei Jahre nach ihrer abgeschlossenen Entwicklung und läutet den Beginn des Zahnwechsels ein. Ein Prozess, der die

Bezahnung auf das durch das Kieferwachstum neu entstandene Platzangebot anpasst.

Die Durchbruchszeiten der Zähne wurden von Schour und Massler (1940) zusammengefasst. Sie haben bei großer individueller Schwankung heute noch volle Gültigkeit (Gängler et al. 2005).

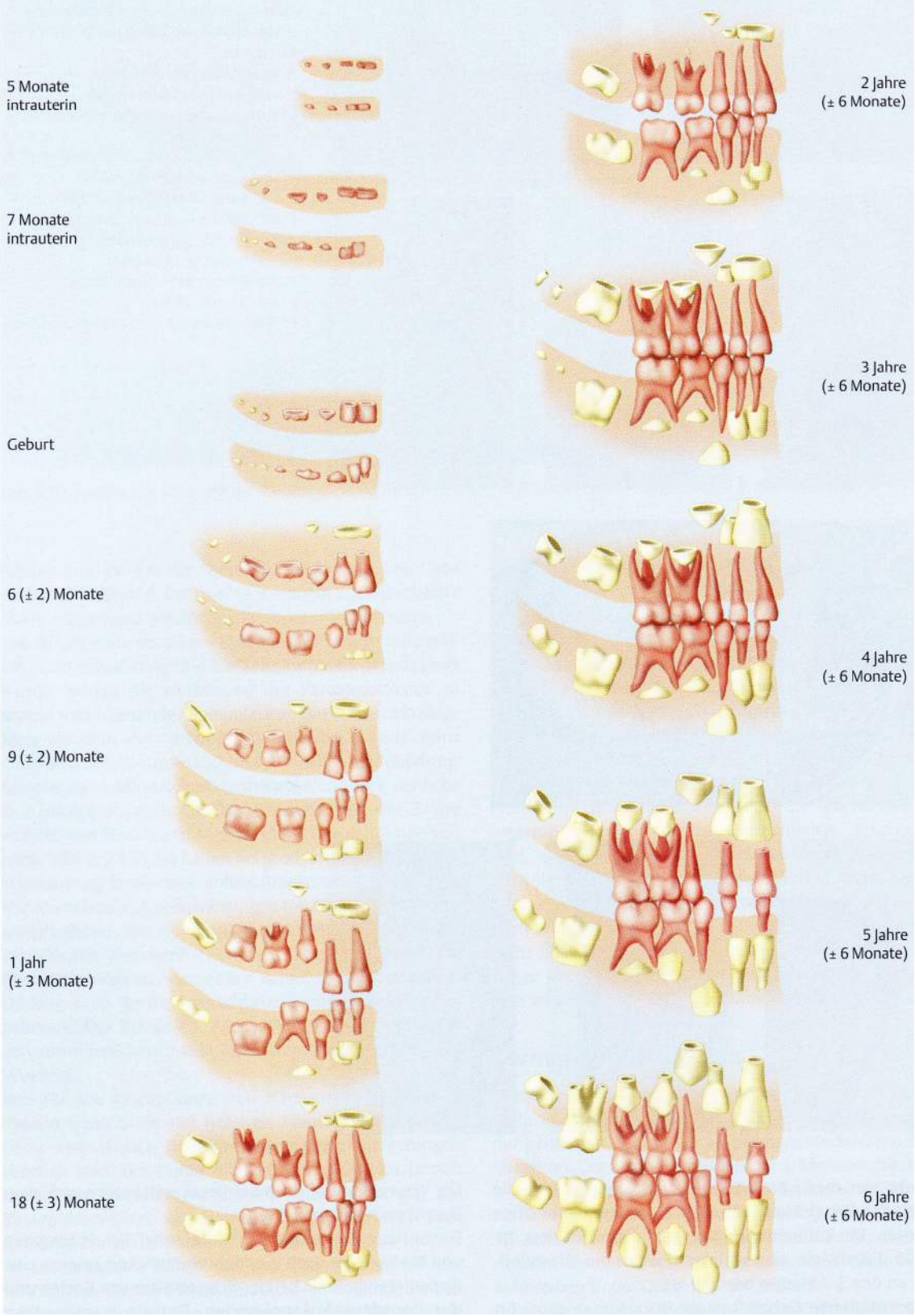

Abb.3.1.: Durchbruchzeiten nach Schour und Massler (bis 6 Jahre) mit Genehmigung vom 08.01.2014

3.1.2. Permanente Dentition (Dentes permanentes)

Das bleibende Gebiss besteht aus 32 Zähnen. Wie im Milchgebiss verfügt der Mensch pro Quadrant über einen mittleren und einen seitlichen Schneidezahn (Dentes incisivi) und einen Eckzahn (Dens caninus). Der Unterschied zum Milchzahngebiss macht sich nicht nur durch die Größe der einzelnen Zähne bemerkbar, sondern auch durch die Anzahl, denn das bleibende Gebiss verfügt über zwei Prämolaren (Dentes praemolares I und II) und drei Molaren (Dentes molares) pro Quadrant. Dieser Unterschied ist vor allem auf das wachstumsbedingte steigende Platzangebot zurückzuführen.

In der Regel beginnt nach dem Durchbruch des ersten Molaren im sechsten Lebensjahr die Phase des frühen Wechselgebisses, die durch den Zahnwechsel der Frontzähne eingeleitet wird. In dieser Periode lockern sich die Milchfrontzähne durch die einsetzende Wurzelresorption und werden durch die bleibenden Schneidezähne ersetzt. Es folgt der Wechsel der Eckzähne im Unterkiefer zwischen dem 9. und 11. Lebensjahr. Ab dem 10. Lebensjahr ist mit dem ersten Prämolar im Unterkiefer zu rechnen, bevor dann der Eckzahn im Oberkiefer zwischen dem 11. und 13. Lebensjahr gewechselt wird. Im selben Zeitraum brechen die 2. Prämolaren durch. Während dieser Phase spricht man vom ‚späten Wechselgebiss'. Diese zeichnet sich durch den Wechsel der Zähne der Stützzone aus, eben der jeweilig antagonistischen Zahngruppen der Prämolaren und der Molaren. Der zweite Molar ist im Anschluss daran zu erwarten. Der 3. Molar (Dens serotinus) oder auch ‚Weisheitszahn' bricht in der Regel erst im volljährigen Alter durch. Die Reihenfolge des Durchbruchs sowie der Zeitpunkt unterliegen oft größeren Schwankungen als im Milchzahngebiss. Bei Mädchen beginnt der Zahnwechsel bis zu sechs Monate früher als bei Jungen. Der Zahnschmelz bleibender Zähne hat einen Mineralgehalt von 95 Vol% und liegt demnach über dem der Milchzähne. Unter anderem aus diesem Grund sind bleibende Zähne weniger abrasiv und neigen weniger schnell zu einer Erosion.

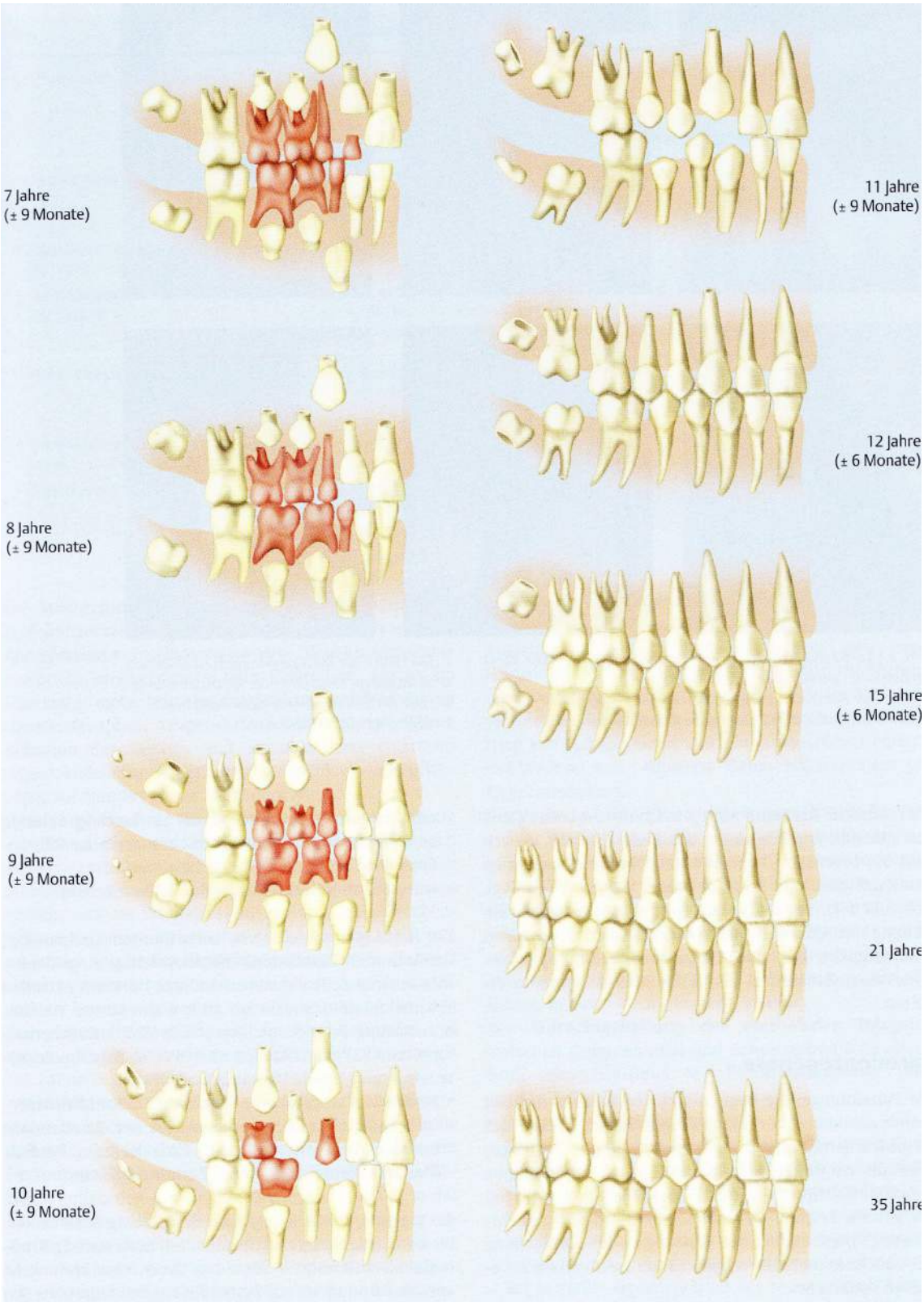

Abb.3.2.: Durchbruchszeiten nach Schour und Massler (bis 35 Jahre) mit Genehmigung vom 08.01.2014

3.2 Orale Mikrobiologie

Die natürliche mikrobielle Besiedlung der Mundhöhle basiert auf einer Symbiose zwischen Wirt und Mikroorganismen, bei der alle Beteiligten einen Gewinn davontragen. Unterschiedliche mikrobielle Lebensformen sind an der Besiedlung beteiligt und bilden eine eigene Umwelt innerhalb des warmen und feuchten Milieus, das der Wirt ihnen bietet. Die Interaktion und Kommunikation innerhalb dieses Mirkobioms basiert auf einem komplexen Signalübertragungssystem auf molekularer Ebene und hat einen aktiven Einfluss auf das Immunsystem des Organismus. Jede Veränderung in der Ökologie des Wirtes hat einen direkten Einfluss auf die des Mikrobioms und umgekehrt. Es handelt sich um eine dynamische Beziehung zwischen den Besiedlern und dem Wirt (Marsh et al. 2011).

3.2.1 Orale Mikrobiologie (physiologisch)

Das orale Mikrobiom ist als Gemeinschaft in einem Biofilm organisiert. Dieser bietet Schutz und erleichtert die Interaktion und Kommunikation der einzelnen mikrobiellen Zellen. Die Entstehung dieses Biofilms geht von speziellen Molekülen aus, die im Speichel und in der Sulkusflüssigkeit freischwimmend vorkommen. Die frisch gereinigte Zahnoberfläche adsorbiert innerhalb weniger Sekunden diese Moleküle. Auf diese Weise entsteht die *acquired pellicle,* welche eine Besiedlung durch zunächst vor allem gram-positive Mikroorganismen ermöglicht. Es entstehen Bindungen zwischen den Rezeptoren der *acquired pellicle* und der Adhäsine, welche auf der mikrobiellen Zelloberfläche vorkommen. Auf diese Weise entstehen Mikrokolonien, die einen physikochemisch adhärenten Biofilm darstellen. Es kommt zu einem Anstieg der Biomasse, sodass die Synthese eines Biopolymers angeregt wird, welches zum Bau einer Matrix genutzt wird. Diese Matrix ermöglicht eine Formstabilität, erleichtert die Interaktion unter den einzelnen ansässigen Zellen und bietet Schutz vor den sich ständig verändernden Umweltbegebenheiten. Dabei wird

die Integrität dieser Gemeinschaften stets durch intermikrobielle Adhäsion und die dadurch ermöglichte Kommunikation durch *Quorum sensing* (Austausch von chemischen Signalen zur Kommunikation) realisiert, welches die Genexpression der mikrobiellen Zellen reguliert (Kolenbrander et al. 2006; Jakubovics et al. 2010; Wright et al. 2013).

Der Biofilm kann dem Wirt als Barriere Schutz vor körperfremden Pathogenen bieten. Aufgrund der Produktion inhibitorischer Faktoren wird durch das Mikrobiom eine pathogenunfreundliche Umwelt geschaffen. Darüber hinaus zieht der Wirt immunologische Vorteile aus dem Stoffwechsel der mirkobiellen Besiedler, die kurzkettige Fettsäuren produzieren und somit Einfluss auf den Energiehaushalt des Wirtes haben.

Die Vorteile für die einzelnen mikrobiellen Zellen in dieser Gemeinschaft liegen vor allem in dem Schutz, den sie sich gegenseitig bieten. Darüber hinaus wird das Nahrungsangebot optimal ausgenutzt und somit eine positive Energiebilanz ermöglicht. Wirtseigene Substrate sind der Hauptnährstofflieferant der einzelnen Zellen. Aber nicht jedes dieser Bakterien ist in der Lage, die Substrate eigenständig zu verstoffwechseln, sondern benötigt die Hilfe anderer Gemeinschaftsmitglieder. Auf diese Weise entstehen *food chains*, die den Zellen ermöglichen, ihren Energiebedarf zu decken. Die Hilfe untereinander geht aber noch weiter. Sobald sich die Umwelteinflüsse verändern, wird das über *Quorum sensing* ins Innere des Biofilms verkündet, was zu einer Umorganisation im Gefüge der Gemeinschaft führen kann. Auf diese Weise können Zellen, die der neuen Situation (z.B.: veränderter pH-Wert) nicht gewachsen sind, sich aus ihrem Verbund lösen und im Inneren des Biofilms Schutz suchen. Dies wird auch durch die Erkenntnis belegt, dass eine antibiotische Wirkung auf eine Monokultur viel größer sein kann, als wenn derselbe Wirkstoff gegen eine Gemeinschaft aus mehreren Spezies eingesetzt wird. Ein Pathogen kann also resistenter auf einen Wirkstoff reagieren, sollten zum Beispiel benachbarte Zellen neutralisierende Enzyme bilden.

Außerdem ist beobachtet worden, dass im Verbund lebende, fakultativ anaerobe mirkobielle Zellen in der Lage sind, auch im aeroben Milieu zu überleben. Hierzu siedeln sie sich in der Nachbarschaft

sauerstoffverbrauchender Zellen an und sind somit fähig, in einem für sie ungeeignetem Umfeld zu überleben. Auf diese Weise wird der mögliche Lebensraum der einzelnen Zellen enorm vergößert.

3.2.2 Orale Mikrobiologie (pathologisch)

Die stammspezifische Reaktion der Rezeptoren eines Mikroorganismus gegenüber Signalmolekülen sichert eine Synchronisation der Genexpression innerhalb einer mikrobiellen Gemeinschaft. Auf diese Weise gelingt es den Mikroorganismen im Verbund, sich gegenseitig vor Angriffen des Immunsystems sowie gegen antibiotische Substanzen zu schützen (Hoyle et al. 1991; Leid et al. 2005; Wright et al. 2013).

Das Gleichgewicht innerhalb des Mikrobioms kann durch das Übertreten gewisser Schwellenwerte der äußeren Faktoren verschoben werden. So hat zum Beispiel der pH-Wert großen Einfluss auf die Anzahl und Gattung der im Verbund lebenden mikrobiellen Zellen. Wenn also ein kritischer Wert erreicht werden sollte, der für das aktuelle Mikrobiom ungeeignet ist, kommt es zu einer Umstrukturierung innerhalb des Verbundes. Die Zellen, die besser auf die Veränderungen der Umwelt angepasst sind, nehmen in der Gemeinschaft eine dominantere Position ein. Bei einer Vermehrung anaerober Keime innerhalb des Verbundes steigt die pathologische Potenz des Mikrobioms.

Bei einer Erkrankung des Parodonts zum Beispiel liegen subgingival vor allem anaerobe Bakterien vor. Als Immunantwort des Wirtes wird unter anderem die Sulkusflüssigkeitsproduktion gesteigert. Diese liefert wiederum Proteine, Glykoproteine und Cofaktoren, die zum Wachstum fakultativ anaerober Keime und gramnegativer Bakterien in der subgingivalen Plaque benötigt werden. Die im Rahmen der Immunantwort erhöhte Temperatur führt zu einer Hemmung der Proteaseaktivität. Diese Einflüsse können das natürliche Gleichgewicht im Biofilm stören und fördern eine Umwelt, in der sich pathogene Keime wohlfühlen und Gewebeschäden verursachen können.

3.2.3 Gingivitis

Bei der Gingivitis handelt es sich um eine Reaktion der Gingiva auf den vorhandenen Biofilm, der je nach Zusammensetzung ein unterschiedliches Entzündungsrisiko darstellt. Löe et al. haben 1965 zeigen können, dass durch eine Mundhygienekarenz von 4-21 Tagen eine klinisch und histologisch eindeutige Entzündungsreaktion auf die veränderte Plaque ausgelöst wird. Gängler und Arnold haben 2005 die unterschiedlichen Läsionsstadien der Gingivitis beschrieben:

Die *Initialläsion* ist klinisch noch nicht sichtbar. Hierzu kommt es bei einem vermehrten Aufkommen an polymorphnukleären Granulozyten in der Plaque. Kollagenverlust und Zellinfiltration gehen damit einher.

Von der *Frühläsion* spricht man bei einem 60-70%igem Kollagenverlust, Lymphozyteninfiltrat und Veränderungen der Fibroblasten. Außerdem steigt die Sulkusfluid-Fließrate durch Plasmadiapedese kontinuierlich an. Es kommt oberflächlich zu einem Zellverlust, der zur Bildung des klinischen Sulkus führt.

Bei der *manifesten Gingivitis* sind chronische und akute Entzündungszeichen kombiniert. Es kann je nach Zusammensetzung der Plaque und der Wirtsreaktion zu hyperplastischen, desquamativen, granulomatösen und ulzerierenden Veränderungen kommen.

Die steigende Pathogenität der Plaque kann durch die Wirtsreaktion nicht mehr verhindert werden und es kann zu teilweise irreversiblen Epithelschäden des dentogingivalen Verbindungsepithels kommen. Die Sulkusflüssigkeit stellt hierbei mit ihrem Leukozytenwall eine wichtige Schutzbarriere zwischen der Plaque und dem Verbindungsepithel sowie Sulkusepithel dar. Jedoch wird mit steigender Pathogenität der Plaque, die schützende Fähigkeit der Leukozyten gestört.

Da die Gingivitis meist plaquinduziert ist, sollte die individuelle und therapeutische Plaquekontrolle im Mittelpunkt der Therapie stehen. Die durch die Gingivitis entstandenen Schäden sind in der Regel aber reversibel, sodass eine vollständige Genesung der Gingiva durch eine entsprechende Plaquekontrolle wahrscheinlich ist.

3.2.4 Karies

Neben der marginalen Parodontitis ist die Karies eine multifaktorielle Volkskrankheit mit sehr hohem Verbreitungsgrad.
Im Biofilm anwesende, kariogene Mikroorganismen produzieren bei der Verstoffwechselung niedermolekularer Kohlenhydrate organische Säuren. Je weiter der pH-Wert in der Plaque dabei abfällt und je länger dieser Vorgang dauert, desto stärker kann es zu einer Demineralisierung der Zahnhartsubstanzen führen (Pieper et al. 2006, Heidemann 1999).
Nicht an jeder von Plaque besiedelten Zahnoberfläche entsteht eine Karies. Sie benötigt eine Verschiebung des dynamischen Gleichgewichtes zwischen der Demineralisation und Remineralisation der Zahnoberfläche in Richtung Demineralisation. Der pH-Wert in der Plaque beeinflusst die chemische Zusammensetzung des Biofilms und somit seine potentielle Neigung, die Zahnoberfläche zu de- oder remineralisieren. Ab einem pH-Wert von 5,7 beginnt die Demineralisation des Zahnschmelzes und in der Folge die Entstehung einer Karies. Dabei kommt es zu einem Verlust von Calcium und Phosphat aus dem Zahnschmelz.
Jedoch hat der Speichel, je nach Mineralgehalt, die Tendenz, diesem Vorgang entgegenzuwirken und kann die Remineralisation ermöglichen (Fejerskov et al. 2003). Von der Fließrate und der Dauer der Stimulation ist sowohl die Zusammensetzung als auch dessen pH-Wert und Pufferkapazität abhängig. Je nach Konzentration an Fluorid, Phosphat, Calcium und Statherin wirkt der Speichel remineralisierend auf die Zahnhartsubstanz ein und beschichtet schützend durch Proteine und Mucine die Zahnoberfläche. Außerdem wirkt er

antibakteriell durch die im Speichel enthaltenen Antikörper und leitet durch Amylasen und Proteasen die Verdauung der Nahrung ein (Oeschger 2005; Stookey 2008).

3.3 Kariesrisiko und Kariesprävention

Die Kariesprophylaxe sollte nicht die Entfernung des Biofilms, sondern vielmehr die Kontrolle des selbigen als Ziel verfolgen. Durch die regelmäßige, häusliche Zahnpflege kann somit der Plaquebefall in einem ‚gesunden' Maße gehalten werden und somit einer Karies und einer Gingivitis vorgebeugt werden. Es bedarf einer individuellen Kariesrisikobestimmung und eines darauf abgestimmten präventiven Therapiekonzeptes (Kaiser 2003).
Das Kariesrisiko lässt sich errechnen, indem die Anzahl entwickelter Kariesläsionen in einem bestimmten Zeitraum ins Verhältnis gesetzt werden. Somit wird die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer weiteren Karies bestimmt. Im Milchgebiss weisen Kinder mit sechs Jahren einen doppelt so hohen Anteil an zerstörten, gefüllten oder fehlenden Zähnen auf, als in den darauf folgenden sechs Jahren (Heyduck und Splieth 2005). Die Kariesaktivität dagegen bewertet die Ausbreitung und den Zuwachs einer bereits vorhandenen Karies. Die Qualität eines Kariesrisikotestes wird durch die Faktoren Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit und Gültigkeit bestimmt (Duperrex 2007).

Das relative Risiko (RR) gibt bei der Betrachtung zweier Gruppen (mit Risikofaktor vs. ohne Risikofaktor) an, um welchen Faktor sich das Risiko zu erkranken unterscheidet (Zimmer 2012). Diese Formel dient statistischen Aussagen, aber eher weniger einer individuellen Kariesrisikodiagnostik.

Das Kariesrisikoscreenig dient der qualitativen (ja oder nein) Aussage bei Bevölkerungsgruppen mit noch symptomlosen Erkrankungen oder mit dem Risiko für eine Krankheit, um zu einem möglichst frühen Zeitpunkt therapeutisch intervenieren zu können. Bei einer zahnärztlichen Untersuchung werden

mehrere Parameter berücksichtigt, wodurch auch eine quantitative Aussage getroffen werden kann, wie groß das Risiko ist.
Hierbei gibt der Begriff Sensitivität an, wie wahrscheinlich ein Mensch mit großem Risiko als solcher erkannt wird.
Und der Begriff Spezifität gibt Auskunft über die Wahrscheinlichkeit, ein Individuum mit geringem Risiko als solches beurteilt zu haben.

Zimmer (2012) empfiehlt, die Risikobestimmung nur auf der Grundlage von noch nicht destruktiven oder zumindest noch reversiblen Risikofaktoren vorzunehmen. In vielen Reihenuntersuchungen werden bereits kariöse, gefüllte oder fehlende Zähne (dmf-t) berücksichtigt. Kühnisch et al. (2010) zum Beispiel beschreiben die populationsbezogene Methode zur Kariesrisikodiagnostik unter Zuhilfenahme des dmf-t, was mit einem primär-präventiven Ansatz nicht kompatibel ist.

Im Wechselgebiss spielen unter anderem die Sechsjahrmolaren eine Rolle im Kariesrisikoscreening und können mit dem Dentoprog-Verfahren beurteilt werden. Marthaler et al. (1997) haben in ihren Untersuchungen die entsprechenden Daten gesammelt, gewichtet und mathematisch quantifiziert. Dieser Arbeit ist es zu verdanken, dass man online eine Software kostenfrei zur Diagnostik des Kariesrisikos nutzen kann. So ist im alltäglichen Gebrauch diese Methode zur Kariesrisikodiagnostik der 6- bis 10-Jährigen in der Praxis anwendbar.

Folgende Faktoren fließen in diese Berechnung ein:

- Anzahl gesunde, ungefüllte Milchmolaren
- Anzahl der ersten Molaren mit verfärbten Fissuren
- Anzahl linguale und bukkale Glattflächen von ersten Molaren mit Kreideflecken, vertikale Ausdehnung unter 2 mm

Auf diese Weise wird dann das Risiko als erhöht oder eben gering eingeschätzt. Diese Beurteilung ist allerdings für den klinischen Alltag nicht besonders

relevant, da es zu keiner therapeutischen Maßnahme führt. Ebenso wenig das Kariesrisiko anhand der Plaqueausdehnungsrate festmachen zu wollen, zum Beispiel durch die Plaqubildungsrate (Plaqueformationrate-Index, PFRI). Hierbei wird in Prozent angegeben, wieviel sichtbare Plaque sich auf einer professionell gereinigten Zahnfläche innerhalb von 24 Stunden bildet, ohne dass der Proband Mundhygiene betreibt. Kontrolliert werden sechs mögliche Plaqueanlagerungsflächen eines Zahnes (mesiobukkal, bukkal, distobukkal, mesiolingual, lingual, distolingual). Die gemessenen Werte werden anschließend durch folgende Formel verrechnet:

PFRI (%) = E (Zahnteilflächen mit Plaque) × 100 ÷ (Anzahl der Zähne) × 6

Diese Formel ist ungeeignet, das Risiko einer Kariesentstehung zu bestimmen. Es ermöglicht ausschließlich, die Plauquebildungsgeschwindigkeit zu bestimmen (Schmelzer 2000). Aber alleine die Menge einer Plaque sagt nichts über das Risiko aus, eine Karies zu entwickeln.

Das Modell der klassischen präventiven Kariesvorbeugung fußt laut Pieper et al. (2006) auf folgenden drei Säulen:

- Anwendung von Fluoriden
- Effiziente Mundhygiene
- Eine zahngesunde Ernährung

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren kann die Wahrscheinlichkeit, eine kariöse Läsion zu entwickeln, minimiert werden. Allerdings werden sich durch eine vorangegangene Kariesrisikobestimmung die Maßnahmen der Prävention nicht ändern. Deswegen ist der Sinn einer solchen Risikobestimmung im klinischen Alltag von eher untergeordneter Rolle.
Der Zuckerkonsum und die mögliche Entwicklung einer Karies werden zu Recht in einen Zusammenhang gebracht. Jedoch kann der Literatur keine Angaben empfohlener Höchstdosen entnommen werden. Die Gesellschaft für

Zahnerhaltung weist nur entschieden darauf hin, dass eine übermäßige Aufnahme an zuckerhaltigen Lebensmitteln und Getränken vermieden werden und die Frequenz zuckerhaltiger Zwischenmahlzeiten auf höchstens vier reduziert werden sollte oder möglichst durch zuckerfreie Zwischenmahlzeiten ersetzt werden (Geurtsen et al. 2013). Diese Angaben sind allerdings nicht evident. Vielmehr scheint es auf das indivieduelle Risiko, eine Karies zu entwickeln, anzukommen. Dabei ist der Zuckerkonsum, der mit einer Karies assoziiert ist, individuell sehr variabel.

Zum Schutz vor Demineralisation der Zahnhartsubstanz sollte eine fluoridhaltige Zahnpasta verwendet werden, da die Remineralisation der Zahnhartsubstanz durch Fluoride gefördert wird. Sie hemmt bei regelmäßiger Anwendung die Karies zu 25% (Clarkson et al. 1993). Eine Demineralisation ist nicht immer sofort auszumachen, daher sollte ein ständiges Vorkommen an Fluoridionen gewährleistet sein. Lacke, Gelees und Spüllösungen können zur lokalen Fluoridierung ergänzend eingesetzt werden, betreffen aber eher die adulte Zahnmedizin.

Ab dem Durchbruch der ersten Milchzähne bis zum 6. Lebensjahr sollten spezielle Zahnpasten zum Einsatz kommen, die über einen Fluoridgehalt von bis zu 500 ppm verfügen (Pieper et al. 2006). Ab dem siebten Lebensjahr kann eine Erwachsenenzahnpasta zum Einsatz kommen, die bis zu 1500 ppm Fluorid enthält. Auch eine systemische Anwendung von Fluorid ist sinnvoll. Im Trinkwasser ist je nach Region unterschiedlich viel Fluorid enthalten. Durch fluoridiertes Speisesalz oder spezielle Fluoridtabletten kann die Aufnahme ergänzt werden. Fluorid hat eine hohe therapeutische Sicherheit. Eine Gefahr der Intoxikation ist eigentlich nur bei Kleinkindern gegeben. Ab einer Dosis von 5 mg/kg Körpergewicht ist mit toxischen Symptomen zu rechnen (Whitford 1996). Gesamtmengen von 100 mg gelten auch bei Kleinkindern (ca. 20 kg) als ungefährlich.

3.4. Hilfsmittel zur Mundhygiene

Die regelmäßige Beschäftigung mit der eigenen Zahngesundheit sollte bereits früh durch die Eltern vermittelt werden. Im Kindesalter werden Gewohnheiten für das ganze Leben aufgebaut, daher sollte man die Neugierde der Kinder nutzen, um der Zahnpflege einen festen Platz im Tagesablauf zu sichern (Kreft et al. 2007). Denn die elterliche Einstellung hinsichtlich der Mundhygiene hat einen großen Einfluss auf die Entstehung bzw. Vermeidung der frühkindlichen Karies. Allerdings ist der Einfluss unterschiedlich stark ausgeprägt in differenten ethnischen und sozio-ökonomischen Gruppen. Borutta et al. (2010) forderten weiterführende Studien, um den komplexen Zusammenhang der Risikofaktoren zu sichern und um Erklärungsmodelle zu erstellen, mit denen bei hoher Sensitivität und Spezifität Familien mit Risikoprofil rechtzeitig identifiziert werden können.

3.4.1 Handzahnbürste

Die Zahnpflege ist seit etwa 5000 Jahren ein Anliegen der Menschheit. In Gräbern der Ägypter aus dieser Zeit sind Äste, sogenannte *Miswak*, des Zahnbürstenbaumes (*Salvadora persica*) gefunden worden, die über eine faserige Struktur verfügen und als Zahnbürstenersatz dienen können, indem man auf ihnen herumkaut. Auch in der heutigen Zeit findet diese Art der Mundhygiene vor allem im arabischen Raum noch Anwendung. Dem muslimischen Glauben nach lehrte der Prophet Mohammed den Gebrauch dieses Zweiges (Lässig und Müller 1983).

Die moderne Zahnbürste, die die Hauptrolle in der Mundhygiene spielen muss, sollte mit einem kurzen Bürstenkopf (ca. 2,5 cm) und mit Büscheln aus je 20-40 abgerundeten Borsten (multi-tufted) ausgestattet sein. Die optimale Länge der einzelnen Borsten beträgt 10-12 mm, die eine Dicke von 0,18-0,25 mm haben sollten (Hellwig et al. 2007).

Welche Form der Bürstenkopfgestaltung zu einer erfolgreicheren Zahnreinigung führt, ist in vielen Studien untersucht worden. Die meisten Studien, die sich mit dieser Frage beschäftigen, haben ihr Hauptaugenmerk auf die Erwachsenenzahnbürsten gelegt. Volpenheimer et al. (1996) haben belegt, dass eine wellige Bürstenkopfgestaltung mit unterschiedlichen Borstenlängen tiefer in die Approximalräume vordringt, als es einem planen Borstenfeld möglich ist.

1979 ist bereits von Nygaard-Østby et al. eine bessere Reinigungseffizienz approximal durch eine Zahnbürste mit V-förmig angeordneten Borsten belegt worden. Außerdem ist die Plaquereduktion durch weiche Borsten erfolgreicher als durch den Gebrauch einer mittelharten oder sogar harten Zahnbürste.

Allerdings konnte Claydon et al. (2002) in einer Vergleichsstudie keinen signifikanten Unterschied in der Plaqueentfernung unter acht verschiedenen Handzahnbürsten ausmachen, was zu der Schlussfolgerung führte, dass weniger die Gestaltung des Borstenfeldes als vielmehr der Anwender die bedeutsamere Einflussgröße ist.

Zum gleichen Ergebnis kamen Claydon et al. bereits im Jahr 1996, als eine Handzahnbürste mit abgewinkelten Borsten und guten Testergebnissen mit drei anderen Handzahnbürsten mit konventionellem Borstenfeld verglichen wurde. Auch hier ist keine Handzahnbürste der anderen auf Grund ihrer Gestaltung überlegen gewesen.

Eine vergleichbare Beobachtung machte auch Klotz 2009, als er zwei Zahnbürsten im Bezug auf ihre Effektivität in Plaque- und Gingivitisreduktion verglich. Es konnte kein signifikanter Unterschied ausgemacht werden, trotz sehr unterschiedlich gestalteter Borstenfelder.

Katrin Völker konnte 2005 in ihrer Dissertation die Ergebnisse aus der klinischen Untersuchung Claydons in ihrer Laborversuchsreihe nicht abbilden. Dabei wurden zehn Handzahnbürsten mit unterschiedlich gestaltetem Borstenfeld auf ihre Reinigungseffizienz hin untersucht. Es wurden neben der Gestaltung des Borstenfeldes auch noch die Faktoren Putztechnik und Putzmedium berücksichtigt. Es konnte belegt werden, dass die Stillmanntechnik einer horizontalen Schrubbtechnik überlegen ist, egal welche Zahnbürste zum

Einsatz kommt. Durch die Anwendung von Zahnpasta als Putzmedium gegenüber dem ausschließlichen Gebrauch von Wasser ist außerdem mit einem besseren Reinigungsergebnis zu rechnen. Der Reinigungseffekt ist aber am größten gewesen beim Gebrauch von Zahnbürsten mit unterschiedlich langen Borsten und im Speziellen mit einem schrägstehenden X-Borstenfeld. Dieser Vergleich verdeutlicht den Bedarf einer validierten Laboruntersuchungsmöglichkeit zur adäquaten Ergebnissfindung neben aufwendigen klinischen Studien.

Auf die Suche nach einer überlegenen Borstenfeldgestaltung bei Kinderzahnbürsten haben sich 2005 Scheidegger und Lussi gemacht. In der achtmonatigen Studie sind drei Kinderzahnbürstenmodelle von insgesamt 47 fünf- bis neunjährigen Probanden in der Schweiz getestet worden. Ähnlich der durch Claydon et al. (1996 und 2002) erzielten Ergebnisse konnte sich auch bei den Kinderzahnbürsten keine Bürstengestaltung einer anderen als überlegen erweisen. Unabhängig von der Zahnbürste ist bei allen Probanden eine signifikante Verbesserung der Reinigung über die gesamte Testperiode beobachtet worden. Bei der Literaturrecherche ist auffällig, wie wenig Studien sich mit der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten beschäftigen. Hier besteht dringend Nachholbedarf.

3.4.2 Elektrische Zahnbürste

Neben der Handzahnbürste, die sich die Hauptrolle der Zahnpflege gesichert hat, wird immer mehr auf elektrische Zahnbürsten gesetzt. Bereits 1939 ist in der Schweiz eine elektrische Zahnbürste entwickelt worden.

Unter anderem ist es Polig (2006) gelungen, die Überlegenheit der elektrischen Zahnbürste gegenüber der Handzahnbürste in der Plaquentfernung zu belegen.

Heute lassen sich eine Vielzahl an elektrischen Zahnbürsten in ihrem Bewegungsmuster und mechanischem Antrieb unterscheiden. Seitwärts- sowie Rotationsbewegungen können durch Oszillation, durch schall- oder ultraschallinduzierte Schwingungen erzeugt werden (Deacon et al. 2010). Die

Metaanalyse von Robinson at al. (2005) brachte die Erkenntnis, dass nur eine Kombination aus Rotations- und Oszillationbewegungen der elektrischen Zahnbürsten einen besseren Reinigungseffekt erzielt und somit eine statistisch signifikant bessere Plaqueentfernung und Gingivitisreduktion gegenüber der Handzahnbürste ermöglicht.

Bei der Literaturrecherche ist auffällig, dass sich nur ein geringer Anteil der Studien mit der Reinigungsleistung von Kinderzahnbürsten beschäftigt. Borutta hat 1997 die Plaquentfernung durch den Gebrauch einer elektrischen Kinderzahnbürste mit dem einer Handzahnbürste verglichen. 73 vier- bis sechsjährige Probanden aus zwei verschiedenen Erfurter Kindergärten haben jede der beiden Zahnbürsten für je zwei Wochen angewendet. Der jeweils erhobene Plaque-Index nach Rustogi et al. bei insgesamt 64 Kindern führte zu dem Ergebnis, dass der Gebrauch beider Zahnbürsten zu einer erhöhten Plaquereduktion beitrug, die Effizienz der elektrischen Kinderzahnbürste mit durchschnittlich 66,0% entfernter Plaque aber signifikant ausgeprägter ist als bei der Handzahnbürste, die ein Ergebniss von durchschnittlich 41,1% entfernter Plaque erreichte.

Zum gleichen Ergebnis kamen auch Ghassemi et al. (2013). Hierbei handelt es sich um eine Studie, an der 105 Probanden teilnahmen. Nach einer zweiwöchigen Eingewöhnungsphase ist der einmalige Gebrauch der jeweiligen Zahnbürste nach einer Mundhygienekarenz von 24 Stunden durch die Ermittlung des Navy-Plaque-Index getestet worden. Zunächst bleibt festzuhalten, dass beide Zahnbürsten eine signifikante Reduktion vorhandener Plaque erzielen konnten. Aber auch hier ist die elektrische Kinderzahnbürste statistisch signifikant der Handzahnbürste überlegen gewesen. Denn sie konnte eine durchschnittliche Plaquereduktion um 73,3% erzielen und lag damit deutlich vor der getesteten Handzahnbürste, die durchschnittlich 61,8% der Plaque entfernen konnte.

3.4.3 Ergänzende Mundhygienehilfsmittel

Unterstützende Hilfsmittel zur häuslichen Zahnpflege sind heute vielseitig auf dem Markt erhältlich. Die folgenden Seiten werden einen kleinen Überblick über einzelne Produkte geben.

Die Anwendung von Zahnseide, die nach Abschluss des Wachstums unterstützend genutzt werden sollte, ist ein Hilfsmittel zur interdentalen Zahnpflege. Allerdings ist hierbei die richtige Technik entscheidend. Viele Patienten klagen über motorische Probleme, vor allem die hinteren Approximalräume zu reinigen. Die Nutzung der Zahnseide hat in Kinderzahnpflege keinen Stellenwert.

In bestimmten Fällen ist die Anwendung einer Interdentalbürste indiziert. Wenn etwa eine kieferorthopädische Apparatur die Reinigung der Zähne durch eine Handzahnbürste erschwert (Diedrich et al. 1982).

Das wohl beliebteste Mundpflegeprodukt für zwischendurch ist das Kaugummi. Die pflegenden Eigenschaften der Kaugummis zeigen sich in der geförderten Speichelfließrate und der damit einhergehenden verbesserten Pufferfunktion (Dodds et al., 1991; Dawes et al. 1992), ist jedoch nur als unterstützendes Hilfsmittel anzusehen und ist als alleinige Mundhygiene nutzlos (Burkhardt 2003). Im Laufe der Entwicklung heutiger Kaugummis ist sehr viel über den Einfluss von Zucker auf Zahnkaries und die Alternativen (Zuckeraustauschstoffe) erforscht worden (Mickenautsch et al. 2007; Burkhardt 1999). So konnte gezeigt werden, dass Xylit als alleiniges Süßungsmittel eine antibakterielle Wirkung hat. Nach einer 6-Monatigen Anwendung konnte bei Schulkindern eine signifikant geringere Menge an Streptococcus mutans im Speichel nachgewiesen werden (Isokangas et al. 1991). Bestätigen konnte dieses Ergebnis auch die Studie von Trummler und Strübig 2008. Dort wurde festgestellt, dass eine tägliche Dosis von 6g Xylit einen signifikanten Rückgang an Streptococcus mutans bewirkt.

Da dieses Bakterium aber nicht der alleinige Verursacher einer Karies ist, geht mit dem Kauen xylithaltiger Kaugummis kein ausreichender Kariesschutz einher.

Weitere kaubare Mundpflegeprodukte stellen das Einweg-Gummirad ‚Rolly Brush' und die kaubare Zahnbürste ‚Fuzzy Brush' dar, deren Anwendung ein Abrieb von Zahnbelägen durch die produkteigenen Gummilamellen bzw. die Borsten verspricht. Bei der ‚Fuzzy Brush' ist sogar ein kleines Depot mit Zahnpasta integriert, welche durch Speichelkontakt löslich wird. Die Anwendung wird ab einem Alter von sechs Jahren empfohlen (Toekan 2013).

Einen Abrieb von Zahnbelägen wird auch durch Zahnputztücher ermöglicht. Diese werden über einen Finger gestülpt und anschließend über die Zahnflächen geführt. Das mit Xylit imprägnierte Zahn-Putztuch (Spiffies, Tucson, Arizona) zum Beispiel kann laut Hersteller bereits bei Babys Anwendung finden.

Eine neue Entwicklung für die ergänzenden Zahnpflegehilfsmittel stellen die Zahnputztabletten *Denttabs* (innovative Zahnpflegegesellschaft mbH, Berlin, Deutschland) dar. Es handelt sich hierbei um Zahnpasta in Tablettenform, welche zerkaut werden kann und durch den Speichelkontakt in einen cremigen Aggregatzustand übergeht. Entweder kann nun mit Hilfe einer Zahnbürste herkömmlich geputzt werden oder als alleinige Maßnahme ein Zwischenreinigungseffekt sowie eine Aufrechterhaltung der Bioverfügbarkeit von Fluoridionen erzielt werden (Böshagen et al. 2005; Naumova et al. 2008; Gängler et al. 2009). Die Inhaltsstoffe des Produktes Denttabs umfassen Putzkörper, Natriumfluorid, Geschmacksstoffe, wenig Tenside, Natriumhydrogencarbonat zur Einstellung des pH-Wertes bei 5,5 sowie mikrokristalline Zellulose und Siliciumdioxid zur schonenden Plaquereduktion. Die Verwendung dieses Produktes wird ab einem Alter von sechs Jahren empfohlen.

Mundduschen versprechen, impaktierte Speisereste und frische, noch lose Plaque wegzuspülen. Aber auch Mundspülungen haben auf Grund ihrer antibakteriellen Wirkung einen positiven Einfluss zur Kariesprophylaxe. Diese erreichen hauptsächlich nur den supragingivalen Bereich. In Kombination mit einer Munddusche kann eine Spüllösung die marginale Hälfte der parodontalen Tasche erreichen.
Die Zusammensetzung der einzelnen Produkte bewirkt unterschiedlichen Erfolg in der Erfrischung des Atems, der antibakteriellen Wirkung und der Aufrechterhaltung guter Bioverfügbarkeiten von Fluoridionen. Bei dem Wirkstoff Chlorhexidin, welches in Spüllösungen vorkommen kann, handelt es sich um eine medizinische Spüllösung, die apothekenpflichtig ist. Deswegen sollte bei der Anwendung von Mundspüllösungen darauf geachtet werden, dass ein dem Alter entsprechendes Produkt verwendet wird. Die Anwendung der Zahnspülung elmex junior (GABA, Lörrach, Deutschland) wird zum Beispiel ab einem Alter von sechs Jahren empfohlen.
Allerdings konnte die Studie von Meyer (2008) keinen Langzeiterfolg im Hinblick auf die chemische Plaquereduktion durch Chlorhexidin feststellen. Bereits kurze Zeit nachdem die Spülung abgesetzt wird, stellten sich die Ausgangswerte wieder ein.

All diese Produkte haben einen Einfluss auf die orale Gesundheit, da sie auf chemische oder mechanische Weise eine Plaquekontrolle erzielen. Die Reinigung einer Zahnfläche bewirkt eine ökologische Störung der Plaque und beeinflusst deren Wachstum negativ (Robinson et al. 2006). Aber es sei an dieser Stelle erneut darauf hingewiesen, dass es sich nur um ergänzende Maßnahmen handelt, die die tägliche Mundhygiene durch die Zahnbürste niemals ersetzen können.

3.5. Zahnputztechnik

Der wissenschaftlich belegte Erfolg in der Plaquereduktion durch den Gebrauch einer Zahnbürste ist unumstritten. Jedoch haben noch andere Komponenten Einfluss auf diesen Erfolg. Wie häufig und wie lange wird die Zahnbürste unter Zuhilfenahme welcher Technik bei welcher Putzkraft angewendet. Hier steht die motorische Geschicklichkeit des Anwenders im Mittelpunkt.

Verschiedene Putztechniken zur Reinigung der Zähne sind im Laufe der Zeit entwickelt worden. Ab dem dritten Lebensjahr sind zwar die wichtigsten motorischen Fähigkeiten ausgebildet, aber die Entwicklung der Feinmotorik zur korrekten Reinigung der Zähne ist erst im siebten Lebensjahr abgeschlossen (Makuch 1997).

In den ersten drei Jahren sollte die Zahnpflege passiv, also durch die Hand der Eltern erfolgen (Pieper und Momeni 2006). Für Kinder ist es neben dem Erlernen der motorischen Fähigkeiten, eine ausreichende Zahnpflege betreiben zu können, wichtig, mit anatomischen Gegebenheiten vertraut gemacht zu werden. Es sollte sichergestellt werden, dass alle Zahnflächen mit einem möglichst gleich intensiven Aufwand gepflegt werden. Darum bietet es sich an, Kinder ab dem dritten Lebensjahr mit der ‚KAI-Technik' ans Zähneputzen zu gewöhnen. Dabei handelt es sich weniger um eine besondere Putzbewegung, als um eine Hilfe zur räumlichen Orientierung.

Die Buchstaben stehen für:

- K= Kaufläche
- A= Außenfläche
- I= Innenfläche

Das soll animierend wirken, alle Flächen des Zahnes bei der Reinigung zu berücksichtigen. Das prüfende Nachputzen ist allerdings weiterhin die Aufgabe der Eltern.

Häufig wird die ‚Bass-Technik' empfohlen. Dabei wird die Zahnbürste in einem 45° Winkel zur Zahnlängsachse gleichzeitig auf den Zahn und auf die Gingiva

aufgesetzt und es werden senkrecht rüttelnde, leicht kreisende Bewegungen durchgeführt. Demgegenüber steht die ‚Charters-Technik', bei der die Zahnbürste im 45° Winkel von unten an die Gingiva angelegt und mit leicht kreisenden Bewegungen geführt wird. Modifizierungen dieser Techniken findet man in der ‚Stillman-Methode', bei der mit intermitierendem Druck auf die Gingiva, deren Durchblutung gefördert werden soll und mit Putzbewegungen von Rot (Gingiva) nach Weiss (Zahn) die Reinigung erfolgt. Etwas leichter erscheint die ‚Fones-Technik' (Fones 1934), die für Anwender mit weniger manuellem Geschick geeignet ist. Es werden durchgehend mit leicht kreisenden Bewegungen entsprechend der ‚KAI-Technik' der Reihe nach alle Zahnflächen gereinigt.

Auch wenn es auf Grund der Unterschiede des manuellen Geschicks und der Motivation der Probanden schwierig ist, vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, so scheint es dennoch, dass bei gründlicher und gewissenhafter Anwendung keine Methode einer anderen signifikant überlegen ist und dass mit jeder Technik ein akzeptabler Grad der Reinigung erreicht werden kann (Schneidtberger, 2007).

In einer Studie von Imfeld et al. (2000) sind 22 Handzahnbürsten *in-vitro* unter anderem im Hinblick auf ihr Zahnflächenkontaktvermögen bei unterschiedlichen Putzbewegungen getestet worden. Dabei ist zwar belegt worden, dass es Putzbewegungen gibt, die anderen überlegen erscheinen, es aber auch immer auf die Gestaltung der Bürste ankommt. So hat sich im Durchschnitt klar die Tendenz gezeigt, dass eine kreisende Putzbewegung einer horizontalen Bewegung überlegen ist, doch kann mit bestimmten Bürsten ein noch besseres Ergebnis bei vertikalen Putzbewegungen erzielt werden.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt der Zahnputztechnik ist die Putzkraft, mit der gereinigt wird. Zur Verhinderung von ‚Putzläsionen' haben Kramer et al. 1995 eine Putzkraft von 2 N proklamiert. Auch die Forschungsarbeit von Ott et al. (1991), die den Einfluss der Putztechnik auf die Entstehung keilförmiger Deffekte in der Zahnhartsubstanz untersucht, konnte zeigen, dass bei einer Putzkraft von 2 N kein Schmelzdeffekt zu erwarten ist. Darüber hinaus ist durch McCracken et al. 2003 herausgefunden worden, dass eine Putzkraft von über

1,5 N keinen signifikanten Einfluss auf den Erfolg der Reinigungsleistung hat. Eine Putzkraft von über 4 N wirkt sich laut van der Weijden et al. (1998) sogar negativ auf die Reinigungsleistung aus (Staufer 2011; Heipmann 2012). All diesen Überlegungen liegt folgende Formel zu Grunde:

Kraft = Druck x Fläche.

Der Druck, gemessen in Pascal, multipliziert mit der auf dem Zahn aufliegenden Fläche des Borstenfeldes, ergibt die Kraft in Newton, mit der geputzt wird.
Die Putzdauer hat ebenfalls einen Einfluss auf den Reinigungseffekt. Bass bewertet die Technik als ausschlaggebender als die Putzdauer und ist der Meinung, dass 60 Sekunden zu einem guten Ergebnis führen können.
Van der Weijden fand 1998 heraus, das ein Putzdauer von über 30 Sekunden pro Quadrant keinen signifikant besseren Reinigungserfolg bringen würde, somit eine Putzdauer von 2 Minuten angestrebt werden sollte. Diese Zeit wird auch von Herstellern elektrischer Zahnbürsten empfohlen, die in der *in-vitro* Studie von Baldys 2007 im Bezug auf ihre Reinigungseffizienz miteinander verglichen worden sind. Hierbei lag die Besonderheit, dass die Reinigung an einem Phantommodell mit erheblichen Zahnfehlstellungen durchgeführt worden ist. Alle vier Modelle erzielten eine Reinigungsleistung von über 90% bei einem Verbleib von 1,4 sec pro Zahnfläche bei gleichbleibender Putzkraft.

3.6 Plaque-Indices

Mit Hilfe eines Plaque-Index kann die Motivation eines Patienten erfasst und gefördert werden, indem die Plaque- und Zahnsteinausdehnung bestimmt wird und somit Putzerfolge sichtbargemacht werden können.
Des Weiteren zeigen sie dem Patienten die Problembereiche des Gebisses auf und fördern so die Bemühungen des Patienten, sich selbst zu verbessern. (Hellwege 2003).

An einen Plaque-Index, der verlässliche Aussagekraft haben soll, werden folgende Anforderungen gestellt (Hellwig et al. 2007):

- Einfachheit und Reproduzierbarkeit
- rasche, praktische Anwendung und Ausrechnung
- einfache Handhabung auch durch nicht speziell geschulte Zahnärzte bzw. geschultes zahnmedizinisches Fachpersonal

Die meisten Indices errechnen sich nach der Formel:

Index = Summe der Messwerte : Summe der Messorte

Die Beurteilungsmethode lässt sich unterscheiden in eine planimetrische und in eine gravimetrische Methode. Bei der planimetrischen Variante werden angefärbte Plaqueareale klinisch visuell oder per Fotodokumentation ausgewertet. Die gravimetrische Auswertung ermöglicht, das Nass- oder Trockengewicht der Plaque zu bestimmen (Hellwig et al. 2007). Allerdings ist die gravimetrische Methode auf Grund ihres Aufwandes nicht für die Klinik geeignet.
Ein Plaque-Index ist problemorientiert. Die Fragestellung einer Studie ist ausschlaggebend für die Wahl des zu nutzenden Index (Fischman et al. 1986).
Zunächst wird die Plaque durch ein Plaquefärbemittel (Revelator) sichtbar gemacht. Es handelt sich dabei um Lebensmittelfarben wie Erythrosin oder Patentblau V, welche in Form von Lösungen oder Kautabletten anwendbar sind. Nach dem Auftragen lässt man den Patienten kurz ausspülen, anschließend können angefärbte Areale beurteilt werden. Die meisten Indices, die in der Welt der Wissenschaft Anwendung finden, sind auf die Anforderungen eines erwachsenen Probanden oder Patienten ausgerichtet. Wie die beiden im Folgenden aufgeführten Indices, der QHI und der Navy-Plaque-Index.

3.6.1 QHI

Die Auswertung findet nach bestimmten Richtlinien statt. Der später von Turesky et al. (1970) modifizierte Palqueindex nach Quigley und Hein (1962) bewertet den Plaquebefall der koronalen Zahnoberflächen. Erst durch die Modifizierung wird ein größerer Wert auf die Approximalflächen gelegt. Überkronte Zähne sowie dritte Molaren werden nicht berücksichtigt (Fischman et al. 1986, Turesky et al. 1970). Die Bewertungen lassen sich wie folgt unterscheiden:

- Grad 0: keine Plaque
- Grad 1: vereinzelte Plaqueinseln
- Grad 2: deutliche, zusammenhängende, bis zu 1mm breite Plaquelinie am Gingivasaum
- Grad 3: Plaqueausdehnung im zervikalen Zahndrittel
- Grad 4: Plaqueausdehnung bis ins mittlere Zahndrittel
- Grad 5: Plaqueausdehnung bis ins koronale Zahndrittel

Ein Studienbeispiel, in dem dieser Index zum Einsatz kam, liefert unter anderem Swol et al. (1996). In dieser Untersuchung sind Zahnbürsten im Hinblick auf ihre Plaquereduktionseffizienz untersucht worden.
Eine weitere Verfeinerung des Index wurde durch Saxer und Yankell (1997) vorgenommen, indem die Zahnoberfläche in die drei Felder mesial, zentral und distal unterteilt wurden. Anhand dieses Index hat Götzinger 2006 die Reinigungseffizienz zweier elektrischer Zahnbürsten gegenüber einer manuellen Handzahnbürste bei Grundschulkindern getestet. Götzinger bewertet den modifizierten Index positiv und lobt die gesteigerte Aussagekraft.

3.6.2 Navy-Plaque-Index

Zur Anwendung des Navy-Plaque-Index wird der zu untersuchende Zahn in sechs Zonen unterteilt, die dann einzeln bewertet werden. Zunächst unterteilt man den Zahn in drei Bereiche, einen inzisalen, einen mittleren und einen zervikalen Bereich. Der zervikale Bereich wird durch eine gedachte Verbindungslinie der Papillenspitzen begrenzt, die ca. 1 mm koronal des Gingivarandes parallel zu diesem verläuft. Außerdem wird dieser Bereich in drei ca. gleich große Felder (mesial,zentral,distal) unterteilt. Der mittlere Bereich wird in ein mesiales und ein distales Feld aufgeteilt, der sich koronal noch der inzisale Bereich anschließt. Durch diese Aufteilung wird dem gingivanahen und interdentalen Anteil des Zahnes im Vergleich zum inzisalen Anteil eine besondere Bedeutung beigemessen (Elliot et al. 1972, Fischman et al. 1986, Staufer 2011).

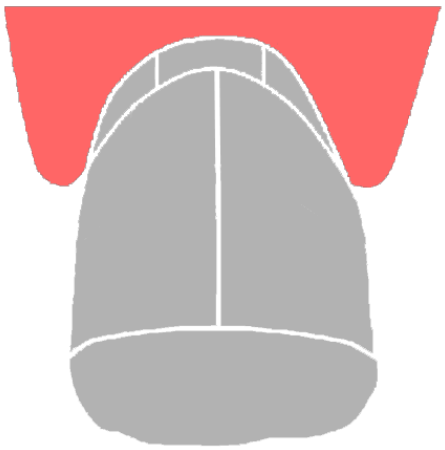

Abb.3.3.: Navy-Plaque-Index nach Elliot et al. 1972

Erst durch die Modifikation des Navy-Plaque-Index, die Rustogi et al. 1992 durchgeführt haben und dabei drei weitere Felder definiert und mit in die

Bewertung aufgenommen haben, erhielt dieser Index Einzug in die kinderzahnmedizinische Forschung.

Durch diese Erweiterung versprach man sich, einen noch aussagekräftigeren Index geschaffen zu haben. Anwendung findet dieser Index unteranderem in den klinischen Studien von Ghassemi et al. (2013) und Borutta (1997). Während Ghassemi et al. in ihrer Studie auf Probanden im Alter von 8-17 Jahren zurückgriff, nutze Borutta ausschließlich Vorschulkinder (4-6 jährig) für ihre Forschung. Daher sind ihre Beobachtungen besonders interessant für diese Studie.

Der gingivanahe Bereich sollte noch weiter unterteilt werden, um die Bereiche, die mit einer höheren Wahrscheinlichkeit von Plaque besiedelt sind, differenzierter beurteilen zu können. Der mittlere Bereich, der bisher aus einem mesialen und einem distalen Feld bestand, wird in die Bereiche unterhalb und überhalb einer gedachten Verbindungslinie der beiden Approximalkontakte geteilt. Der obere Anteil bleibt weiterhin in ein mesiales und distales Feld unterteilt. Der untere Anteil wird in drei Felder aufgeteilt und besteht nun wie der gingivanahe Bereich aus einem mesialen, zentralen und distalen Feld. Auf diese Weise können pro Zahnfläche 9 Felder (A-I) beurteilt werden (Lang et al. 2011).

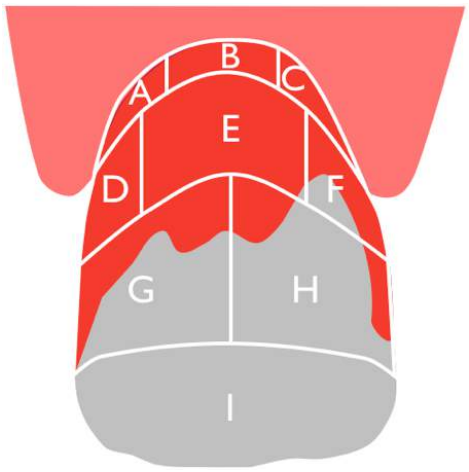

Abb.3.4.: Modifizierter Navy-Plaque-Index mit Planimetrie (Rustogi et al. 1992)

Anwendung hat diese Methode unteranderem in der Studie von Lang et al. (2010) gefunden und sich als aussagekräftig bewiesen. Die Auswertung aller 9 Zonen ist natürlich ziemlich aufwendig und zeitintensiv. Aus diesem Grund nutzte Lang die Fotodokumentation zur Datenerhebung, ebenso Claydon und Addy im Jahr 1995. Hierbei wurde ein planimetrisches Verfahren angewendet und per Fotodokumentation die Plaqueausdehnung aufgenommen und später ausgewertet. Auf diese Weise ist das Problem der mangelhaften Sichtverhältnisse, vor allem im Molarenbereich, umgangen worden. In ihrer Arbeit wurde auch die orale Fläche der Zähne berücksichtigt, so dass man auf 576 Werte bei einem vollbezahnten Probanden kam. Studien, die sich mit der Evaluierung von Mundhygienemitteln auseinandersetzen, greifen gerne auf diesen aussagekräftigen und gut reproduzierbaren Index zurück.

Eine weitere Modifizierung des Navy-Plaque-Indexes ist von Lang et al. (2011) vorgenommen worden. Durch eine quantitative Beurteilung aller neun Felder wird die Aussagekraft des Indexes gesteigert. Die Bewertung jeder Zone wird in die Grade 0-2 ermöglicht und soll genaueren Aufschluss auf die Plaqueausdehnung im bleibenden Gebiss geben. Sollte keine Plaque vorhanden sein, wird die entsprechende Zone mit einer 0 bewertet. Eine Zone, die bis zu 50% mit Plaque belegt ist, ist mit einer 1 zu bewerten. Sollte die Plaqueausdehnung über 50% einer Zone betreffen, wird dies mit einer 2 beurteilt.

3.6.3 Modifizierter Navy-Plaque-Index

Trotz der Erleichterung durch die Fotodokumentation bei einer planimetrischen Auswertung eines Plaqueindex bleibt ein Problem bestehen. Bei Studien, die auf Kinder- und Jugendmundhygiene zielen, kommt es naturgemäß vor, dass auch Wechselgebisse beurteilt werden müssen. Zähne, die erst zur Hälfte oder noch weniger durchgebrochen sind, lassen sich nur sehr schwer reproduzierbar in neun Felder einteilen. Diese Tatsache und fehlende Vorschläge der Literatur,

dieses Problem zu umgehen, waren der Anlass, einen neuen Plaque-Index in Zusammenarbeit mit ‚ORMED - Institute for Oral Medicine at the University of Witten/Herdecke' zu entwickeln. Auf der Basis des Navy-Plaque-Index ist eine erweiterte, modifizierte Variante speziell für Wechselgebisse getestet worden. Bleibende Zähne, die vollständig durchgebrochen sind, werden weiterhin nach dem modifizierten Navy-Plaque-Index nach Lang et al. (2011) bewertet. Milchzähne werden dagegen in insgesamt fünf Felder unterteilt, wobei die Mittellinie der klinischen Krone ermittelt wird. Auf diese Weise erhält man eine gingivanahe Hälfte, die wiederum in drei Bereiche (mesial, zentral, distal) unterteilt wird, und eine inzisale Hälfte, die in ein mesiales und ein distales Feld geteilt wird. Dieselbe Aufteilung wird auch bei bleibenden Zähnen, die bis zu 2/3 eruptiert sind, angewendet (Lang und Gängler 2014). Sollte ein Zahn erst bis zu 1/3 eruptiert sein, wird auch dieser mit in die Bewertung aufgenommen, erfährt aber eine andere Feldereinteilung. Hier wird die gesamte Glattfläche in die drei bewährten Felder mesial, zentral und distal aufgeteilt (Lang et al. 2014).

Die Bewertung erfolgt ebenfalls nach den quantitativen, von Lang et al. (2011) bestimmten Kriterien in die Grade 0-2. Die Maximalwerte betragen demnach für bleibende Zähne 18, für bis zu 2/3 eruptierter Zähne sowie Milchzähne einen Wert von 10 und für bis zu 1/3 eruptierter Zähne einen Wert von 6.

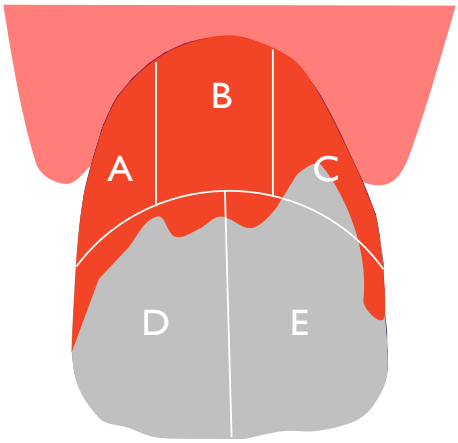

Abb.3.5.: Plaque-Index für Milchzähne oder bis zu 2/3 eruptierter bleibender Zähne.

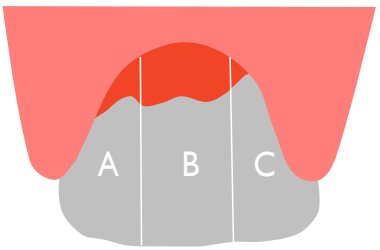

Abb.3.6.: Plaque-Index für bis zu 1/3 eruptierter bleibender Zähne.

4. Material und Methoden

4.1 Probandengut

Nach der Genehmigung des Ethikantrages (Antrag Nr. 27/2012) durch die Ethik-Kommision der Universität Witten/Herdecke konnten an der Cross-Over-Studie 25 Probanden im Alter zwischen 6 und 8 Jahren teilnehmen (11 weibliche und 14 männliche). Bei den Probanden handelte es sich um elternbegleitete Patienten einer spezialisierten kinderzahnärztlichen Niederlassung von Frau Dr. Zehner in Herne, in deren Praxisräumen der klinische Teil der Studie stattfand.

Einschlusskriterien:

- Kariesfreie Milchzahndentition der regio 73-85 oder bis 46
- In präventiver kinderzahnärztlicher Betreuung in der Prüfpraxis sowohl vor als auch nach der klinischen Studie

Ausschlusskriterien:

- Lückige und/oder kariöse Dentition der regio 73-85
- Vorliegen einer behandlungsbedürftigen Allgemeinerkrankung
- Aufwachsen in einer Pflegefamilie
- Anderes Alter als 6-8 Jahre

In einem Schreiben an die Eltern wurde der genaue Ablauf der Studie erläutert und um die Teilnahme geworben.
Wie sich in den Gesprächen mit den jungen Probanden herausstellte, war der Verzicht auf die Zahnpflege für 48 Stunden vor den jeweiligen Untersuchungstagen eine Bedingung, die von den Kindern gerne in Kauf genommen wurde.
Während eines Übungsdurchlaufs wurde der Ablauf der Untersuchungstage festgelegt. Zunächst galt es, die Frage zu klären, welche Position die

Probanden während des Putzvorganges einnehmen sollten. Auf Grund des Alters der Probanden und der dadurch zu erwartenden unterschiedlichen motorischen Fähigkeiten war es nötig, die Reinigung durch den Prüfarzt vornehmen zu lassen. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse möglichst reproduzierbar und unter konstanten Bedingungen erhoben wurden. Um die Probanden nicht durch den ihnen fremden Arzt zu verunsichern, sollte die Reinigung nicht hintereinander stehend durchgeführt werden, sondern *vis-à-vis*. Dabei stellte sich heraus, dass, um eine konstante Putzkraft ausüben zu können, verhindert werden musste, dass die Probanden mit dem Kopf nachgeben konnten. Aus diesem Grund wurde festgelegt, dass die Probanden auf dem ihnen bekannten Zahnarztstuhl liegend vom Prüfarzt die Reinigung erhielten. Vor dem jeweiligen Putzakt ist mit Hilfe eines Unterkiefermodells, das auf einer Waage befestigt war, die Putzkraft auf 1,5 Newton kalibriert und regelmäßig kontrolliert worden. Auf diese Weise war am wahrscheinlichsten mit reproduzierbaren Ergebnissen zu rechnen.

Abb.4.1.: Kalibrierung der Putzkraft auf 1,5 N mit der Kinderhandzahnbürste Signal Junior (Unilever, Hamburg, Deutschland) am Unterkiefermodell (Frasaco, Tettnang, Deutschland) durch den Prüfarzt auf einer Waage.

4.2 Untersuchte Zahnbürsten

Es sind zwei Kinderzahnbürsten getestet worden. Zahnbürste A ist die *Signal Junior* (Unilever, Hamburg, Deutschland) ab 6 Jahren, die über einen schmalen Bürstenkopf mit 31 V-förmig angeordneten Borstenbündeln verfügt. Diese wellige Struktur in der horizontalen Ansicht soll eine gute interdentale Reinigung ermöglichen. Der schmale Bürstenkopf sowie der elastische Übergang vom Bürstenkopf zum Griff soll vor Verletzungen des Zahnfleisches schützen.

Abb.4.2.: Signal Junior (Zahnbürste A) Unilever, Hamburg, Deutschland

Bei Zahnbürste B handelt es sich um ein Produkt von Procter & Gamble (Schwalbach am Taunus, Deutschland): Die *OralB Stage 3* für Kinder zwischen 5 und 7 Jahren. Sie zeichnet sich im Gegensatz zur Zahnbürste A durch eine konkave Anordnung der insgesamt 33 Borstenbündel auf einem etwas kürzeren, dafür aber breiteren Bürstenkopf aus. Von diesem schalenförmigen Borstenfeld verspricht sich der Hersteller ein besseres

Zahnflächenkontaktvermögen zur optimalen Reinigung. Außerdem befindet sich am vorderen Ende des Borstenfeldes eine Anordnung von 7 Bündeln, die den sogenannten *Powertip* darstellen und einem besseren Erreichen der in diesem Alter durchbrechenden Molaren dienen soll.

Abb.4.3.: OralB Stage 3 (Zahnbürste B) Procter & Gamble, Schwalbach am Taunus, Deutschland

Beiden Zahnbürsten ist ein individuelles Bürstengriffdesign eigen, das durch Einarbeitung von Gummielementen das Abrutschen beim Putzen verhindern und eine möglichst angenehme Anwendung für die Kinder ermöglichen soll.

4.3 Dokumentation

Der Fotostatus ist mit der intraoralen Kamera *SoproLife* aus dem Hause Acteon (Mettmann, Deutschland), das freundlicherweise die nötige Software zur Verfügung gestellt hat, aufgenommen worden. Die Kamera verfügt über eine Auflösung von (752 x 582) PAL, (768 X 494) NTSC und einen Bildsensor 1/4" CCD mit hoher Lichtempfindlichkeit. Vier im Kopf der Kamera installierte LED's dienen als Lichtquelle.

Die Zähne 73-85 oder gegebenenfalls 46 sind sowohl von vestibulär als auch von lingual fotografiert und archiviert worden. Während der Dokumentation assistierte der Begleiter des Probanden und bediente den Auslöser, um ein Verwackeln der Bilder zu verhindern.

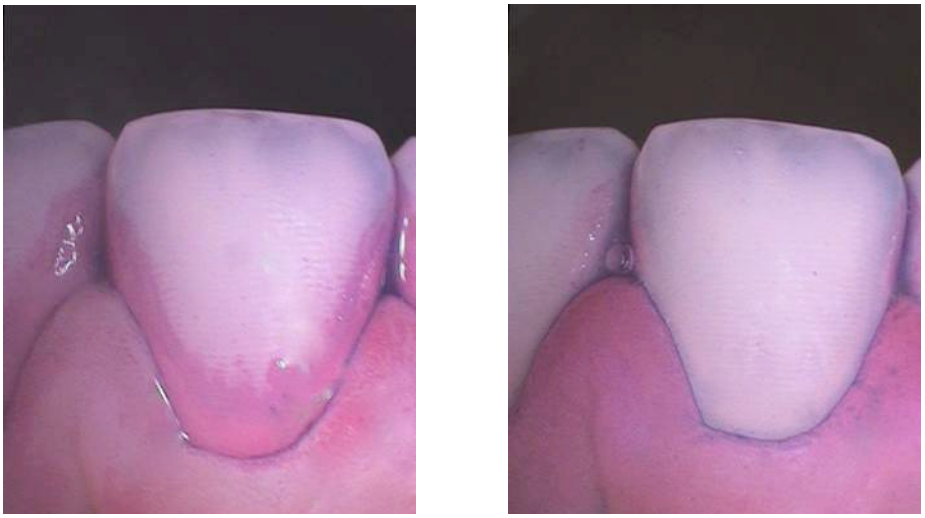

Abb.4.4.: Der Zahn 71 des Probanden 22. Links nach 48 h Mundhygienekarenz und rechts nach der Reinigung mit der Zahnbürste A.

Abb.4.5.: Der Zahn 73 des Probanden 25. Links nach 48 h Mundhygienekarenz und rechts nach der Reinigung mit der Zahnbürste B.

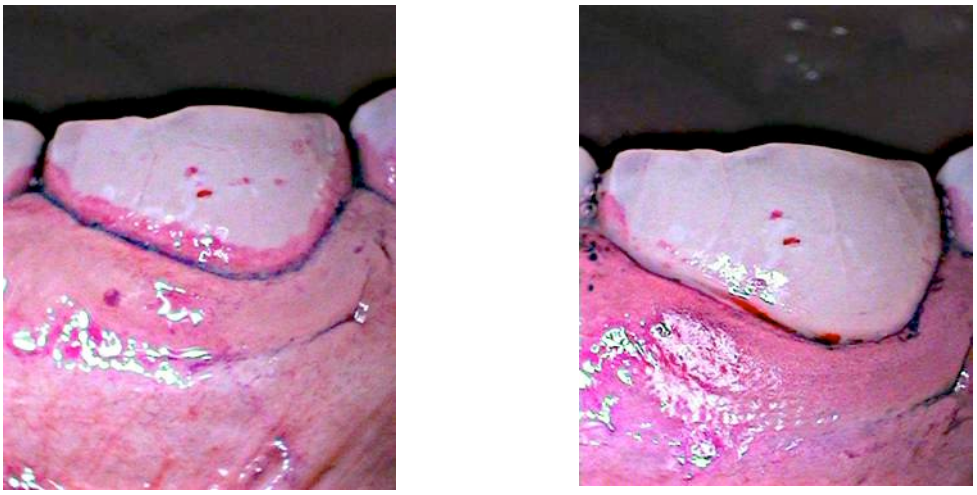

Abb.4.6.: Der Zahn 84 des Probanden 11. Links nach 48 h Mundhygienekarenz und rechts nach der Reinigung mit der Zahnbürste B.

Abb.4.7.: Der Zahn 46 des Probanden 23. Links nach 48 h Mundhygienekarenz und rechts nach der Reinigung mit der Zahnbürste A.

4.4 Ablauf der Studie

Nachdem sich die Probanden für die Farbe ihrer Zahnbürste entschieden hatten, ist die Plaqueausdehnung mit einer in Plaquerevelator Mira-2-Ton® (Hager & Werken GmbH & Co. KG, Duisburg, Deutschland) getränkten Wattekugel angefärbt worden. Mit einem kleinen Schluck kaltem Wasser mussten die Probanden anschließend ausspülen.
Nach der erfolgten Fotodokumentation wurde die Reinigung durch den Prüfarzt vorgenommen. Parallel lief ein Putzvideo, das mit einem eingängigen Lied untermalt die zeitliche Orientierung fördern sollte. Das Video zeigt den Putzvorgang an einem Unterkiefermodell und soll die Dauer, die Technik und die Reihenfolge, in der die Zähne gereinigt werden sollen, zeigen.

Zwei horizontale Putztbewegungen von mesial nach distal und zurück sind innerhalb von zwei Sekunden pro Zahnfläche ausgeführt worden. Bei einem Probanden, der von 73 bis 46 voll bezahnt ist, bedeutet dies eine Putzdauer

von 18 Sekunden für die vestibulären und 18 Sekunden für die lingualen Flächen.

Die Reinigung ist immer durch den selben Prüfarzt durchgeführt worden, um einen Trainingseffekt der Probanden auszuschließen. Vor jedem Putzakt ist wie in 4.1. beschrieben die Putzkraft auf 1,5 N kalibriert worden. Begonnen wurde vestibulär am Zahn 46. Die Zahnbürste ist mit einem Anstellwinkel von 90° zur Zahnoberfläche von mesial nach distal und zurück geführt worden. Nach der Reinigung des Zahnes 83 musste die Zahnbürste umgesetzt werden, um die Front bis zum Zahn 73 putzen zu können. Anschließend wurden die lingualen Flächen gereinigt, ebenfalls beginnend am 46. Zur Reinigung der lingualen Fläche der Unterkieferfront (83-73) ist die Zahnbürste mit vertikalen Putzbewegungen von inzisal nach zervikal und zurück geführt worden.

Um eine genaue Aussage über den Putzerfolg geben zu können, wurde anschließend erneut angefärbt und ausgespült. Auf diese Weise sollte verhindert werden, dass nur oberflächlich entfernte Plaque als komplett gereinigt Fläche bewertet würde. Im zweiten Durchgang der Fotodokumentation ist ebenfalls jeder Zahn einzeln von vestibulär und lingual aufgenommen worden.

Die Probanden wurden am Ende des Termins noch einmal gebeten, die übliche Mundhygiene wieder aufzunehmen. Frühstens nach einer zweiwöchigen Wash-out-Phase schloss sich der zweite Untersuchungszyklus an, so dass an allen Probanden beide Kinderzahnbürsten getestet werden konnten.

4.5 Kalibrierung des Untersuchers

Im Anschluss an die Datenerhebung wurde die einfach verblindete Auswertung der Fotostaten durchgeführt. Hierzu wurde für bleibende, komplett durchgebrochene Zähne (Zahn 46) der Index nach Claydon und Addy (1995) in der modifizierten Variante (Navy-Plaque-Index mit Planimetrie) nach Rustogi et al. (1992) herangezogen. Dabei wird die zu untersuchende Zahnfläche in neun Felder unterteilt (A-I), wobei die Größe der Felder mit steigender

Wahrscheinlichkeit des Plaquebefalls abnimmt. Eine weitere Modifizierung dieses Index geht auf Lang et. al (2011) zurück und betrifft die Auswertung. Ist ein Feld mit Plaque befallen, so wurde es positiv (folglich mit 1) bewertet, ohne die Quantität zu berückichtigen. Nach Lang et. al (2011) werden die einzelnen Felder genauer beurteilt, indem man einen Befall von über 50% eines Feldes mit 2 und unter 50% mit 1 bewertet. Sollte ein Feld keine Plaque aufweisen, ist diese mit einer 0 zu bewerten. Dadurch wird die Aussagekraft des Index erhöht. Für bleibende Zähne, die bis zu 2/3 eruptiert sind, sowie Milchzähne gilt eine andere Feldaufteilung. Die klinische Krone wird halbiert und in drei gingivanahe Felder (mesial, zentral, distal) und zwei inzisale Felder (mesial, distal) aufgeteilt. Bleibende Zähne, die bis zu 1/3 eruptiert sind, werden in drei Felder (mesial, zentral, distal) unterteilt.

Anatomische Bezugspunkte für die Einteilung der Plaquefelder sind:

- Gingivaler Sulkus
- Approximaler Kontaktpunkt
- Vertikale Mittellinie
- Horizontale Mittellinie
- Anatomischer Äquator

Zahn 71 vestibulär		
na		
1		1
na	na	na
2	2	2
8		

Abb.4.8.: Zahn 71 des Probanden 22 nach 48 h Mundhygienekarenz und die passende Auswertung nach dem modifizierten Plaquindex nach Lang und Gängler (2014).

4.6 Indexierung der klinischen Untersuchung

Die Datenauswertung fand ausschließlich an einem MacBook Pro, (Apple, Cupertino, CA, USA) mit dem Bildbearbeitungs- und Archivierungsprogramm SOPRO-Imaging (Acteon, Mettmann, Deutschland) statt. Dadurch sollte eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden. Die Befunde wurden tabellarisch festgehalten (Programm Excel).

4.7 Übertragung auf den Zahnputzroboter

Die Untersuchungen im Labor wurden am 6-Achsen Industrie-Roboter FS 02N (Kawasaki, Kobe, Japan) vorgenommen. Um die Putzleistung zu testen, wurde der Roboter auf die nötigen Parameter eingestellt. Der Unterkiefer als Zahnträger mit den dazugehörigen Kunststoffzähnen der Firma Frasaco (Tettnang, Deutschland) simulierte eine physiologische Milchgebisssituation.

Die Programmierung des Putzroboters auf das künstliche Milchzahnmodell wurde zur schwierigsten Herausforderung bei der Labordatenerhebung. Durch das geringe Platzangebot des kleinen Kiefermodells wurde die ohnehin zeitintensive Programmierung noch erschwert. Zunächst musste die ideale Position der sechs vom Roboter angebotenen Achsen festgelegt werden, damit sämtliche Zähne vom Arm des Roboters erreicht werden konnten. Dafür wurde der Zahnflächenmittelpunkt jedes Zahnes festgelegt, um den herum die Putzbewegungen programmiert wurden. Dabei wären alle erwünschten Bewegungen denkbar, von horizontalen bis hin zu rotierenden oder rüttelnden Zahnputzbewegungen.

Bei der Programmierung des Roboters ist durch die unterschiedliche Anordnung der Borsten beider Kinderhandzahnbürsten ein Problem aufgetreten. Die in der klinischen Untersuchung angewendete Putzkraft von 1,5 N ist in der Laboruntersuchung nur für die Signal problemlos zu übernehmen. Bei der OralB haben bei dieser Kraft nur ca. 25% der Borsten Kontakt zum Zahn. Die konkave Anordnung der Borsten und vor allem der *powertip* an der Spitze des Borstenfeldes verhindern hier ein besseres Resultat. Unter Berücksichtigung der Formel: **Kraft= Druck x Fläche,** wurde, um 100% der Borstenfläche in die Untersuchung einbinden zu können, die Putzkraft ebenfalls mit vier multipliziert und somit auf 6 N erhöht. Auf diese Weise ließ sich Kontakt zwischen dem gesamten Borstenfeld und dem Zahn herstellen.

Bevor die Zähne des Kiefermodells durch einen Färbungs- und Trocknungs-Apparat mit einer roten simulierten Plaqueschicht bedeckt wurden, mussten diese zunächst mit Isopropylalkohol gesäubert werden.

Nach der siebenminütigen Trocknungsphase im Anschluss an die Färbung folgte die Putzphase durch den Roboter.
Hierzu fuhr der Roboter jeden einzelnen zuvor programmierten Zahnmittelpunkt an und führte die gewünschten Zahnputzbewegungen aus.
Es wurden beide Zahnbürsten aus der klinischen Versuchsreihe jeweils siebenmal getestet. Dabei wurden sowohl die vestibulären als auch die lingualen Flächen der Prüfzähne berücksichtigt. Nach Abschluss der jeweiligen Putzphase wurden die künstlichen Milchzähne einzeln durch die automatisierte Plaque Planimetrie (APP nach Gängler et al. 2013) bildlich erfasst und ausgewertet.

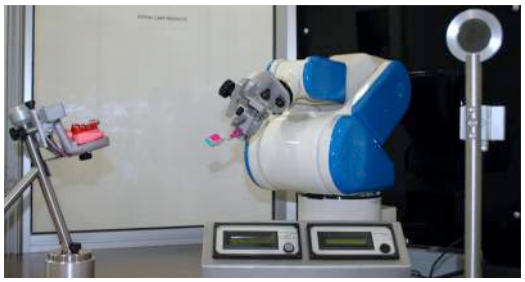

Abb.4.9.: 6-Achsen Industrie-Roboter FS 02N (Kawasaki, Kobe, Japan)

4.8 Indexierung der Labordaten

Die Auswertung der Labortestergebnisse wurde durch Automatisierte-Plaque-Planimetrie (APP) durchgeführt. Hierfür wurden die Zähne 73-46 in einer speziellen Vorrichtung fixiert. Diese computergesteuerte Spezialhalterung besteht aus einer Dunkelkammer, verfügt über digitale Fotografie und eine Analysesoftware, welche in der Lage ist, die gesamte Fläche der Zähne zu scannen. Anschließend wurden ‚Masken' des modifizierten Plaque-Indexes nach Lang und Gängler entsprechend digital auf die gescannte Zahnoberfläche

projiziert und grenzten somit den zu beurteilenden Bereich ein. Die Software ist in der Lage, die auf dem Zahn verbliebene simulierte Plaqueschicht in Pixelpunkte zu übertragen und ermöglicht somit eine prozentuale Errechnung des Reinigungserfolges. Hierbei könnten auch die interdentalen Zahnflächen berücksichtigt werden (siehe Abb.4.13.), auch wenn es für die vorliegende Studie keine Relevanz hat.

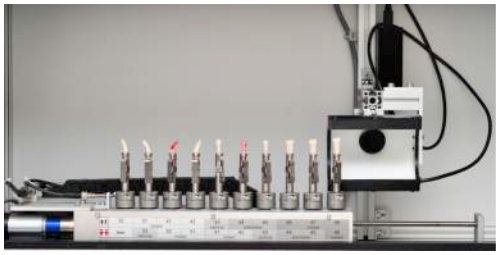

Abb.4.10.: Automatische Plaque Planimetrie (APP) (Gaengler et al. 2013)

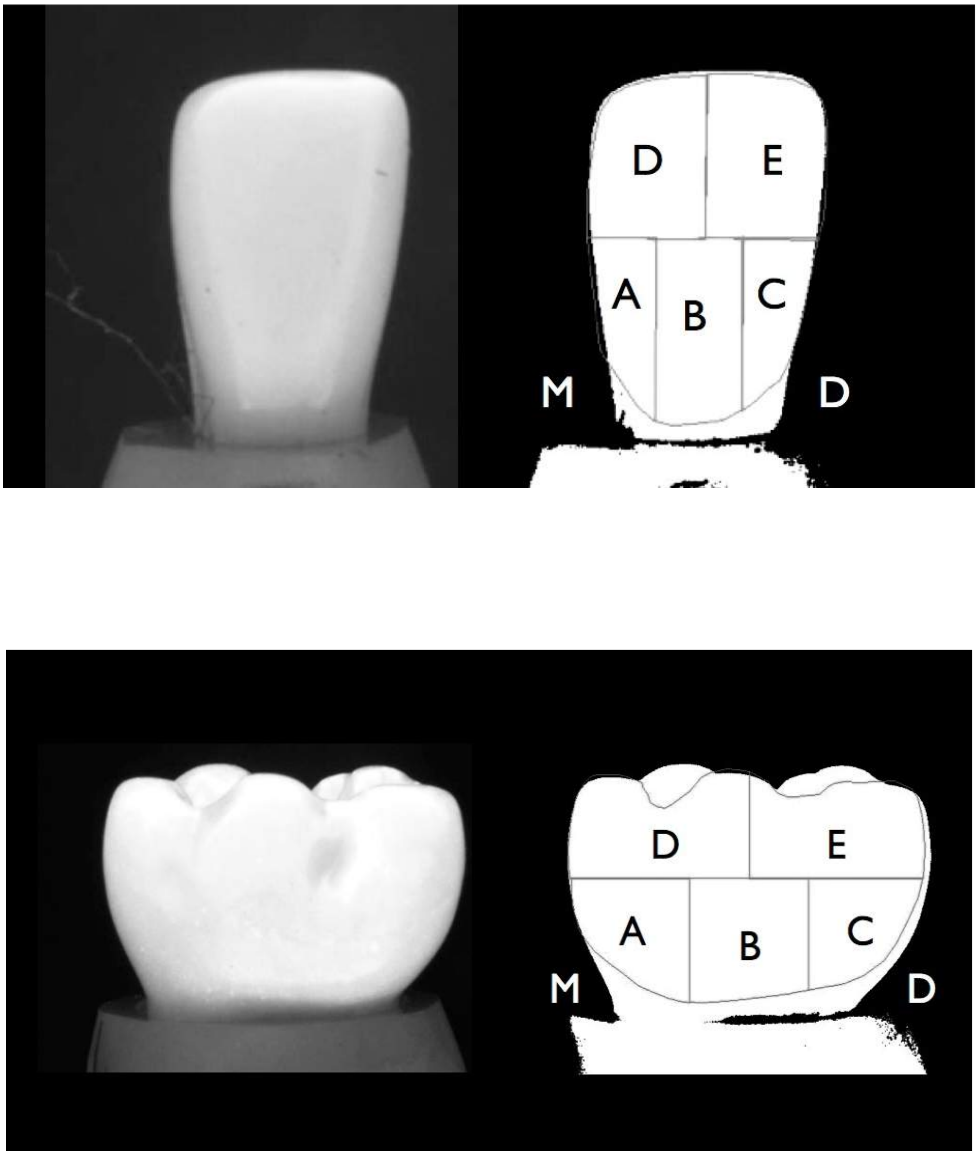

Abb.4.11.: Planimetrische Felder (A-D) auf die bukkale Fläche eines Milchfrontzahnes und eines Milchmolar projiziert. M= mesial; D= distal (Lang et al. 2014).

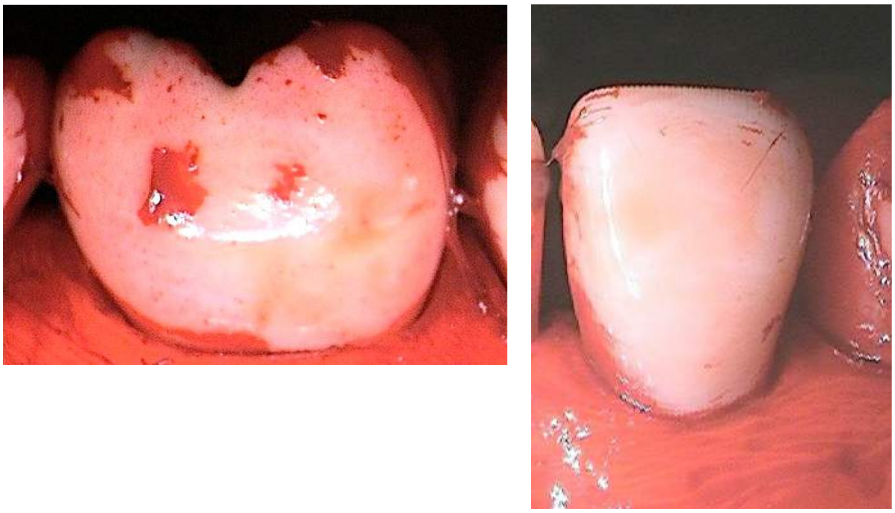

Abb.4.12.: Frasaccozähne (links: Milchmolar, rechts: Milchfrontzahn) nach der Zahnreinigung durch den Putzroboter. (Lang et al. 2014).

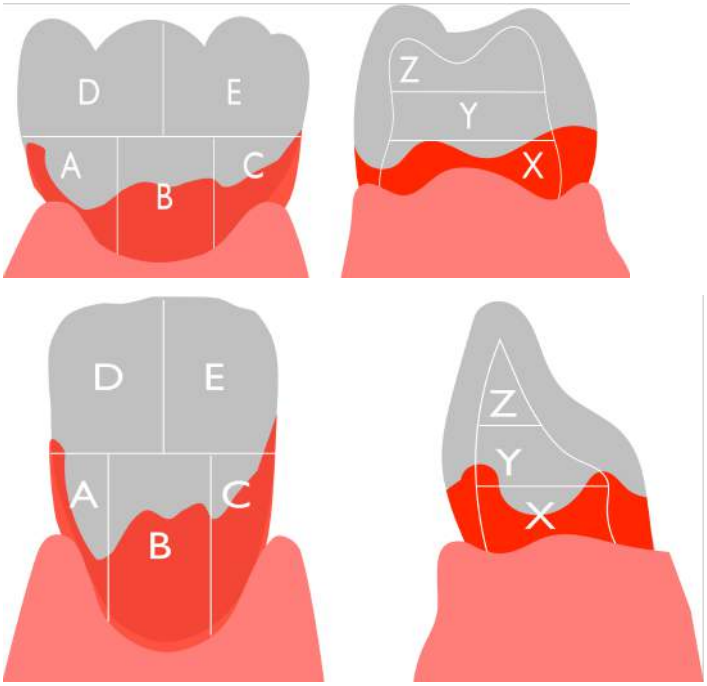

Abb.4.13.: Planimetrische Felder auf der bukkalen Fläche eines Milchmolaren, bzw. Milchfrontzahnes (A-D) und auf der interdentalen Fläche (X-Z)

4.9 Statistische Auswertung

4.9.1 Klinische Untersuchung

Die aus der klinischen Untersuchung gewonnenen Bilder, wurden vom Prüfarzt einzeln am Computer ausgewertet. Den zuvor beschriebenen anatomischen Grundlagen folgend wurde jede der zu beurteilenden Zahnflächen in ihre planimetrischen Felder unterteilt und bewertet.
Bei acht Zähnen, (72-85 und 46), à 5 Werte pro Milchzahnfläche bzw. 9 Werte beim Zahn 46 pro Fläche, unter Berücksichtigung der lingualen und der bukkalen Fläche der Zähne waren bei einer idealen Bezahnung max. 88 planimetrische Felder pro Proband und Durchgang zu beurteilen.
In die Auswertung gingen nur die planimetrischen Felder ein, die zu Beginn der Untersuchung einen Plaquebefall von PI=1 oder PI=2 aufwiesen. An Feldern, die bereits zu Beginn der Untersuchung keinen Plaquebefall vorwiesen, konnte auch keine Plaquebeseitigung durch eine Zahnbürste gemessen werden. Aus diesem Grund sind Felder mit PI=0 vor der Reinigung aus den Untersuchungen ausgeschlossen worden. Durch die Anzahl der Felder, an denen eine Reduktion des Plaquebefalls durch den Reinigungsvorgang nachgewiesen werden konnte, ließ sich der prozentuale Erfolg einer Zahnbürste errechnen, indem sie mit dem maximal möglichen Erfolg verglichen wurde.

4.9.2 Laboruntersuchung

Entsprechend der klinischen Untersuchung waren die Zähne 72-85 und 46 Gegenstand der Laboruntersuchungen. Diese Zähne wurden vollständig mit einer simulierten Plaqueschicht präpariert. Nach der Reinigung durch den Roboter lieferte die automatisierte Plaque Planimetrie (APP nach Gängler et al. 2013) einen prozentualen Wert, der den jeweiligen Reinigungserfolg eines Putzvorganges an einem der jeweils 5 oder 9 planimetrischen Feldern angibt.

Beide Zahnbürsten sind jeweils siebenmal getestet worden. Somit konnten durchschnittliche Reinigungsergebnisse der jeweiligen Zahnbürste errechnet werden und der Reinigungserfolg an unterschiedlichen Zahnflächen miteinander verglichen werden. Auf diese Weise können die Eigenschaften einer Zahnbürste genau untersucht und eventuelle Schwachstellen demaskiert werden.

4.9.3 Statistische Methoden

Sowohl in der klinischen Untersuchung als auch bei der Laboruntersuchung fielen intervallskalierte Variablen an, die mittels t-Test statistisch miteinander verglichen werden konnten. Da bei der Laboruntersuchung nur eine relativ kleine Fallgröße (n=7) zur Verfügung stand, musste eine Normalverteilung der Stichprobe unterstellt werden, um einen t-Test durchführen zu können. Nach Anwendung des Jarque-Bera-Testes zeigt sich im Ergebnis, ob auf einem 5%igen Signifikanzniveau das Vorliegen normalverteilter Daten bestätigt werden kann. Darüber hinaus lagen innerhalb des Vergleichs der Daten aus klinischer und Laboruntersuchung signifikant unterschiedliche Stichprobengrößen der gebildeten Untergruppen als auch signifikant unterschiedliche Varianzen vor. Aus diesem Grund fand der modifizierte ‚t-Test' nach Satterthwaite-Welch Anwendung, der dieses Problem näherungsweise berichtigt.

Die Mittelwertvergleiche wurden anhand eines doppelseitigen t-Testes durchgeführt, wobei die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit die Nullhypothese betreffend auf die allgemeingültige 5% Grenze festgelegt wurde. Um die Ergebnisse doppelt abzusichern, wurden auch die parameterfreien Mann-Whitney-U- respektive Wilcoxon-Tests hinsichtlich des Medians durchgeführt. Somit wurde hinsichtlich der Mittelwerte und Medianwerte auf signifikante Unterschiede geschlossen, wenn beide Tests auf 5%igem Signifikanzniveau zur Ablehnung der Nullhypothese gleicher Werte führten.

5. Ergebnisse

Die Resultate aus der klinischen Untersuchung und der Laboruntersuchung werden im folgenden Kapitel ausgewertet und miteinander verglichen.

5.1 Klinische Daten

Die folgende Abbildung gibt den allgemeinen Putzerfolg wieder, der mit den beiden untersuchten Zahnbürsten in der klinischen Untersuchung zu erreichen war. Die Kastengrafik gibt den gesamten Reinigungserfolg wieder, der durch die 25 Probanden erzielt worden ist. Hierzu wurden alle planimetrischen Felder zusammen betrachtet (maximal 88 pro Proband und Durchgang) und der durchschnittliche Reinigungserfolg dargestellt.

Die Reinigungsleistung beider Zahnbürsten im klinisch kontrollierten Test stellte sich mit keinem signifikanten Unterschied dar. Die Ergebnisdarstellung der Zahnbürste von Signal zeigt eine etwas längere Box, was für ein breiteres Resultat spricht. Die Hälfte der gemessenen Werte liegen also etwas weiter auseinander als bei der Zahnbürste von OralB, der man dadurch einen gering konstanteren Erfolg zuschreiben könnte. Allerdings ist bei der Untersuchung der OralB Zahnbürste ein Ausreißer aufgetreten, der außerhalb des 1,5 fachen Interquartilabstandes liegt und als ‚milder' Ausreißer einzustufen ist. Dieser Wert wurde von der Auswertung ausgeschlossen.

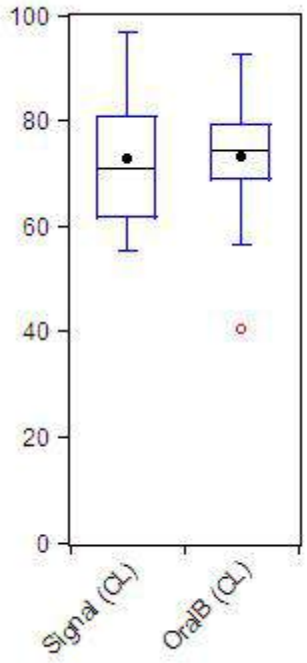

Abb.5.1.: Prozentuale Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten Signal und OralB (klinische Studie, gesamt)

Anzahl der Probanden n=25. (CL): klinische Studie. Die jeweilige Box gibt den Bereich wieder, in dem 50% der gemessenen Werte liegen. Die Linie durch diese Box stellt den Median dar, der die Anzahl der gemessenen Werte in zwei gleich große Hälften einteilt. Der Mittelwert ist durch den schwarzen Punkt gekennzeichnet. Die Antennen reichen auf beiden Seiten zu den entferntesten Werten, die innerhalb der 1,5 fachen Distanz der Boxlänge (Interquartilabstand), von der Box weg gemessen, liegen müssen. Andernfalls spricht man von Ausreißern, die gesondert beachtet werden. Ausreißer werden nach ihrer Lage in ‚milde' und ‚extreme' Ausreißer eingeteilt. Sollte ihre Lage innerhalb des 1,5 bis 3 fachen Interquartilabstandes zur Box entsprechen, werden diese als ‚milde' Ausreißer eingestuft. Werte, die darüber liegen sind als ‚extreme' Ausreißer zu behandeln.

Der Vergleich beider Zahnbürsten führt zu folgenden tabellarisch aufgeführten Ergebnissen.

Tabelle 5.1: Effizienzvergleich der Zahnbürsten (klinische Studie gesamt), Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten. Statistische Tests: Standard-t-test, WILCOXON-test, sowie prob-test zur Darstellung des Signifikanzniveaus der geschätzten Testergebnisse, (sign. p=0,05) Darstellung des Signifikanzniveaus.

	Signal	***OralB***	**Test**	**prob (test)**	**sign. (p=0,05)**
Mittelwert	73,02	74,91	t=-0,65	0,52	Nein
Medianwert	71,19	74,59	W=0,96	0,34	Nein

Erläuterung: Anzahl an Durchläufen: Signal: n=25, OralB: n=24. Mittelwert: das durchschnittlich erreichte Ergebnis, Medianwert: teilt die Anzahl aller gemessenen Werte in zwei gleich große Häften, t-test: Standard-t-test des Mittelwerts. W-test: WILCOXON-test der Medianwerte. Prob(test): Signifikanzniveau der erwarteten Testergebnisse. Sign. (p=0,05)= ja (nein): die Nullhypothese gleicher Mittelwerte und Medianwerte kann (nicht) auf einem Signifikanzniveau von 5% abgelehnt werden.

Die erzielten Mittelwerte werden anhand des doppelseitigen t-Tests miteinander verglichen, wobei die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit die Nullhypothese betreffend auf die allgemeingültige 5% Grenze festgelegt worden ist. Um die Ergebnisse doppelt abzusichern, werden auch die parameterfreien Mann-Whitney-U- respektive Wilcoxon-Tests hinsichtlich des Medians durchgeführt. Somit wurde unter Betrachtung der Mittelwerte und der Medianwerte auf signifikante Unterschiede geschlossen, wenn beide Tests auf 5%igem Signifikanzniveau zur Ablehnung der Nullhypothese gleicher Werte führten.

In der klinischen Untersuchung fällt dabei kein signifikanter Unterschied der beiden untersuchten Zahnbürsten im Hinblick auf ihren Reinigungserfolg auf. Die OralB Zahnbürste reinigt durchschnittlich mit 74,91% um 1,89% besser als die Signal Zahnbürste, was keinen signifikanten Unterschied ausmacht. Auch die Medianwerte unterscheiden sich in keinem signifikanten Maße.

5.2 Labordaten

Die folgende Abbildung faßt den durchschnittlichen Reinigungserfolg der beiden untersuchten Zahnbürsten aus der Laboruntersuchung zusammen. Hierzu wurden die Ergebnisse der 7 Putzzyklen, die durch die APP errechnet wurden, zur Darstellung in der Kastengrafik verwendet. Auch in der Laboruntersuchung fielen maximal 88 auszuwertende planimetrische Felder an.

Die dargestellten Laborergebnisse zeigen einen etwas unterschiedlichen Reinigungserfolges beider Zahnbürsten.
Die Ergebnissen der Zahnbürste von OralB sind positiver als die der Signal-Zahnbürste und es ist erneut eine konstantere Leistung der OralB-Zahnbürste zu erkennen. Allerdings fällt ein ‚extremer' Ausreißer auf, der für die statistische Auswertung nicht berücksichtigt wurde.

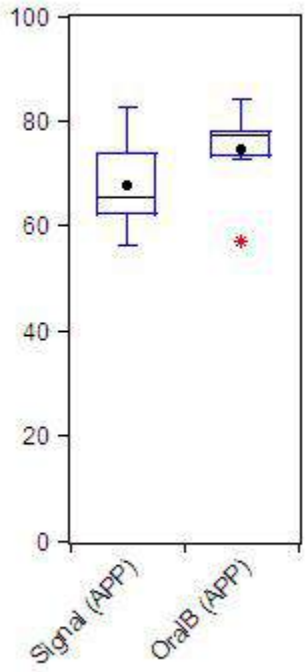

Abb.5.2: Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten (Laboruntersuchung, gesamt)

Anzahl der Putzzyklen n=7. (APP): Automatisierte Plaque Planimetrie.

Tabelle 5.2: Effizienzvergleich der Zahnbürsten (Laboruntersuchung gesamt) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten. Statistische Tests: Standard-t-test, WILCOXON-test, sowie prob-test zur Darstellung des Signifikanzniveaus der geschätzten Testergebnisse, (sign. p=0,05) Darstellung des Signifikanzniveaus.

	Signal	***OralB***	**Test**	**prob (test)**	**sign. (p=0,05)**
Mittelwert	67,85	77,60	t=2,48	0,03	ja
Medianwert	65,74	77,57	U=1,93	0,05	Nein

Erläuterung: Anzahl an Durchläufen: Signal: n=25, OralB: n=24. Mittelwert: das durchschnittlich erreichte Ergebnis, Medianwert: teilt die Anzahl aller gemessenen Werte in zwei gleich große Häften, t-test: Standard-t-test des Mittelwerts. W-test: WILCOXON-test der Medianwerte. Prob(test): Signifikanzniveau der erwarteten Testergebnisse. Sign. (p=0,05)= ja (nein): die Nullhypothese gleicher Mittelwerte und Medianwerte kann (nicht) auf einem Signifikanzniveau von 5% abgelehnt werden.

Im Gegensatz zur klinischen Untersuchung zeigen die beiden Zahnbürsten in der Roboterstudie einen signifikanten Unterschied ihren Reinigungserfolg betreffend. Der Vergleich der Mittelwerte führt zu dem Ergebnis, dass die Nullhypothese gleicher Mittelwerte auf 5% Signifikanzniveau abgelehnt werden kann. Die OralB-Zahnbürste reinigt somit signifikant besser als die Signal. Die Medianwerte sind aufgrund einer geringfügigen Überschreitung der 5% Grenze hier nicht signifikant von einander unterschiedlich, somit kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden. Dennoch weichen die Ergebnisse der Roboterstudie

klar von denen der klinischen Studie ab. Die folgenden Analysen verfolgen somit das Ziel, die Gründe für diese Abweichung zu identifizieren.

5.3 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der lingualen Flächen

Um das unterschiedliche Abschneiden der beiden Zahnbürsten genauer zu untersuchen, werden im Folgenden die erzielten Ergebnisse der beiden Zahnbürsten auf den lingualen Flächen miteinander verglichen. Bei der Betrachtung des durchschnittlichen Reinigungserfolges der beiden Zahnbürsten auf den lingualen Flächen, sind die Zähne 71 bis 85 und der Zahn 46 berücksichtigt worden. Abbildung 5.3 vergleicht den durchschnittlichen Reinigungserfolg aus der klinischen Untersuchung mit dem durchschnittlichen Reinigungserfolg in der Laboruntersuchung.

Weder in der klinischen Studie noch in der Roboterstudie ist ein signifikanter Unterschied im Reinigungserfolg der Zahnbürsten von Signal und OralB auszumachen. Allerdings fällt auf, dass im Vergleich zu den Ergebnissen der klinischen Untersuchung die gemessenen Werte aus der Laboruntersuchung deutlich näher beieinander liegen. Dies spricht für ein reproduzierbareres Ergebnis. Diese Tatsache ist den individuellen Unterschieden der Probanden aus der klinischen Studie geschuldet. Die unterschiedliche Speichelproduktion, die feinen Unterschiede der Zahnstellung und auch die nicht zu überprüfende *compliance* während der Hygienekarenz- und Wash-out-Phasen.

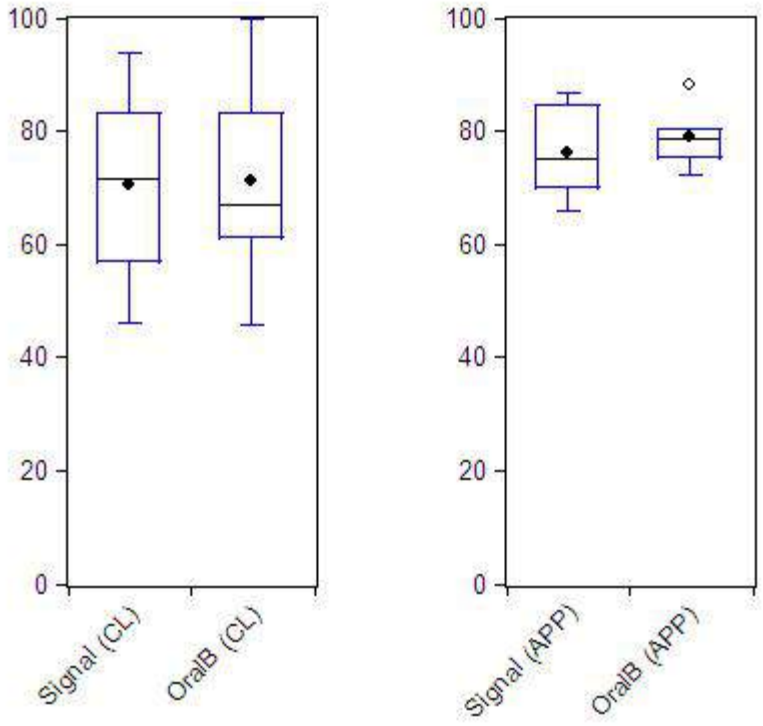

Abb.5.3: Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung der lingualen Flächen)

Anzahl der Durchläufe: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24, Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6

Die beiden Tabellen 5.3.1 und 5.3.2 zeigen zentrale Tendenzen auf sowie die Ergebnisse der statistischen Tests, den Reinigungserfolg der beiden Zahnbürsten auf den lingualen Flächen der Zähne 71 bis 85 und 46 betreffend.

Tabelle 5.3.1: Tendenz des Effizienzvergleichs der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, linguale Flächen) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten.

	***Signal* (CL)**	***OralB* (CL)**	***Signal* (APP)**	***OralB* (APP)**
Mittelwert	70,64	71,52	76,39	79,03
Medianwert	71,88	67,20	75,21	78,74

Erläuterung: Anzahl der Probanden (CL): Signal: n=25, OralB: n=24. Anzahl der Putzzyklen (APP): Signal: n=7, OralB: n=6. (CL): klinische Studie. (APP): Roboter Studie.

Die Mittel- und Medianwerte des Effizienzvergleichs aus beiden Testungen, die lingualen Flächen betreffend, ergeben keinen signifikanten Unterschied, da sie maximal nur mit 4,66% auseinander liegen.

Tabelle 5.3.2: Effizienzvergleich der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, linguale Flächen) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten. Statistische Tests: Standard-t-test, WILCOXON-test, sowie prob-test zur Darstellung des Signifikanzniveaus der geschätzten Testergebnisse, (sign. p=0,05) Darstellung des Signifikanzniveaus.

	***Signal* (CL)**	***OralB* (CL)**	***Signal* (APP)**	***OralB* (APP)**	**Test**	**prob (test)**	**sign. (p=0,05)**
Mittelwert	x	x			t=-0,21	0,84	Nein
Medianwert	x	x			W=0,10	0,92	Nein
Mittelwert			x	x	t=0,67	0,52	Nein
Medianwert			x	x	U=0,93	0,35	Nein
Mittelwert	x		x		t=-1,27	0,23	Nein
Medianwert	x		x		U=0,96	0,34	Nein
Mittelwert		x		x	t=1,14	0,27	Nein
Medianwert		x		x	U=0,91	0,36	Nein

Erläuterung: Anzahl an Probanden: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24. Anzahl der Putzzyklen: Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6. (CL): klinische Untersuchung. (APP): Laboruntersuchung. X: getesteten Variablen. T-Test: Standard-/SATTERTHWAITE-WELCH-t-test der Mittelwerte-Werte. U-test: MANN/WHITNEY-U-test der Median-Werte. W-test: WILCOXON-test der Median-Werte. Prob(test): Signifikanzlevel der geschätzten Testergebnisse. Sign. (p=0.05)= nein: die Nullhypothese eines gleichen Mittel-/Medianwert einer Serie kann nicht abgewiesen werden bei einem Signifikanzlevel von 5%.

Die Mittelwertvergleiche hinsichtlich Median und Mittelwert der klinischen Studie und der Laboruntersuchung führen zu dem gleichen Ergebnis: Es besteht kein signifikanter Unterschied im Reinigungserfolg der lingualen Zahnflächen durch die Zahnbürsten von Signal und OralB. Darüberhinaus fällt auf, dass kein signifikanter Unterschied in der Plaquentfernung unter klinischen Bedingungen oder im Labor aufgetreten ist. Somit ist die robotergestützte Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten an lingualen Flächen eines Milchzahngebisses validiert.

5.4 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der bukkalen Flächen

Zur Beurteilung des Reinigungserfolges der bukkalen Flächen ist die durchschnittliche Plaqueentfernung für die Zähne 71 bis 85 berechnet worden. Abbildung 5.4 zeigt den durchschnittlichen Reinigungserfolg in Prozent aus der klinischen sowie der Laboruntersuchung.

Auffallend ist, dass in der Laboruntersuchung der Reinigungserfolg der Signal Zahnbürste auf den bukkalen Flächen, zu einem deutlich schlechteren Ergebnis kommt als die OralB Zahnbürste. Darüber hinaus unterscheiden sich ebenso negativ die Ergebnisse zur Signal Zahnbürste resultierend aus der Laboruntersuchung und der klinischen Studie. Im klinischen Vergleich unterscheiden sich die erzielten Ergebnisse der beiden Zahnbürsten in keinem signifikanten Maß. Jedoch ist die Signal Zahnbürste im Labor deutlich hinter den Erwartungen zurückgeblieben.

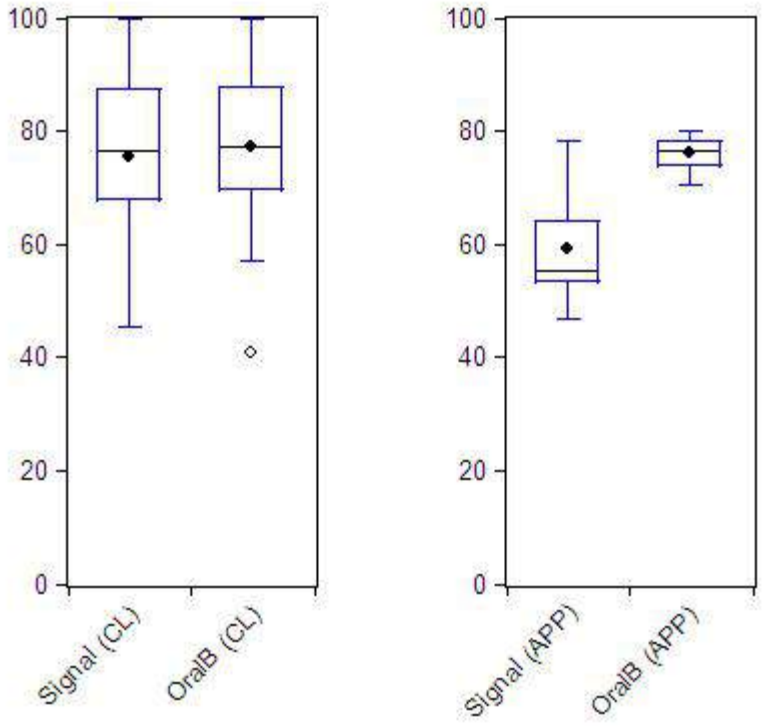

Abb.5.4: Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung der bukkalen Flächen)

Anzahl der Durchläufe: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24, Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6

Auch die tabellarischen Aufstellungen der Ergebnisse aus diesem Vergleich machen den Unterschied deutlich.

Tabelle 5.4.1: Tendenz des Effizienzvergleichs der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, bukkale Flächen) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten.

	Signal **(CL)**	***OralB*** **(CL)**	***Signal*** **(APP)**	***OralB*** **(APP)**
Mittelwert	75,79	77,30	59,30	76,17
Medianwert	76,67	77,28	55,61	76,82

Erläuterung: Anzahl der Probanden (CL): Signal: n=25, OralB: n=24. Anzahl der Putzzyklen (APP): Signal: n=7, OralB: n=6. (CL): klinische Studie. (APP): Roboter Studie.

Der Vergleich der Median- und Mittelwerte beider Zahnbürsten aus der klinischen Untersuchung und der Laboruntersuchung zum Reinigungserfolg auf den bukkalen Zahnflächen, zeigt deutlich das schlechte Abschneiden der Signal Zahnbürste in der Laboruntersuchung.

Die folgende Tabelle zeigt einen detaillierteren Vergleich der Zahnbürsten untereinander und die zur Anwendung gekommenen statistischen Instrumente.

Tabelle 5.4.2: Effizienzvergleich der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, bukkalen Flächen) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten. Statistische Instrumente: Standard-t-test, WILCOXON-test, sowie prob-test zur Darstellung des Signifikanzniveaus der geschätzten Testergebnisse, (sign. p=0,05) Darstellung des Signifikanzniveaus.

	Signal **(CL)**	***OralB*** **(CL)**	***Signal*** **(APP)**	***OralB*** **(APP)**	**Test**	**prob (test)**	**sign. (p=0,05)**
Mittelwert	x	x			t=-0,38	0,70	Nein
Medianwert	x	x			W=0,43	0,67	Nein
Mittelwert			x	x	t=3,81	<0,01	**Ja**
Medianwert			x	x	U=2,21	0,03	**Ja**
Mittelwert	x		x		t=3,41	<0,01	**Ja**
Medianwert	x		x		U=2,60	<0,01	**Ja**
Mittelwert		x		x	t=0,37	0,72	Nein
Medianwert		x		x	U=0,23	0,82	nein

Erläuterung: Anzahl an Probanden: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24. Anzahl der Putzzyklen: Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6. (CL): klinische Untersuchung. (APP): Laboruntersuchung. X: getesteten Variablen. T-Test: Standard-/SATTERTHWAITE-WELCH-t-test der Mittelwerte-Werte. U-test: MANN/WHITNEY-U-test der Median-Werte. W-test: WILCOXON-test der Median-Werte. Prob(test): Signifikanzlevel der geschätzten Testergebnisse. Sign. (p=0.05)= ja: die Nullhypothese eines gleichen Mittel-/Medianwert einer Serie kann abgewiesen werden bei einem Signifikanzlevel von 5%.

Der Mittelwert des Reinigungserfolges der Signal Zahnbürste an den bukkalen Flächen liegt in der Laboruntersuchung mit 59.30% signifikant unter dem Wert der OralB Zahnbürste mit 76.17%. Darüber hinaus ist auch der durchschnittliche Reinigungserfolg der Signal Zahnbürste in der klinischen Untersuchung und der Laboruntersuchung signifikant von einander unterschiedlich (75.79% im klinischen Teil und 59.30% im Labor). Bei dem Vergleich der erzielten Mittelwerte der OralB Zahnbürste sind dagegen keine signifikanten Unterschiede aufzufinden (klinische Untersuchung: 77.30%; Laboruntersuchung: 76.17%).

Als ein Zwischenergebnis gilt es somit festzuhalten, dass die Daten eine Validierung der Laboruntersuchung für bukkale Flächen für die OralB bestätigen, für die Signal vorerst nicht.

Um den ausschlaggebenden Grund näher eingrenzen zu können, sind die bukkalen Flächen gesondert betrachtet worden.

5.4.1 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der bukkalen Flächen (Frontzähne 72-82)

Zunächst wurden die Frontzähne gesondert betrachtet. Zu den Frontzähnen sind die Zähne 72-82 gezählt worden. Der Zahn 83 wurde bei der folgenden Betrachtung zusammen mit den Seitenzähnen 84 und 85 berücksichtigt. Dies führte zu folgenden Ergebnissen.

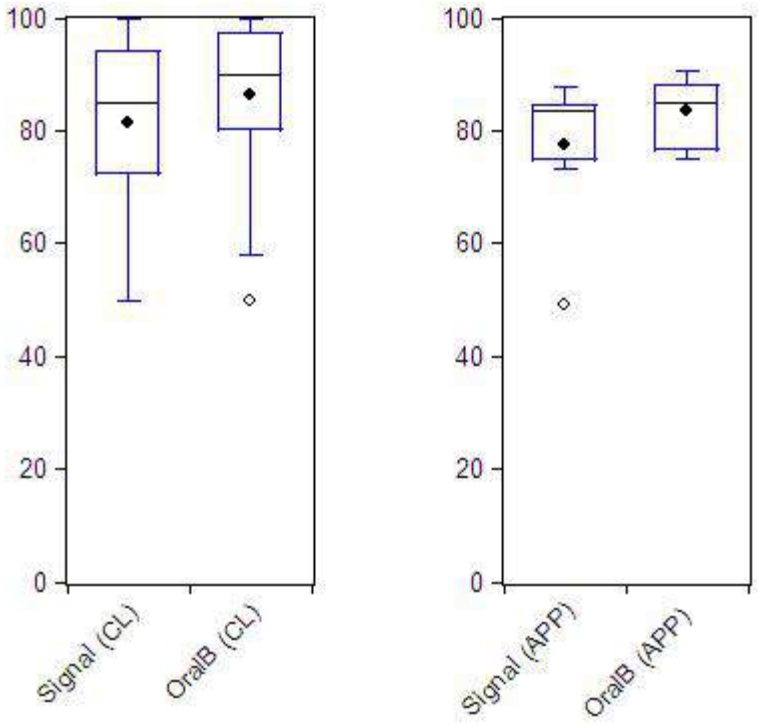

Abb.5.5: Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung der bukkalen Frontzahnflächen)
Anzahl der Durchläufe: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24, Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6

Diese Kastengrafik verdeutlicht, dass sich kein signifikanter Unterschied zwischen dem Reinigungserfolg der beiden Zahnbürsten auf den bukkalen Frontzahnflächen niederschlägt. Auch bei dieser Betrachtung wird deutlich, dass die gemessenen Werte der Laboruntersuchung enger beieinander liegen, als die der klinischen Untersuchung.

Tabellarisch zusammengefasst erscheinen die Ergebnisse wie folgt.

Tabelle 5.5.1: Tendenz des Effizienzvergleichs der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, bukkale Frontzahnflächen) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten.

	Signal **(CL)**	***OralB*** **(CL)**	***Signal*** **(APP)**	***OralB*** **(APP)**
Mittelwert	81,57	86,41	77,58	83,58
Medianwert	85,00	90,00	83,62	84,99

Erläuterung: Anzahl der Probanden (CL): Signal: n=25, OralB: n=24. Anzahl der Putzzyklen (APP): Signal: n=7, OralB: n=6. (CL): klinische Studie. (APP): Roboter Studie.

Der Vergleich der Mittel- und Medianwerte beider Zahnbürsten zeigt sowohl in der klinischen Untersuchung als auch in der Laboruntersuchung eine kleine Differenz, die jeweils um die 5% liegt. Um aber von einem signifikanten Unterschied sprechen zu können, müsste eines der folgenden statistischen Instrumente diese Behauptung belegen.

Tabelle 5.5.2: Effizienzvergleich der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, bukkalen Frontzahnflächen) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten. Statistische Instrumente: Standard-t-test, WILCOXON-test, sowie prob-test zur Darstellung des Signifikanzniveaus der geschätzten Testergebnisse, (sign. p=0,05) Darstellung des Signifikanzniveaus.

	Signal **(CL)**	***OralB*** **(CL)**	***Signal*** **(APP)**	***OralB*** **(APP)**	**Test**	**prob (test)**	**sign. (p=0,05)**
Mittelwert	x	x			t=-1,17	0,25	Nein
Medianwert	x	x			W=1,21	0,23	Nein
Mittelwert			x	x	t=1,01	0,32	Nein
Medianwert			x	x	U=0,79	0,43	Nein
Mittelwert	x		x		t=0,68	0,51	Nein
Medianwert	x		x		U=0,73	0,46	Nein
Mittelwert		x		x	t=0,73	0,47	Nein
Medianwert		x		x	U=1,17	0,24	Nein

Erläuterung: Anzahl an Probanden: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24. Anzahl der Putzzyklen: Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6. (CL): klinische Untersuchung. (APP): Laboruntersuchung. X: getesteten Variablen. T-Test: Standard-/SATTERTHWAITE-WELCH-t-test der Mittelwerte-Werte. U-test: MANN/WHITNEY-U-test der Median-Werte. W-test: WILCOXON-test der Median-Werte. Prob(test): Signifikanzlevel der geschätzten Testergebnisse. Sign. (p=0.05)= ja: die Nullhypothese eines gleichen Mittel-/Medianwert einer Serie kann abgewiesen werden bei einem Signifikanzlevel von 5%.

Unter Berücksichtigung der bukkalen Flächen der Frontzähne, fällt kein signifikanter Unterschied im Reinigungserfolg beider Zahnbürsten auf. Auch der direkte Vergleich der klinischen Untersuchung und der Laboruntersuchung führt weder für die Signal noch für die OralB zu einer signifikanten Unterscheidung zwischen den Mittel- oder Medianwerten. Damit ist die Validierung der Laboruntersuchung für die Frontzähne erfolgreich abgeschlossen.

5.4.2 Durchschnittlicher Reinigungserfolg der bukkalen Flächen (Seitenzähne 83-85)

Auf der Suche nach Gründen für das schlechte Abschneiden der Signal Zahnbürste während der Laboruntersuchungen ist im Folgenden die Reinigungsleistung an den bukkalen Flächen der Seitenzähne (83 und der Molaren) gesondert betrachtet worden.

Bei der Betrachtung dieser Kastengrafik wird das unterschiedliche Ergebnis der beiden Zahnbürsten im Vergleich ihrer Reinigungsleistung während des Laborversuches deutlich. Die Signal Zahnbürste reinigt die bukkalen Seitenzahnflächen erheblich schlechter als es die OralB Zahnbürste vermag. Wobei es während der klinischen Studie keinen signifikanten Unterschied in der Reinigungsleistung beider Zahnbürsten gab. Auch der Vergleich zwischen den Ergebnissen der OralB Zahnbürste aus der klinischen Untersuchung und der Laboruntersuchung zeigt keinen signifikanten Unterschied.

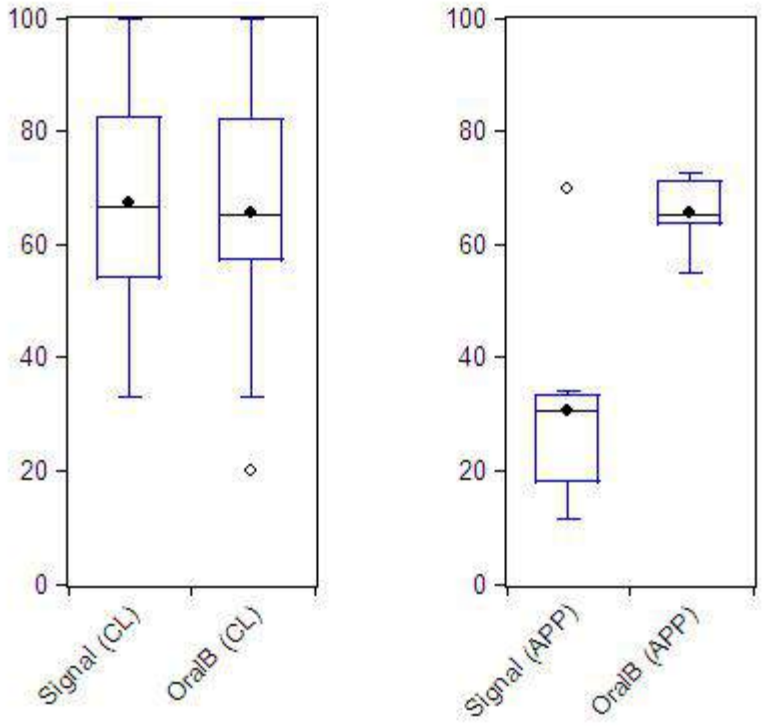

Abb.5.6: Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung der bukkalen Flächen des Zahnes 83 und der Molaren)
Anzahl der Durchläufe: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24, Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6

Auch die tabellarische Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse verdeutlicht diesen großen Unterschied der von der Signal Zahnbürste erbrachten Leistungen.

Tabelle 5.6.1: Tendenz des Effizienzvergleichs der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, bukkale Flächen der Zähne 83-85) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten.

	Signal **(CL)**	***OralB*** **(CL)**	***Signal*** **(APP)**	***OralB*** **(APP)**
Mittelwert	67,51	65,63	30,70	65,66
Medianwert	66,67	65,48	30,65	65,20

Erläuterung: Anzahl der Probanden (CL): Signal: n=25, OralB: n=24. Anzahl der Putzzyklen (APP): Signal: n=7, OralB: n=6. (CL): klinische Studie. (APP): Roboter Studie.

Die Mittel- und Medianwerte aus dem Vergleich der Reinigungsleistung beider Zahnbürsten auf den bukkalen Seitenzahnflächen, macht den erheblichen Unterschied zwischen der Signal Zahnbürste und der OralB Zahnbürste deutlich. Mit jeweils über 30% fällt der Median- bzw. Mittelwert bei der OralB Zahnbürste während der Laboruntersuchung höher aus als der der Signal Zahnbürste. Während der klinischen Untersuchung unterscheiden sich die erzielten Ergebnisse in keinem signifikanten Maß. Somit scheint mit der bukkalen Seitenzahnfläche die Problemzone der Laboruntersuchung identifiziert worden zu sein.

Die folgende Tabelle zeigt den statistischen Unterschied der erzielten Ergebnisse beider Zahnbürsten auf den bukkalen Seitenzahnflächen.

Tabelle 5.6.2: Effizienzvergleich der Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, bukkalen Flächen der Zähne 83-85) Gegenüberstellung der Mittel- und Medianwerte der untersuchten Zahnbürsten. Statistische Instrumente: Standard-t-test, WILCOXON-test, sowie prob-test zur Darstellung des Signifikanzniveaus der geschätzten Testergebnisse, (sign. p=0,05) Darstellung des Signifikanzniveaus.

	***Signal* (CL)**	***OralB* (CL)**	***Signal* (APP)**	***OralB* (APP)**	**Test**	**prob (test)**	**sign. (p=0,05)**
Mittelwert	x	x			t=0,33	0,74	Nein
Medianwert	x	x			W=0,21	0,83	Nein
Mittelwert			x	x	t=4,53	<0,01	**Ja**
Medianwert			x	x	U=2,36	0,02	**Ja**
Mittelwert	x		x		t=4,34	<0,01	**Ja**
Medianwert	x		x		U=3,28	<0,01	**Ja**
Mittelwert		x		x	t=-0,01	0,99	Nein
Medianwert		x		x	U=0,13	0,90	Nein

Erläuterung: Anzahl an Probanden/Durchläufen: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24, Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6. (CL): klinische Untersuchung. (APP): Laboruntersuchung. X: getesteten Variablen. T-Test: standart-/SATTERTHWAITE-WELCH-t-test der Mean-Werte. U-test: MANN/WHITNEY-U-test der Median-Werte. W-test: WILCOXON-test der Median-Werte. Prob(test): Signifikanzlevel der geschätzten Testergebnisse. Sign. (p=0.05)= yes: die Nullhypothese eines gleichen mean/median einer Serie kann abgewiesen werden bei einem Signifikanzlevel von 5%.

Ganz offensichtlich manifestiert sich ein Validierungssproblem der Signal Zahnbürste in der Laboruntersuchung auf der bukkalen Fläche der Zähne 83-85. An diesen Flächen beträgt der Reinigungserfolg der Signal Zahnbürste nur 30%, wohingegen die OralB Zahnbürste mehr als doppelt soviel Plaque von diesen Flächen zu entfernen im Stande ist (65%). In der klinischen Studie erreichen beide Zahnbürsten einen ähnlichen Wert an den bukkalen Flächen des Zahnes 83 sowie der Molaren.

5.5 Reinigungserfolg im Einzelzahnnachweis

Die unten aufgeführten Diagramme zeigen den durchschnittlich erzielten prozentualen Reinigungserfolg der jeweiligen Zahnbürste im klinischen Versuch und im Laborversuch an jedem einzelnen Zahn, wobei zwischen den lingualen und den bukkalen Flächen unterschieden wird.

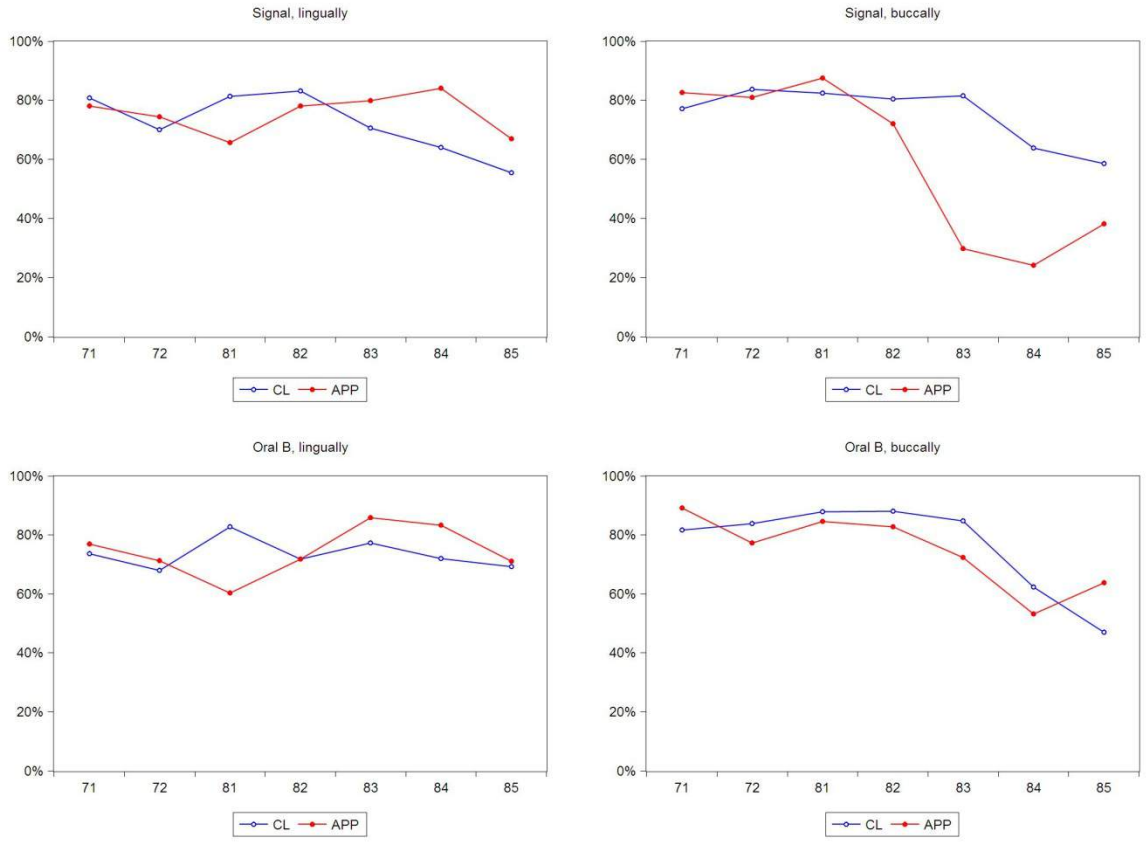

Abb.5.7: Plaqueentfernung durch die Zahnbürsten (klinische Studie und Laboruntersuchung, individuelle Zahnübersicht)
Anzahl der Durchläufe: Signal (CL): n=25, OralB (CL): n=24, Signal (APP): n=7, OralB (APP): n=6
(CL): klinische Untersuchung, (APP) Laboruntersuchung.

Diese Darstellung der erzielten Ergebnisse verdeutlicht einmal mehr den signifikanten Unterschied der Reinigungsleistung der Signal Zahnbürste auf den bukkalen Seitenzahnflächen. Auf den Lingualflächen erzielt die Signal Zahnbürste ähnlich der OralB Zahnbürste ein vergleichbares Ergebnis im klinischen Teil zu der Laboruntersuchung. Der große Unterschied beider Zahnbürsten wird an den bukkalen Flächen deutlich. Hier zeigt die OralB Zahnbürste ein vergleichbares Ergebnis im Labor wie in der klinischen Studie. Bei der Signal Zahnbürste ist das nicht der Fall. Hierbei wird im Einzelzahnnachweis deutlich, dass die Reinigungsleistung im Frontzahnbereich absolut vergleichbar ist, jedoch ab dem Zahn 83 erhebliche Abweichungen im

Labor zur klinischen Studie aufgetreten sind. Der Zahn 83 ist der Zahn mit den am weitesten auseinanderliegenden Ergebnissen in der gesamten Studie. Jedoch zeigt auch der Zahn 84 ein deutlich schlechteres Ergebnis im Labor als in der klinischen Studie. Die Ergebnisse am Zahn 85 liegen dann nicht mehr ganz so weit auseinander.

6. Diskussion

Zur Entwicklung neuer Zahnbürsten greift die Industrie gerne auf *in-vitro* Studien zurück. Die finanzielle und zeitliche Ersparnis klinischen Studien gegenüber führt zu einem wirtschaftlicheren Umgang mit den Ressourcen. Außerdem ermöglicht das robotergestützte Verfahren eine exaktere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse unter klinischen Bedingungen (Ernst et al. 1997) sowie eine exakte Auswertung (Nygaard-Østby et al. 1979). Wie schon die Arbeit von Staufer 2011, analysiert diese Studie die Möglichkeit, Ergebnisse einer klinischen Zahnbürsten-Studie durch ein *in-vitro* Verfahren abzubilden, allerdings liegt das Hauptaugenmerk hierbei auf Kinderzahnbürsten. Sie soll die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse aus klinischen Kinderzahnbürsten-Studien in einem *in-vitro* Verfahren überprüfen.
Die statistische Auswertung evaluiert anschließend die Vergleichbarkeit des Reinigungserfolges aus den beiden methodisch unterschiedlichen Versuchen. Um die Forschung bei der Entwicklung neuer Zahnbürsten zu beschleunigen, ist eine standardisierte klinische Studie äquivalent im Labor zu validieren.

6.1 Material und Methoden

In dieser Studie sind zwei Kinderzahnbürsten mit unterschiedlich gestaltetem Borstenfeld verwendet worden, um ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis bei der Validierung des Roboters erreichen zu können. Hierbei handelt es sich um die Signal Junior (Unilever, Hamburg, Deutschland), die über einen schmalen Bürstenkopf mit 31 v-förmig angeordneten Borstenbüscheln verfügt, der sich in der horizontalen Ansicht als wellenförmig beschreiben lässt. Außerdem ist die Zahnbürste OralB Stage 3 (Procter & Gamble, Schwalbach am Taunus, Deutschland) getestet worden. Diese zeichnet sich durch ein konkaves Borstenfeld aus 33 Borstenbüscheln aus. Der Borstenkopf ist schmaler und kürzer als der der Signal Junior.

Das Probandengut umfasst 25 elternbegleitete Patienten einer spezielisierten kinderzahnärztlichen Niederlassung (Frau Dr. Zehner, Herne, Deutschland), die zwischen 6 und 8 Jahren alt sind (11 weibliche und 14 männliche Probanden). Bei der Auswahl der Probanden ist darauf geachtet worden, dass diese über eine möglichst vollständige Bezahnung von 73 bis 85 verfügen sowie den Zahn 46. Jedoch ist in dieser Altersgruppe die individuelle Bezahnung sehr divergierend und eine vollständige Milchdentition plus eines durchgebrochenen 46 äußerst selten. Aus diesem Grund fehlen einigen wenigen Probanden der Zahn 46.

Diese Studie entspricht einer Cross-Over-Studie, bei der jeder Proband sowohl in der Behandlungs- als auch in der Kontrollgruppe ist. Demnach wurden sämtliche Behandlungen an allen Probanden unter Einhaltung der vorgegebenen wash-out-Phasen gleichwertig durchgeführt .

Die übliche Anpresskraft von 3,5 N, die zum Beispiel von Staufer et al. 2011 zur Testung der Reinigungseffizienz von Zahnbürsten angewendet worden ist, stellte sich bei den jungen Probanden als zu hoch heraus. Wegen einer generell ausgelösten Abwehrreaktion der Probanden musste die Anpresskraft deutlich reduziert werden, um eine Verfälschung der Ergebnisse zu verhindern. In dem klinischen Teil ist mit einer Anpresskraft von 1,5 N gearbeitet worden. Diese Kraft war gut reproduzierbar und ließ sich von den Probanden angenehm aushalten.
Die besondere Gestaltung des Borstenfeldes der OralB verlangte eine genaue Sichtkontrolle des Putzvorganges. Da die Zahnbürste an der Spitze des Borstenfeldes über ein Areal mit längeren Borsten verfügt (*powertip*), ist darauf zu achten gewesen, dass bei gleichbleibender Putzkraft möglichst das gesamte Borstenfeld Kontakt zum Zahn behält. Dies gelang durch Veränderungen des Anstellwinkels unter Sichtkontrolle. Jedoch gestaltete sich die Messung im Labor mit dem oben genannten Wert schwierig. Aufgrund der konkav gestalteten Bürstenoberfläche der OralB hatte bei einer Anpresskraft von 1,5 N nur etwa 25% der Borsten Oberflächenkontakt zum Prüfzahn. Was in der

klinischen Studie durch kleine, intuitive Änderungen der Putzbewegungen kompensiert werden konnte, ließ sich im Labor nur mit einer Erhöhung der Putzkraft umgehen. Um je Borstenbüschel die gleiche Kraft auszuüben, wie in der klinischen Untersuchung, musste 1,5 N mit 75% zusätzlichem Büschelkontakt, also mal vier, multipliziert werden. Deshalb wurde mit 6 N geputzt. Es kam also die vierfache Kraft zum Einsatz, die einen vollständigen Kontakt zwischen Borstenfeld der OralB Zahnbürste und der Prüfzähne ermöglichte.
Als Plaquerevelator ist das Mira-Tone-2 der Firma Hager & Werken verwendet worden.

Die Reinigung der Zähne wurde ausschließlich durch den Prüfarzt ausgeführt, um evtl. vorhandene Differenzen der motorischen Fähigkeiten unter den Probanden, die einen negativen Einfluss auf das Ergebnis haben könnten, auszuschließen. Zwei horizontale Putzbewegungen in beide Richtungen auf ca. zwei Sekunden pro Prüfzahn aufgeteilt, sind als Putztechnik festgelegt und sowohl in der klinischen Untersuchung als auch durch den Roboter durchgeführt worden. Dieses Vorgehen ließ sich gut reproduzieren und durch die Probanden angenehm ertragen. Das erneute Anfärben nach der Reinigung ermöglicht ein genaueres Ergebnis, denn auch nur oberflächlich abgetragene Plaque wird angezeigt und als nicht vollständig gereinigte Oberfläche markiert.

Die Putzzeit von zwei Sekunden pro Prüfzahnfläche bei zwei zu prüfenden Flächen und höchstens neun Zähnen, ergibt eine gesamt Putzzeit von 36 Sekunden. Dieser Wert liegt knapp unter der Mindestputzzeit, die Sauerwein 1985 mit zwei Minuten für ein vollständiges Gebiss beschrieben hat. Allerdings liegt das Hauptaugenmerk auch nur auf den vestibulären und lingualen Flächen der Zähne, ohne die okklusale Fläche zu beachten.

Bei der Auswahl des Plaqueindex in dieser Studie muss eine Komponente berücksichtigt werden, die in den Studien mit adulten Probanden nicht ins

Gewicht fällt. Wie werden Milchzähne und bleibende Zähne unterschieden und was macht man mit Zähnen, die sich im Durchbruch befinden?

Der modifizierte Navy-Plaqu-Index nach Rustogi et al. (1992) mit Verwendung von Planimetrie nach Claydon und Addy (1995) ist auf vollständig durchgebrochene Zähne zugeschnitten und eignet sich gut zur Effizienztestung von Mundhygieneprodukten. Um verlässliche Aussagen über die Effizienz von Mundhygieneprodukten für Kinder treffen zu können, musste der Plaqueindex erneut modifiziert werden. Er sollte auf die individuelle Bezahnung der Kinder eingehen können.

Die Erweiterung des Navy-Plaque-Index mit der Planimetrie sieht nun vor, dass nicht jeder Zahn in neun Felder unterteilt wird, sondern nur die bleibenden, welche die Okklusionsebene erreicht haben. Bei Milchzähnen beschränkt man sich auf fünf Planimetriefelder. Die klinische Krone wird hierbei durch eine gedachte Linie in eine okklusale und eine gingivale Hälfte unterteilt. Der okklusale Anteil wird in zwei Felder aufgeteilt und der gingivale in drei Felder. Bei bleibenden Zähnen, die zu 2/3 eruptiert sind, wird dieselbe Einteilung vorgenommen. Zähne, die nur zu 1/3 durchgebrochen sind, werden in drei Felder eingeteilt. Auf diese Weise kann man auf den Vorteil der guten inter-individuellen Reproduzierbarkeit (Shaloub und Addy 2000) des Navy-Plaque-Indexes zurückgreifen und hat die individuelle Gebisssituation berücksichtigt.

Der hohe Aufwand der Fotodokumentation vor und nach dem Reinigungsvorgang ist durch das gut reproduzierbare und genaue Ergebnis gerechtfertigt. Die Intraorale Kamera *SoproLife* (Acteon, Mettmann, Deutschland) hat sehr detailgetreue Bilder geliefert. Die Aufnahmen waren durch die Lebendigkeit, den meist hohen Speichelfluss und der Neugier der Probanden eine Herausforderung, die mit Hilfe der Begleitperson zu bewältigen war. Diese hat nämlich meist den Auslöser bedient und somit ein Verwackeln der Kamera verhindert. Die Alternative, mit einer herkömmlichen Spiegelreflexkamera und mit Hilfe von Mundspiegeln das Ergebnis zu dokumentieren, erscheint in Anbetracht der Erfahrungen mit den nicht immer kooperativen Probanden als weniger geeignet.

Die Auswertung der Aufnahmen erfolgte anschließend am Notebook mit der entsprechenden Software, die freundlicherweise von Acteon (Mettmann, Deutschland) zur Verfügung gestellt worden ist.

Die Entscheidung, die Zähne 73-85 und 46 in dieser Studie zu berücksichtigen, ist vor allem der Leistungsfähigkeit des Roboters geschuldet. Das Unterkiefermodell, an dem die Validierung stattfindet, hat sich in vorangegangenen Studien (wie zum Beispiel der von Staufer et al. 2011) als geeignet erwiesen. Die Milchzahnmodelle sind etwas schwieriger zugänglich, was berücksichtigt werden muss. Durch die Verwendung anatomisch korrekter Milchzahnmodelle von KaVo (Biberach/Riß, Deutschland) lässt sich eine größere Übertragbarkeit bei der Validierung des Roboters erreichen. Außerdem ließ sich die Unterkieferfront und der vierte Quadrant gut durch die planimetrische Dokumentation standardisiert erfassen.
Die Pixel-Zähl-Funktion nach Gängler et al. (2013) und Lang et al. (2014) zur Auswertung der digitalen Fotos, lässt das Reinigungsergebnis der einzelnen Putzzyklen dokumentieren. Diese Milchzahnplanimetrie wurde im Rahmen dieser Studie erstmals eingesetzt. Auf diese Weise erhält man eine genaue prozentuale Angabe über die gereinigte Zahnfläche. Die hohe Standardisierung dieses Vorgehens ist einer klinischen Plaque-Index-Methode überlegen.
Ein weiterer Vorteil der APP einer klinischen Studie gegenüber, ist die Möglichkeit auch die interdentalen Zahnflächen exakt bewerten zu können (siehe Abb.4.13.). In der vorliegenden Studie wurden diese Werte jedoch nicht berücksichtigt. Denn es handelt sich hierbei um den Versuch einer Validierung. Da im klinischen Versuch aber keine Möglichkeit bestand die interdentalen Flächen zu beurteilen, wären diese Werte nicht von Belang gewesen. Aber für weitere Studien bietet diese Eigenschaft ein interessantes Beobachtungsfeld.

6.2 Klinische Untersuchung

Die Untersuchung der beiden Zahnbürsten an den 25 Probanden wurde aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet. Auf diesem Weg konnte eine höhere Aussagekraft der Resultate erzielt werden. Zunächst ist das Gesamtergebnis der Putzeffizienz beider Zahnbürsten einander gegenübergestellt worden. Die Putzeffizienz der Zahnbürste OralB lag durchschnittlich mit 1,89% über der Reinigungsleistung der Zahnbürste Signal, was einem nicht signifikanten Unterschied entspricht.

Auch bei der Betrachtung der Reinigungsergebnisse, bezogen auf die unterschiedlichen Zahnflächen, fällt auf, dass mit 0,88% Differenz lingual ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden getesteten Zahnbürsten besteht. Auch bukkal ist der Unterschied mit 1,51% unerheblich.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Putzleistungen beider getesteten Zahnbürsten ähnlich gut sind. Die Tatsache, dass sämtlichen Putzzyklen durch den Prüfarzt durchgeführt worden sind, schließt auch eine Verfälschung der Ergebnisse durch unterschiedliche motorische Fähigkeiten der Probanden aus. Jedoch ist ein durchschnittlich höherer Erfolg an den bukkalen Flächen erzielt worden als an den lingualen Flächen. Das spricht dafür, dass die Erreichbarkeit der entsprechenden Zahnflächen den Putzerfolg beeinflusst. Negativen Einfluss auf den Putzerfolg haben Störfaktoren wie hohes Speichelaufkommen und anatomische Besonderheiten wie zum Beispiel die Zunge oder Krümmung des Zahnbogens. Die Reinigung auf den lingualen Flächen wird dadurch erschwert.

Der Gefahr, dass der Speichelfluss die Aussagekraft der Resultate negativ beeinflussen könnte, ist durch das erneute Anfärben der Plaque nach dem Reinigungsakt entgegegewirkt worden. Auf diese Weise konnten die nur oberflächlich gereinigten Plaqueansammlungen trotzdem erfasst werden.

6.3 Laboruntersuchung

Auch die erzielten Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen sind gesondert betrachtet worden. Das Gesamtergebnis zeigt einen signifikanten Unterschied im Bezug auf die Putzeffizienz der beiden Zahnbürsten. Hier liegt nämlich die OralB Zahnbürste mit einem durchschnittlich um 9,75% besseren Ergebnis vor der Signal Zahnbürste. Um herauszufinden, woran das liegen könnte, sind die Reinigungserfolge an den einzelnen Zahnflächen zu bewerten. Bei der Betrachtung der durchschnittlich erzielten Reinigungsergebnisse durch den Roboter an den lingualen Flächen fällt mit 2,64% Differenz kein signifikanter Unterschied auf. Das Problem scheinen die bukkalen Flächen zu sein, denn hier liegt die Differenz der Durchschnittswerte mit 16,87% deutlich über dem 5%igen Toleranzbereich. Aber woran liegt dieser auffällig große Unterschied? Die bukkalen Werte sind, um dieser Frage auf den Grund zu gehen, noch einmal differenziert bewertet worden. So sind die bukkalen Flächen der Frontzähne (72-82) und der Seitenzähne (83-85) gesondert betrachtet worden. Dabei sind die Ergebnisse der Seitenzähne besonders auffällig. Bei den Frontzähnen ist mit 1,37% kein signifikanter Unterschied gemessen worden. Bei den Seitenzähnen liegt die Differenz mit 34,55% jedoch deutlich im signifikanten Bereich, was die Validierungsprobleme klar auf die bukkalen Flächen des Seitzahnbereichs eingrenzt. Für alle anderen Zahnflächen konnte die Validierung des Putzroboters erfolgreich abgeschlossen werden.

Doch was kann aus den Abweichungen der Ergebnisse aus der klinischen Studie und der Testung am Roboter geschlossen werden? Im Rahmen der klinischen Studie ist die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse immer unter Berücksichtigung der individuellen Adaptation zu berücksichtigen. Bezogen auf die Kraft, Zeit und Bewegung liefert die APP das technisch und biomechanisch korrektere und reproduzierbarere Ergebnis. Aus diesem Grund sind die Laboruntersuchungen für die Entwicklung neuer Mundhygieneprodukte im Allgemeinen und die Borstenanordnung bei Kinderzahnbürsten im Speziellen wertvoller.

6.4 Validierung des Roboters

Die Hauptfragestellung dieser Studie, ob sich der Putzroboter mit Hilfe der erzielten Ergebnisse aus der klinischen Studie validieren lässt, kann positiv beantwortet werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Resultate der robotergestützten Studie und jene aus der klinischen Untersuchung im Hinblick auf den Putzerfolg an den lingualen Flächen aller Zähne und den bukkalen Flächen der Frontzähne innerhalb des nicht signifikanten Differenzbereiches lagen. Somit ist eine Validierung des Roboters für diese Zahnflächen erfolgreich umgesetzt worden. Jedoch weichen die Ergebnisse an den bukkalen Flächen der Seitenzähne von den Ergebnissen aus den klinischen Studien ab. Hier wird deutlich, dass der Roboter durch die Standardisierung seiner Bewegungen präzisere Ergebnisse zu unterschiedlichen Bürstenköpfen bringt. Und somit eventuelle Schwachstellen genauer identifiziert als es in klinischen Studien möglich ist.

Da bei der klinischen Testung beide Zahnbürsten ähnlich erfolgreich waren, hätte ein vergleichbares Ergebnis auch in der Laboruntersuchung erwartet werden können. Dort hat aber die Signal ein erheblich schlechteres Resultat erzielt, was dadurch zu erklären ist, dass während der klinischen Studie durch kleine intuitive Variationen des Anstellwinkels der Zahnbürste zu der Zahnoberfläche ein möglichst große Kontaktfläche zwischen Borstenfeld und Zahn unter Sichtkontrolle hergestellt wurde. Diese Leistung ist durch den Roboter mit festgelegtem Anstellwinkel und festgelegter Putzkraft nicht zu erwarten.

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Cross-Over-Studie war es zu prüfen, ob sich die in einer klinischen Studie mit Probanden ermittelte Reinigungseffizienz von zwei verschiedenen Kinderzahnbürsten durch eine robotergestützte *in-vitro* Methode abbilden lässt.

Im klinischen Teil der Studie wurden die Kinderzahnbürsten jeweils an 25 Probanden (6-8 jährig) nach einer 48-stündigen Mundhygienekarenz getestet. Zwischen der Testung beider Zahnbürsten lag eine zweiwöchige Wash-out-Phase. Die Reinigung erfolgte durch den Prüfarzt an den Zähnen 73-46. Vor und nach dem Reinigungsakt ist die zuvor angefärbte Plaque fotodokumentiert worden. Die Putzkraft ist vor jedem Testzyklus kalibriert worden. Zur zeitlichen Orientierung wurde der Putzakt mit einem Video untermalt, sodass eine Reinigungszeit von zwei Sekunden pro Zahnfläche eingehalten werden konnte. Zur Auswertung wurde eine Erweiterung des modifizierten Navy-Plaque-Index ausgearbeitet, der den individuellen Charakter eines Wechselgebisses abbildet.
Für den Robotertest sind die im klinischen Teil angewendeten Putzbewegungen auf den 6-Achs-Roboter übertragen worden. Die Unterkiefermilchzahnmodelle sind vor den jeweils 7 Reinigungszyklen pro Kinderzahnbürste mit künstlicher Plaque beschichtet worden. Das Ergebnis ist anschließend mit der APP erfasst worden. Die erhobenen Daten sind statistisch durch den t-test, den Mann-Whitney-U- respektive den Wilcoxon-Test ausgewertet worden.

Die erzielte Reinigungsleistung der Zahnbürsten in der klinischen Studie ließ sich durch die robotergestützte Methode für alle getesteten lingualen Zahnflächen sowie der bukkalen Frontzahnflächen abbilden. Lediglich der Vergleich der Reinigungsleistung auf den bukkalen Seitenzahnflächen führte zu einem signifikant unterschiedlichem Ergebnis.
Diese Studie zeigt, dass die klinische Validierung einer robotergestützte Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten ein Erfolg war. Die Methode ist für eine zeit- und kostengünstige, reproduzierbare Testung von Kinderzahnbürsten geeignet.

8. Summary

The present cross-over study is concerned with the efficiency of two different childrens' toothbrushes and aims at comparing the gathered data with measured values derived from a robot-assisted in-vitro method.

In the clinical part of the study, both of the childrens' toothbrushes were tested among 25 infant probands aged 6-8 years prior to a 48h toothbrushing abstinenz period. Inbetween the both parts of the clinical testing a two-week washout-period was kept. The toothbrushing act of teeth 73-46 was performed by a distinct dentist. Before and after the act of cleaning, the existing plaque at the infants teeth was stained and photographycally documented. Due to the relevance of the dentist's brushing force, it was thoroughly calibrated prior to every act of brushing. To assure that the same amount of time was devoted to every deciduous tooth (2 seconds/surface) a video was played alongside showing the proceedure. The modified Navy-Plaque-Index was extanded for infant teeth and used as evaluation base for the obtained results.
For the robot-assisted in-vitro part of the study, the robot was programmed to perform the same brushing strokes on artificial infant mandible models as they were used in-vivo. To demonstrate the efficiency of the brushing robot the artificial deciduous were covered with a plaque simulating substrate. Each of the two toothbrushes were tested in seven cleaning cycles, the results were afterwards scored by the APP. The obtained data were statistically validated by the t-test, the Mann-Whitney-U, as well as the Wilcoxon-Test.

The results of the study display that the in-vivo achieved brushing efficiency were confirmed by the robot-assisted procedure for the lingual surfaces as well as the buccal surfaces of the front teeth. However, the study was not yet able to verify the same efficiency for the buccal surfaces of the posterior teeth. Despite these minor limitations, the validation of the robot-assisted testing was succesful and is suitable for testing children's toothbrushes concerning their efficiency.

9. Literaturverzeichnis

1. Baldys L A.
   Studie zur standardisierten Analyse der Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten.
   Zahnmed Diss, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Medizinische Fakultät, 2007 Münster.

2. Borutta A.
   Plaque removal efficacy of a newly developed powered toothbrush in the primary dentition of pre-school children.
   J Clin Dent 1997; 8: 151-155.

3. Borutta A, Wagner M, Kneist S.
   Bedingungsgefüge der frühkindlichen Karies.
   Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkunde 2010; 32: 58-63.

4. Böshagen Ch, Eifler H, Gängler P.
   Klinische Bewertung der Mundhygieneeffektivität einer Zahnputztablette.
   Zahn Prax 8, 2005; 420-424.

5. Burkhardt D, Gülzow H-J.
   Der Einfluss von Kaugummi auf Speichelparameter.
   Oralprophylaxe 2003; 25: 147-155.

6. Burkhardt D.
   Ein Vergleich der Speichelstimulation mit zuckerhaltigem oder zuckerfreiem Kaugummi unter Berücksichtigung von Pufferkapazität und Remineralisationspotential.
   Zahnmed Diss, Universitätsklinik Hamburg: Fachbereich Medizin, Hamburg 1999.

7. Cichon J.
   Eisensulfat im Vergleich zu Formokresol für die Vitalamputation von Milchzähnen.
   Zahnmed Diss, Ludwig-Maximilians-Universität zu München: Medizinische Fakultät, München 2011.

8. Clarkson J E, Elwood R P, Chandler R E.
   A comprehensive summary of fluoride dentifrice caries clinical trials.
   Am J Dent 1993; 6: 59-106.

9. Claydon N, Addy M.
Comparative single-use plaque removal by toothbrushes of different designes.
J Clin Periodontol 1996; 23: 1112-1116.

10. Claydon N, Addy M.
The use of planimetry to record and score the modified navy index and other areabased plaque indices. A comparative toothbrush study.
J Clin Periodontol 1995; 22: 670-673.

11. Claydon N, Addy M, Scratcher C, Ley F, Newcombe R.
Comparative professional plaque removal study using 8 branded toothbrushes.
J Clin Periodontol 2002; 29: 310-316

12. Dawes C, Macpherson L M.
Effects of nine different chewing-gums and lozenges on salivary flow rate and pH.
Caries Res 1992; 26: 176-182.

13. Deacon S A, Glenny A M, Deery C, Robinson P G, Heanue M, Walmsley A D, Shaw W C.
Different powered toothbrushes for plaque control and gingival health.
Cochrane Database Syst Rev 2010; 12: CD004971.

14. Diedrich P, Herrmann U, Seeland M.
Die Effizienz verschiedener Hilfsmittel zur Zahnpflege in der Hand des Kindes.
Fortschr Kieferorthop 1982; 43: 196-206

15. Dodds M W J, Hsieh S C, Johnson D A.
The effect of increased mastication by daily gum-chewing on salivary gland output and dental plaque acidogenicity.
J Dent Res 1991; 70: 1474-1478.

16. Duperrex O.
Nachweis von Streptococcus mutans und Kariesprophylaxe durch einen generalisierten diagnostischen Test beim Kleinkind.
Paediatrica 2007; 18: 58-60.

17. Elliot J R, Bowers G M, Clemmer B A, Rovelstad G H.
Evaluation of an oral physiotherapy center in the reduction of bacterial plaque and periodontal disease.
J Periodontol 1972; 43: 221-224.

18. Ernst C P, Willershausen B, Driesen G, Warren P R, Hilfinger P.
A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro.
Quintessence Int 1997; 28: 441-445.

19. Fejerskov O, Kidd E.
Dental caries: the disease and it's clinical management.
Blackwell Munksgaard 2003; 2: 3-6

20. Fischman S L.
Current status of indices of plaque.
J Clin Periodontol 1986; 13: 371-374.

21. Fones A C.
Mouth Hygiene.
Lea and Febiger, Philadelphia 1934; 4th edn: 299-306.

22. Fure S, Gahnberg L, Birkhed D.
A comparison of four home-care fluoride programs on the caries incidence in the elderly.
Gerodontology 1998; 15: 51-60

23. Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M.
Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie.
Georg Thime Verlag KG, Stuttgart 2005.

24. Gängler P, Arnold W H.
Gingivitis.
In Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M.
Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie.
Georg Thime Verlag KG, Stuttgart 2005; 264-270

25. Gaengler P, Kremniczky T, Arnold W H.
In vitro effect of fluoride oral hygiene tablets on artificial caries lesion formation and remineralization in human enamel.
BMC Oral Health 2009; 9: 25.

26. Gaengler P, Lang T, Jennes B.
Computer-assisted Planimetrical assesment of robot tested toothbrushing.
J Dent Res 2013, Vol. 92.

27. Geurtsen W, Hellwig E, Klimek J.
Grundlegende Empfehlung zur Kariesprophylaxe im bleibenden Gebiss.
Dtsch Zahnärztl Z 2013; 10; 639-646

28. Ghassemi A, Vorwerk L, Hooper W, Patel V, Sharma N, Qaqish J.
Comparative plaque removal efficacy of a new children's powered toothbrush and a manual toothbrush.
J Clin Dent 2013; 24: 1-4

29. Götzinger G.
Klinisch-experimentelle Studie über die Plaquereduktion zweier elektrischer Zahnbürsten und einer manuellen Zahnbürste bei Grundschulkindern.
Zahnmed Diss, Ludwig-Maximilians-Universität München, Medizinische Fakultät, München, 2006.

30. Heidemann D.
Kariologie und Füllungstherapie.
Studienausgabe der 4. Auflage
Urban & Fischer, München 1999.

31. Heipmann C.
Beurteilung der im Gebrauch auftretenden Verschleißerscheinungen elektrischer Erwachsenen-Zahnbürsten mit Hilfe eines selbst entwickelten Prüfstandes.
Zahnmed Diss, Eberhard Karls Universität zu Tübingen, Medizinische Fakultät, Tübingen 2012.

32. Helfenstein U, Steiner M.
Fluoride varnishes (duraphat): a meta-analysis.
Community Dent Oral Epidemiol 1994; 1: 1-5.

33. Hellwege K-D.
Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe. Ein Leitfaden für die Individualprophylaxe, Gruppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie.
6. Auflage Thieme Verlag, Stuttgart 2003: 45-50.

34. Hellwig E, Klimek J, Attin T.
Einführung in die Zahnerhaltung.
4. Auflage Urban & Fischer, München 2007; 12, 13-20, 441-443.

35. Heyduck C, Splieth C.
Mundhygiene bei Kindern und Jugendlichen.
Dentalhyg J 2005; 4: 12-15.

36. Hoyle B D, Costerton J W.
Bacterial resistance to antibiotics: the role of biofilms.
Prog Drug Res 1991; 37: 91-105.

37. Imfeld T, Sener B, Simonovic I.
In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten
Acta Med Dent Helv 2000; 5: 37-47

38. Isokangas P, Tenouvuo J, Söderling E, Männistö H, Mäkinen K K.
Dental caries and mutans streptococci in the proximal areas of molars affected by the habitual use of xylitol chewing gum.
Caries Res 1991; 25: 444-448.

39. Jakubovics N S, Kolenbrander P E.
The road to ruin: the formation of disease-associated oral biofilms.
Oral Dis 2010; 16: 729-739.

40. Kaiser B.
Erfolgreiche Prophylaxe.
Spitta Verlag Balingen 2003; 91.

41. Klotz S.
Klinisch-experimentelle Studie zweier Zahnbürsten im Vergleich über die Wirksamkeit in Bezug auf Gingivitisreduktion und Plaquereduktion an Zahnoberflächen.
Zahnmed Diss, Ludwig-Maximilians-Universität München, Medizinische Fakultät, München 2009.

42. Kolenbrander P E, Palmer R J Jr, Rickard A H, Jakubovics N S, Chalmers N I, Diaz P I.
Bacterial interactions and successions during plaque development.
Periodontol 2000, 42; 2006: 47-79.

43. Kramer E, Klemke J.
Standortbestimmung der zahnärztlichen Prophylaxe.
ZWR 1995; 9: 634-638.

44. Kreft W, Jablonski-Momeni A, Sauer G, Sattler W, Pieper K.
Zahnpflege begreifen – Spielmittel für Kinder.
Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde 2007; 29, 3: 102-106.

45. Kühnisch J, Hickel R, Heinrich-Weltzien R.
Kariesrisiko und Kariesaktivität.
Quintessenz 2010; 61: 271-280.

46. Lang T, Bretz M J, Jennes B, Gaengler P.
Planimetrical plaque assesment of in-between oral hygiene products.
J Dent Res 2011; Vol. 90.

47. Lang T, Jennes B, Gaengler P.
Clinical validation of robot tested toothbrushing of deciduous dentition.
J Dent Res 2014; Vol. 93

48. Lang T, Staufer S, Jennes B, Gaengler P.
Assessment of plaque removal efficiency by robot simulation of tooth brushing.
J Dent Res 2010; Vol. 89.

49. Lässig H E, Müller R A.
Die Zahnheilkunde in Kunst- und Kulturgeschichte.
DuMont Buchverlag Köln, 1983.

50. Leid J G, Willson C J, Shirtliff M E, Hassett D J, Parsek M R, Jeffers A K.
The exopolysaccharide alginate protects Pseudomonas aeruginosa biofilm bacteria from IFN-gamma-mediated macrophage killing.
J Immunol 2005; 175: 7512-7518.

51. Leipi-Warkentin N.
Bestimmung der Bürstabrasion durch Kalzium-Messung
Vergleich mit der konventionellen Profilometrie.
Zahnmed Diss, Georg-August-Universität Göttingen, Medizinische Fakultät, Göttingen 2009.

52. Löe H, Theilade E, Jensen S B.
Experimental gingivitis in man.
J Periodontol 1965; 36: 177-184

53. Makuch A.
Psychologische Aspekte.
In: Einwag J, Pieper K.
Kinderzahnheilkunde Urban und Fischer Verlag, München 1997; 72-74

54. Marsh D P, Moter A, Devine D A.
Dental plaque biofilms: communities, conflict and control.
Periodontol 2000. 2011; 55: 16-35.

55. Marthaler T M, König K G, Mühlemann H R.
The effect of a fluoride gel used for supervised toothbrushing 15 or 30 times per year.
Helv Odont Acta 1970; 14: 67-77.

56. Marthaler T M, Steiner M, Helfenstein U.
Praktischer Gebrauch der Dentoprog-Methode zum Auffinden von Kindern mit hohem Kariesrisiko.
Oroprophylaxe 1997; 19: 40-47.

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

58. Meyer R.
Die Darstellung von Veränderungen des Laktatbildungspotenzials der oralen Mikroflora unter Anwendung einer antibakteriellen Mundspüllösung – Bestimmung durch einen neuen Schnelltest.
Zahnmed Diss, Universität Hamburg: Fachbereich Medizin, Hamburg 2008.

59. Mickenautsch S, Leal S C, Yengopal V, Bezerra A C, Cruvinel V.
Sugar-free chewing gum and dental carie: a systematic review.
J Appl Oral Sci 2007; 15: 83-88.

60. Naumova E A, Arnold W H, Gängler P.
Orale Bioverfügbarkeit von Fluorid zur Kariesprophylaxe- Zahnpasta und Zahnputztablette.
Zahn Prax 2008; 11: 434-436.

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

62. Oeschger U.
Der Einfluss ausgesuchter Speichelproteine auf die Demineralisation von bovinem Zahnschmelz- eine In-vitro-Studie.
Zahnmed Diss, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: Medizinische Fakultät, Freiburg 2005.

63. Ott R W, Neudert T, Raab H-M, Boegershausen H-M.
Einflüsse der Zahnputztechnik auf die keilförmigen Defekte.
Dtsch Stomatol 1991; 41: 463-465.

64. Pieper K, Momeni A.
Grundlagen der Kariesprophylaxe bei Kindern.
Dtsch Arztebl 14.April 2006; Jg. 103, Heft 15: A1004-A1009.

65. Polig A.
Vergleich der Plaque-Entfernung zweier elektrischer Zahnbürsten gegenüber einer Handzahnbürste.
Zahnmed Diss, Ludwig-Maximilians-Universität München, Medizinische Fakultät, München 2006.

66. Quigley G A, Hein J W.
Comparative cleaning efficiency of manual and power brushing.
J Am Dent Assoc 1962; 65: 26-29.

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

68. Robinson C, Strafford S, Rees G, Brookes S J, Kirkham J, Shore R C, Watson P S, Wood S.
Plaque biofilms: the effect of chemical environment on natural human plaque biofilm architecture.
Arch Oral Biol 2006; 51: 1006-1014.

69. Robinson P G, Deacon S A, Deery C, Heanue M, Walmsley A D, Worthington H V, Glenny A M, Shaw W C.
Manual versus powered toothbrushbrushing for oral health.
Cochrane Database Syst Rev 2005; 18: CD002281.

70. Roulet J-F, Zimmer S.
Prophylaxe und Präventivzahnmedizin.
Farbatlanten der Zahnmedizin, Bd 16, Thieme, Stuttgart 2003; 55-61.

71. 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 1992; 3: 9-12.

72. Saxer U P,Yankell S L.
Impact of improved toothbrushes on dental diseases.
Quintessence Int 1997; 28: 573-593.

73. Scheidegger N, Lussi A.
Zahnreinigung mit verschiedenen Kinderzahnbürsten.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 2005; 115: 100-106.

74. Schmelzer J R.
Zahnmedizinische Prävention für Kinder und Jugendliche. Einschätzung der Effektivität von Individualprophylaxeprogrammen zur Verbesserung der Mundgesundheit.
Zahnmed Diss, Universität zu Bielefeld, Fakultät für Gesundheitswissenschaften, Bielefeld 2000.

75. Schneidtberger A.
Untersuchung zur Entwicklung der Kariesprävalenz bei Vorschulkindern in Augsburg.
Zahnmed Diss, Ludwig-Maximilians-Universität München, Medizinische Fakultät, München 2007.

76. Shaloub A, Addy M.
Evaluation of accuracy and variability of scoring area based plaque indices. A laboratory model.
J Clin Periodontol 2000; 27: 16-21

77. Staufer S.
Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der klinischen Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten.
Zahnmed Diss Universität Witten/Herdecke: Fakultät für Gesundheit, Witten 2011.

78. Stookey G K.
The effect of saliva on dental caries
J Am Dent Assoc 2008; 139: 11S-17S

79. Swol R L, Scotter D E, Pucher JJ, Dentino A R.
Clinical evaluation on an ionic toothbrush in the removal of established plaque and reduction of gingivitis.
Quintessence Int 1996; 27: 389-394.

80. Thenisch N L, Bachmann L M, Imfeld T, Leisebach Minder T, Steurer J.
Are mutans streptococci detected in preschool children a reliable predictive factor for dental caries risk? A systematic review.
Caries Res. 2006; 40: 366-374.

81. Toekan S.
Klinische Plaquekontrolle eines experimentellen Mundpflegeproduktes.
Zahnmed Diss Universität Witten/Herdecke: Fakultät für Gesundheit, Witten 2013.

82. Trummler A, Strübig W.
Beeinflussung verschiedener Speichelparameter nach täglicher Verwendung von Xylit-Kaugummi in der Schule.
Oroprophylaxe und Kinderzahnheilkunde 2008; 30: 101-105.

83. Turesky S, Gilmore N D, Glickman I.
Reduced plaque formation by the chloromethyl analoge of vitamin c.
J Periodontol 1970; 41: 41-43.

84. Volpenhein D W, Handel S E, Hughes T J, Wild J.
A comparative evaluation of the in vitro penetrtion performance of the improved crest complete toothbrush versus the current crest complete toothbrush, the colgate precision toothbrush and the oral b p40 toothbrush.
J Clin Dent 1996; 7: 13-7.

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

86. Völker K.
Putzeffizienz neuer Handzahnbürsten unter Verwendung eines 4-Achsen Roboters.
Zahnmed Diss Universität Ulm: Medizinische Fakultät, Ulm 2005.

87. Whitford G M.
Fluoride metabolism when added to salt.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 2005; 115: 675–678.

88. Wright C J, Burns L H, Jack A A, Back C R, Dutton L C, Nobbs A H, Lamont R J, Jenkinson H F.
Microbial interactions in building of communities.
Mol Oral Microbiol 2013; 28: 83-101.

89. Yankell S L, Shi X, Emling R C.
Comparative laboratory evaluation of three toothbrushes regarding interproximal acces efficacy.
J Clin Dent Suppl 1992; C, C5-C8.

90. Zimmer S.
Bestimmung des individuellen Kariesrisikos. Einfach und praxisgerecht.
Der Freie Zahnarzt 2012; 10: 81-89

91. Zimmer S.
Kariesprophylaxe als multifaktorielle Präventionsstrategie.
Habilitationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin, Zentrum für Zahnmedizin, Berlin 2000.

92. Zimmer S, Stephan B, Kolbe C, Kaiser G, Krage T, Ommerborn M, Barthel C.
Klinische Effektivität von Zahnseide im Vergleich zu antibakteriellen Spüllösungen.
Oralprophylaxe Kinderzahnhd 2007; 29: 54-59.

10. Anhang

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegnheit nutzen den vielen Menschen zu danken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Die Betreuung meiner Arbeit durch Herrn Prof. Dr. sc. med. Dr. h.c. Peter Gängler war eine stets angenehme und bereichernde Erfahrung. Die dieversen Gespäche waren durch seine konstruktive Kritik und seine freundliche Art eine große Hilfe, für die ich mich ganz besonders bei ihm bedanken möchte.

Ebenso gilt auch Dr. Tomas Lang mein spezieller Dank. Er hat eine große Rolle bei der Entwicklung der Grundidee, auf der diese Arbeit aufgebaut ist, eingenommen und stand mir ebenfalls jederzeit mit Rat und Tat zur Seite.

Ein herzliches Dankeschön gilt Frau Dr. Zehner, die mir für den klinischen Teil der Untersuchung ihre Praxis zur Verfügung gestellt hat.

Frau Dr. Barbara Jennes danke ich für die kompetente statistische Auswertung meiner Daten, sowie die Erlaubnis, ihre Diagramme in meiner Arbeit verwenden zu dürfen. Außerdem danke ich den Autoren und Verlagen, die mir die Genehmigung zur Verwendung ihrer Abbildungen erteilt haben.

Meinen Eltern danke ich dafür, dass sie mir immer den Rücken freigehalten haben und stets unterstützend zur Stelle standen. Auf euch ist wirklich immer Verlass. Herzlichen Dank dafür.

Desweiteren möchte ich mich bei Jürgen Kreis und Dr. Tim Eberhardt bedanken. Ihr beide seid mir eine große Unterstützung gewesen und bleibt es hoffentlich auch in Zukunft.

Lebenslauf

Martin Fleuter

Persönliche Daten:

Geburtsdatum:	24.10.1984
Geburtstort:	Recklinghausen
Eltern:	Dr. med. dent. Norbert Fleuter
	Ulrike Fleuter geb. Hennig
Geschwister:	Dr. med. dent. Christian Fleuter
	Tobias Fleuter

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulausbildung:

08/1991 bis 07/1995	Erich-Kästner-Grundschule, Recklinghausen
08/1995 bis 06/2004	Gymnasium Petrinum, Recklinghausen
2004	Abitur

Hochschulausbildung:

10/2005 bis 12/2010	Studium der Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde an der Georg-August-Universität in Göttingen
2010	Staatsexamen und Approbation

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere (an Eides statt), dass ich die zur Erlangung des Doctorgrades der Zahnheilkunde vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema ‚Klinische Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten' selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und die in der Arbeit verwendete Literatur vollständig zitiert habe.

Ich habe diese Dissertation weder in dieser Form noch in einer ähnlichen Form an einer anderen Hochschule eingereicht.